

UTILIZAÇÃO DE MOLDES FABRICADOS POR ESTEREOLITOGRAFIA NA MOLDAGEM POR INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICOS: ANÁLISE CRÍTICA E PERSPECTIVAS FUTURAS

Andrei Zwetsch Cavalheiro

Universidade Federal de Santa Catarina, EMC/POSMEC/CIMJECT, Campus Universitário, Trindade - Cx Postal 476 - 88040-900 - Florianópolis/SC, andrei_cavalheiro@bol.com.br

Carlos Henrique Ahrens

Universidade Federal de Santa Catarina, EMC/POSMEC/CIMJECT, Campus Universitário, Trindade - Cx Postal 476 - 88040-900 - Florianópolis/SC, ahrens@cimject.ufsc.br

Gean Vitor Salmoria

Universidade Federal de Santa Catarina, EMC/POSMEC/CIMJECT, Campus Universitário, Trindade - Cx Postal 476 - 88040-900 - Florianópolis/SC, gsalmoria@cimject.ufsc.br

Resumo. *A necessidade de protótipos com as mesmas propriedades do produto final, fez com que as técnicas de prototipagem rápida evoluíssem para métodos de fabricação rápida de ferramentas. Nesse âmbito, destaca-se o emprego da estereolitografia para a obtenção, direta ou indireta, de moldes para injeção de plásticos. Entretanto, as resinas de estereolitografia apresentam baixa resistência mecânica, estabilidade térmica e condutividade térmica, resultando em menor durabilidade e peças injetadas com propriedades diferenciadas. As influências dessas propriedades sobre o ciclo de injeção, previsibilidade do tamanho do lote e propriedades finais de peça são aspectos que ainda precisam de maior entendimento. Neste trabalho, o estágio de desenvolvimento do processo de injeção em moldes fabricados por estereolitografia é revisado, sintetizado e analisado, buscando-se diagnosticar as necessidades da área e estabelecer diretrizes para futuros trabalhos, com enfoque nos parâmetros de controle do processo de injeção.*

Palavras-chave: *estereolitografia, fabricação rápida, moldagem por injeção.*

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de redução do tempo de desenvolvimento de produtos não apenas nas fases de concepção e detalhamento, mas também na produção de pré-séries, assim como o desejo por protótipos com as mesmas propriedades do produto final, fez com que as técnicas de prototipagem rápida evoluíssem para métodos de fabricação rápida de ferramentas de conformação e moldagem.

Um vez adotada a injeção como processo de produção, a escolha da técnica de prototipagem e das variáveis de projeto e fabricação dos moldes decorre da avaliação conjunta dos requisitos quanto a durabilidade, produtividade e propriedades especificadas para a peça. Moldes de injeção com cavidades em inserts produzidos diretamente pelo processo de estereolitografia (moldes SL) aliam uma boa precisão dimensional com um custo relativamente baixo, se comparados a outras técnicas de prototipagem rápida. Entretanto, os moldes SL apresentam resistência mecânica e condutividade térmica muito mais baixas do que os convencionais moldes metálicos usinados, além de temperatura de amolecimento inferior à do plástico injetado. Somados os efeitos dessas características, o resultado são ciclos longos (alguns minutos), ferramentas com durabilidade típica entre 50 e 500 ciclos e peças injetadas com propriedades diferenciadas.

Sendo o desenvolvimento dos moldes SL relativamente incipiente, as influências de suas técnicas de fabricação e das propriedades do seu material construtivo sobre o ciclo de injeção, a previsibilidade do tamanho do lote e as propriedades finais de peça injetada são aspectos que ainda precisam de maior entendimento. O objetivo desse trabalho é revisar, sintetizar e analisar as publicações na área de moldes de injeção fabricados diretamente por estereolitografia e identificar as necessidades da área, de forma a estabelecer diretrizes para futuros trabalhos, com enfoque nos parâmetros que controlam o processo. Comparações com outras técnicas e relações custo-benefício das técnicas descritas, não são considerados ao longo do trabalho.

2 REVISÃO

Os trabalhos publicados na área de moldes SL para injeção de plásticos avaliam a problemática do processo sob quatro enfoques principais: 1) estudos dos tipos e causas de falha dos moldes, abordando aspectos de projeto, fabricação e moldagem na durabilidade da ferramenta; 2) avaliação da eficiência térmica dos moldes e propostas de melhoria, uma vez que a baixa condutividade térmica das resinas de SL é apontada como forte limitação do processo; 3) influência das características dos moldes nas propriedades das peças injetadas, comparando-as com as produzidas em moldes metálicos; 4) possibilidades de aplicação industrial dos moldes SL.

2.1 Estudo do Tipos e Causas de Falha dos Moldes

Moldes de injeção estão sujeitos a esforços mecânicos nas etapas de fechamento e extração, e a esforços termomecânicos durante preenchimento, recalque e resfriamento. Moldes SL são submetidos a esforços semelhantes aos observados em moldes metálicos, mas, em função de sua menor resistência, os efeitos negativos das cargas desenvolvidas durante o ciclo de injeção são maiores, levando o inserto a falhar de formas pouco comuns em relação aos moldes convencionais.

Embora afirme que não exista um consenso entre os pesquisadores da área, Ribeiro Jr.⁽¹⁾ classificou os tipos de falhas em moldes de estereolitografia em quatro categorias, detalhadas no quadro 1: a) ruptura generalizada do inserto, b) ruptura de *features*, c) ruptura localizada da camada superficial do inserto e d) falhas por amassamento.

Quadro 1 – Classificação dos tipos de falha em insertos de estereolitografia.

Categoria de modos de falha	causas prováveis	fatores favoráveis à falha
Ruptura generalizada do inserto	força de fechamento excessiva	<ul style="list-style-type: none"> montagem irregular do inserto no porta molde falta de planicidade e paralelismo das superfícies de fechamento
	combinação entre força de fechamento e expansão térmica do molde	<ul style="list-style-type: none"> alta temperatura
Ruptura de features	pressão ou velocidade de injeção muito altas causam diferença de pressão entre dois lados de uma <i>feature</i>	<ul style="list-style-type: none"> alta temperatura features com pequenas razões de aspecto e grandes razões de altura
	força de extração supera resistência mecânica do molde	<ul style="list-style-type: none"> alta temperatura alto tempo de resfriamento alta rugosidade do molde expansão térmica do molde desequilíbrio de forças na extração
	força de fechamento excessiva	<ul style="list-style-type: none"> linha de partição mal projetada, provocando interferência de geometrias com a expansão térmica
Ruptura localizada da camada superficial do inserto	adesão do polímero injetado ao molde	<ul style="list-style-type: none"> alta temperatura compatibilidade química entre material do molde e polímero
Amassamento do inserto	pressão na cavidade excessiva	<ul style="list-style-type: none"> alta temperatura

Conforme descrito a seguir, os tipos de falha mais investigados têm sido a ruptura de *features*¹ por tração durante a extração (arrancamento) ou pela diferença de pressão durante o preenchimento.

Cedorge *et al.*⁽²⁾ avaliaram as tendências dos efeitos de diversos parâmetros de projeto de *features* (razão de altura, razão de aspecto e ângulo de saída) e fabricação (espessura da camada construtiva, tempo e temperatura de pós cura em forno) na durabilidade de moldes SL em casca, com enfoque sobre as forças de extração. Cedorge e Colton⁽³⁾ investigaram as interações entre parâmetros de projeto e construção por SL e ressaltaram a importância de um parâmetro resultante de suas combinações, conhecido como *overlap* (ver figura 1), nas forças de extração. Harris e Dickens⁽⁴⁾ complementam essas análises, mostrando que existem valores ótimos para uma solução de compromisso entre força de extração e tempo de construção do inserto.

A influência do tempo de resfriamento nas forças de extração foi investigada por Hopkinson e Dickens⁽⁵⁾ e Harris e Dickens⁽⁶⁾ que, contrariando as primeiras recomendações para moldes SL (Decelles e Barrit⁽⁷⁾), verificaram ser vantajoso extrair a peça o mais cedo possível, devido à menor contração do material injetado e a maior elasticidade da superfície do molde ainda acima de sua temperatura de transição vítrea.

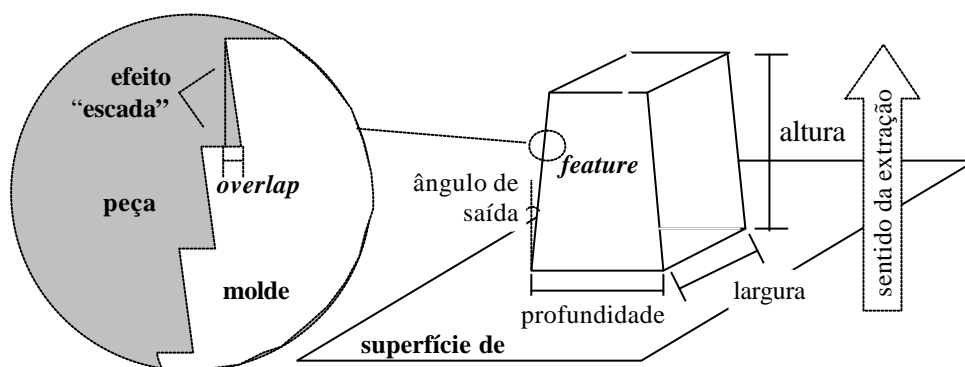


Figura 1 – Geometria de *feature* para análise de falhas e definições de termos técnicos .

Cedorge *et al.*⁽²⁾ observaram que a temperatura do molde sobe continuamente por cerca de 10 ciclos e estabiliza-se em um patamar considerado muito alto. Assim, os autores recomendam que o molde seja resfriado a cerca de 20 °C abaixo da temperatura de distorção térmica da resina SL, antes do início do ciclo seguinte. Hopkinson e Dickens⁽⁵⁾ sugeriram que, com essa estratégia, a produção seria limitada pelo tempo de ciclo, não pela falha por tração. Contudo, os estudos de Palmer e Colton⁽⁸⁾ mostram que a falha pode ocorrer por mecanismos de fadiga após um certo número de ciclos. Cedorge *et al.*⁽²⁾ verificaram que as falhas por flexão ocorreram apenas em *features* próximas da entrada, onde a pressão e a velocidade costumam ser mais elevadas. Palmer e Colton⁽⁹⁾ investigaram os modos de falha em *features* com razões de aspecto e altura altas e ângulos de saída variados. Usando dois moldes com cavidades iguais, mas com entradas diferentes, os autores observaram que um fluxo de material paralelo à parede lateral das *features* não resultou em falhas durante o preenchimento, aumentando a durabilidade do molde em comparação ao fluxo perpendicular. No primeiro caso, as falhas foram decorrentes do arrancamento, independentemente do ângulo de saída. Colton *et al.*⁽¹⁰⁾ reportaram esse modo de falha durante a etapa de resfriamento, pela assimetria de esforços durante a contração.

Janczyk⁽¹¹⁾ mostrou que a pressão na cavidade pode ser causa de falhas menos críticas (sem ruptura) mas que afetam as dimensões da peça injetada em função da flexão temporária ou permanente da cavidade. Janczyk⁽¹¹⁾ e Lencina⁽¹²⁾ observaram lascamentos na entrada (ponto de injeção) antes do vigésimo ciclo, ao passo que o mesmo tipo de falha na cavidade ocorreu após mais de 40 ciclos. Saurkar *et al.*⁽¹³⁾ e Palmer e Colton⁽⁹⁾ recomendam o emprego de entradas com a maior seção transversal possível, para reduzir a pressão de preenchimento. Rahmati e Dickens⁽¹⁴⁾, Palmer

¹ Elemento geométrico que compõe a cavidade do molde, projetado para simular o comportamento de protrusões, rebaixos, nervuras, torres, furos cegos, elementos de encaixe elástico, etc...durante o processo de injeção.

e Colton⁽⁹⁾ e Saurkar *et al.*⁽¹³⁾ e Ribeiro Jr.⁽⁰¹⁾ recomendam que se utilize os menores valores possíveis para pressões e velocidades de injeção, sem contudo comprometer a qualidade da peça injetada. Entretanto, Dell`Arciprete *et al.*⁽¹⁵⁾ verificaram experimentalmente que o benefício de baixar a pressão pode ser suplantado pelo efeito do aumento de temperatura do material, que ocorreu durante a injeção com menores pressões. Dell`Arciprete *et al.*⁽¹⁵⁾ ainda mostraram que há um considerável aumento na vida útil dos moldes SL quando a comutação de preenchimento para recalque é feita com base na pressão da cavidade, ao invés do tempo ou posição do parafuso.

Alguns autores sugerem modelos matemáticos e o emprego de simulação para prever as forças atuantes e a temperatura do molde ao longo do ciclo. Hopkinson e Dickens⁽⁵⁾ simplificaram uma equação para previsão de forças de extração em moldes metálicos convencionais e desenvolveram um modelo para análise térmica por elementos finitos (FEA). Palmer e Colton⁽⁸⁾ modelaram a força de extração considerando também a influência da temperatura na resistência à tração do material do molde. Cedorge e Colton⁽³⁾ reportam melhores resultados com um modelo que considera a rugosidade e a interferência mecânica decorrente do “efeito escada” peculiar às técnicas de construção por camadas (ver figura 1). O efeito da contração do moldado no cálculo das forças de extração foi combinado a esse modelo por Pham e Colton⁽¹⁶⁾, que usaram FEA para prever a temperatura do molde no momento da extração. Também por meio de análises em simuladores do processo de injeção, Ribeiro Jr.⁽⁰¹⁾ propôs a previsão do tempo de resfriamento do molde entre ciclos, como forma de reduzir o tempo de ajuste do processo e aumentar a vida útil do molde.

2.2 Melhoria da Eficiência Térmica do Molde

Decelles e Barrit⁽⁷⁾ fizeram as primeiras tentativas de melhorar a eficiência térmica de moldes de SL, por meio da colocação de tubos de cobre para passagem de água na parte posterior de insertos em casca, posteriormente preenchidas por resinas reativas ou ligas metálicas de baixo ponto de fusão. Langen e Michaeli⁽¹⁷⁾ observaram que insertos SL resultaram em menor pico de temperatura da parede, mas promoveram menor eficiência térmica e uniformidade de temperatura em relação a moldes indiretamente produzidos por vazamento de resina ou *spray* metálico. Saurkar *et al.*⁽¹³⁾ compararam a eficiência térmica de insertos de SL com variadas espessuras de casca e materiais de preenchimento, todos com tubos de cobre como canais de resfriamento. Li *et al.*⁽¹⁸⁾ compararam a eficiência térmica de diversas técnicas de fabricação de insertos de SL, sem canais de resfriamento ou com canais incorporados (formados durante o processo de SL). Gomide⁽¹⁹⁾ estudou o uso de materiais de preenchimento com maior condutividade térmica, enquanto os efeitos do revestimento dos insertos com finas camadas metálicas foi investigado por Burns⁽²⁰⁾, Li *et al.*⁽¹⁸⁾ e Lencina⁽¹²⁾. Ahrens *et al.*⁽²¹⁾ compararam insertos em casca contínua com insertos cuja casca possui furos (canais de fluxo ou aletas) que permitem o contato entre o material de preenchimento e o plástico injetado. Por meio de CAE, os autores mostraram que os canais de fluxo aumentam a eficiência térmica, mas alteram a morfologia local e a estética da peça..

Janczyk⁽¹¹⁾ obteve maior eficiência térmica com canais incorporados de seção quadrada, com paredes ranhuradas, e afastados da parede da cavidade por 1,5 vezes o seu diâmetro, mas teorizou que o ideal seria o “canal conformal”, ou seja, aquele que acompanhasse a forma da superfície da cavidade, a pequenas distâncias, proporcionando uniformidade na remoção de calor. Saurkar *et al.*⁽¹³⁾ e Lafratta⁽²²⁾ comprovaram experimentalmente a maior eficiência térmica e a maior homogeneização da distribuição de temperaturas, mas observaram que os canais conformais tornaram o inserto menos resistente. Lafratta⁽²²⁾ propôs o confinamento do fluido de resfriamento em canais conformais durante as etapas de preenchimento e recalque, para que a autopressurização do fluido em resposta à pressão na cavidade agisse como reforço estrutural.

2.3 Comparação das Propriedades das Peças Injetadas em Metal e SL

Dentre as publicações com enfoque sobre o desempenho de moldes de SL e seus efeitos sobre as propriedades das peças, praticamente todos se concentram na comparação das dimensionais e mecânicas, seja de diferentes técnicas de fabricação entre si, como contra moldes metálicos.

O quadro 2 resume os resultados dos trabalhos que compararam propriedades mecânicas de peças injetadas em moldes metálicos e moldes fabricados diretamente por SL ou indiretamente por vazamento de resina (moldes VR). Segundo Langen e Michaeli⁽¹⁷⁾, os resultados obtidos em moldes VR seguem a mesma tendência dos moldes SL, podendo subsidiar a análise aqui pretendida.

Quadro 2 – Comparação de propriedades mecânicas entre peças injetadas em moldes metálicos e não metálicos. Apresenta-se o valor percentual da propriedade para peça injetada em SL ou VR em relação à injetada em metal. Os resultados assinalados foram pouco discutidos ou não explicados.

material injetado	molde	autor	tração			flexão		impacto
			resistência escoamento* ruptura**	alongamento (ruptura)	módulo	alongamento (ruptura)	módulo	resistência (Izod)
semicristalinos	PA	VR	Dusel <i>et al.</i>	125 %*	55%			
	PA 6/6	SL	Polosky	88 %*	65%	100 %		93,5 %
	PEAD	SL	Polosky	106 %*	29%	151 %		76,5 %
	PP	SL	Jayanthi <i>et al.</i>	100%**				
	POM	SL	Jayanthi <i>et al.</i>	100%**	114,5 %	86 %		
	sPS	VR	Dawson e Muzzy	90 %**	85 %	100%	131 %	142 %
amorfos	aPS	VR	Dawson e Muzzy	89 %**	86 %	100%	124 %	156 %
	PSAI	SL	Polosky	94 %*	16%	135 %		65,5 %
	PC	SL	Polosky	102 %*	20%	140 %		126%
	PC FV	SL	Polosky	111%*	93%	125 %		113 %
	PC FV	SL	Damle	90 %*				90%*

Enquanto Jayanthi *et al.*⁽²³⁾ e Damle⁽²⁴⁾ não discutiram seus resultados, muitos dos quais contrários aos demais, Polosky⁽²⁵⁾, Dawson e Muzzy⁽²⁶⁾ e Dusel *et al.*⁽²⁷⁾ atribuíram as diferenças nas propriedades das peças basicamente aos efeitos da **menor taxa de resfriamento** proporcionada pelos moldes não metálicos. A única referência à influência de outras variáveis de processo foi feita por Polosky⁽²⁵⁾, que relacionou o menor alongamento por tração das peças moldadas em SL a diferenças nos parâmetros de processo e no projeto das entradas.

Para os materiais semicristalinos, o resfriamento mais lento aumentou o grau de cristalinidade, tornando as peças menos resistentes ao impacto e mais resistentes à tração (Dusel⁽²⁷⁾, Polosky⁽²⁵⁾). Langen e Michaeli⁽¹⁷⁾ verificaram uma menor espessura de camada solidificada e um maior tamanho médio dos esferulitos de peças de polipropileno (PP) injetadas em moldes SL e VR, o que também explica os resultados de Dusel e Polosky. Era de se esperar que o módulo de elasticidade também aumentasse, mas isso não ocorreu para poliamida 6,6 (PA 6,6). Possivelmente o efeito da maior cristalinidade tenha sido sobreposto pela menor orientação molecular, uma vez que o resfriamento mais lento resulta em menor espessura de camada solidificada e maior tempo para relaxação das moléculas do núcleo da peça. Tal explicação foi dada por Polosky⁽²⁵⁾ e Dawson e Muzzy⁽²⁶⁾ para justificar a menor resistência à tração em PA 6,6 e poliestireno sindiotático (sPS).

No caso dos materiais amorfos, a redução da orientação molecular foi igualmente apontada como causa da menor resistência à tração nos experimentos de Dawson e Muzzy⁽²⁶⁾ com poliestireno atático (aPS) e de Polosky⁽²⁵⁾ com poliestireno de alto impacto (PSAI). As menores tensões residuais resultantes da menor espessura de camada solidificada explicam o maior alongamento na flexão verificado por Dawson e Muzzy⁽²⁶⁾ nas peças de aPS e sPS.

O efeito do resfriamento lento na diminuição das tensões residuais foi considerado influente nos valores de resistência ao impacto encontrados por Polosky⁽²⁵⁾ tanto para o amorfo policarbonato (PC) quanto para o semicristalino PA 6,6. No caso do PC, Polosky⁽²⁵⁾ atribuiu a maior resistência ao impacto à uma orientação molecular adicional, resultado de uma diferente direção de escoamento provocada pelo aparecimento de rebarbas no molde SL.

Dentre os poucos trabalhos publicados após 1999, destaca-se o de Harris e Dickens⁽²⁸⁾. Os autores conseguiram aproximar o grau de cristalinidade de peças de PA 6,6 injetadas em molde SL sem canais de resfriamento às produzidas em um molde de alumínio, usando uma temperatura de

injeção alguns graus abaixo da temperatura em que a velocidade de cristalização é máxima. Dessa forma, diminuiu-se a influência da taxa de resfriamento, tida como principal variável responsável pelas diferenças de propriedades mecânicas e dimensionais entre peças injetadas em moldes convencionais e moldes SL.

Quanto às propriedades dimensionais, os estudos de Jayanthi *et al.*⁽²³⁾, Polosky⁽²⁵⁾, Damle⁽²⁴⁾, Liu *et al.*⁽¹⁸⁾ e Harris e Dickens⁽²⁸⁾ mostram que a contração dos polímeros semicristalinos polietileno de alta densidade (PEAD), polióximetileno (POM), PP e PA 6,6 injetados em moldes não metálicos é maior do que nos moldes metálicos, em decorrência do maior grau de cristalinidade causado pelas menores taxas de resfriamento. Liu *et al.*⁽¹⁸⁾, contudo, consideraram que moldes de SL são capazes de produzir peças com boa precisão dimensional, para tolerâncias não inferiores a +/- 0,4 %. Harris e Dickens⁽²⁸⁾ advertem que as medidas de contração devem ser compensadas pelo valor de dilatação térmica da cavidade.

Para polímeros amorfos (blenda PC/ABS e ABS), Janczyk⁽¹¹⁾ e Harris e Dickens⁽²⁸⁾ verificaram que a contração praticamente não foi afetada pelas diferentes taxas de resfriamento em moldes de SL e metal. Resultados contrários foram obtidos por Polosky⁽²⁵⁾, Paradis *et al.*⁽³¹⁾ e Busato⁽³⁰⁾. Enquanto a contração e o empenamento significativamente mais altos das peças de ABS injetadas em insertos de SL não foi explicada por Paradis *et al.*⁽²⁹⁾, Polosky⁽²⁵⁾ atribuiu os resultados em PC, PC FV (policarbonato com carga de fibra-de-vidro) e PSAI, a pequenas variações geométricas nas cavidades de SL e aço e diferenças no projeto das entradas (assim como especula Busato⁽³⁰⁾), à formação de rebarbas no molde de SL e a diferenças nos parâmetros de moldagem. Em continuação ao trabalho de Liu *et al.*⁽¹⁸⁾, que verificaram maiores empenamentos e distorções em peças de PP injetadas em moldes SL do que em alumínio, Aluru *et al.*⁽³²⁾ desenvolveram uma abordagem mais precisa para previsão de deformações. Utilizando dois aplicativos CAE com diferentes algoritmos, os autores executaram uma seqüência combinada de análises de pressão e temperatura durante a injeção, análise da deformação do molde na injeção e nova análise do processo de injeção.

2.4 Aplicação dos Moldes Fabricados por Estereolitografia

Protótipos podem ser usados de várias maneiras e em diferentes etapas do processo de desenvolvimento do produto, exigindo características apenas estéticas, parcialmente funcionais, plenamente funcionais ou necessitando da reprodução integral do produto final. Em relação às propriedades mecânicas, Dusel *et al.*⁽²⁷⁾ afirmam que se o protótipo deve ser idêntico, então deve ser injetado em metal. Harris e Dickens⁽²⁸⁾ recomendam o emprego de plásticos amorfos em preferência aos semicristalinos, pois suas propriedades são menos dependentes da taxa de resfriamento e os resultados seriam peças com propriedades mais próximas das injetadas em metal.

Liu *et al.*⁽¹⁸⁾ concordam com a posição de Dusel *et al.*⁽²⁷⁾, mas apontam três aplicações potenciais para moldes SL: 1) protótipos e peças finais com baixo volume de produção; 2) peças com propriedades mecânicas dependentes de resfriamento lento; 3) necessidade do ajuste do processamento antes da construção do molde definitivo. Hopkinson e Dickens⁽⁵⁾ também sustentam que os moldes SL podem ser usados com sucesso quando se pode tirar proveito da baixa condutividade térmica. Pela menor exigência de pressões de injeção, os autores acreditam que um novo campo de aplicação seria aberto com o emprego de moldes SL na moldagem de peças com caminho de fluxo longo em injetoras de pequeno porte. Exemplificando essas considerações, Harris⁽³²⁾ injetou, com relativo sucesso, poliéter-éter-cetona (PEEK), um material que necessita de resfriamento lento para obtenção das propriedades ideais. Os insertos SL eliminaram os custos de aquecimento dos moldes de aço e reduziram a pressão de injeção.

No contexto da moldagem por injeção, os insertos SL têm sido investigados praticamente apenas no processamento de termoplásticos em moldes de duas placas. Fora desse contexto, destacam-se os trabalhos de Hemrick *et al.*⁽³³⁾ e Beal⁽³⁴⁾, que usaram moldes SL na injeção de pó metálico, e de Ferreira e Vandresen⁽³⁵⁾, que os avaliaram no processo de injeção com núcleo perdido.

3 ANÁLISE E DISCUSSÃO

Dentre os itens de avaliação do desempenho de um molde de fabricação rápida, essa seção do trabalho se preocupará com a durabilidade da ferramenta e o atendimento às especificações da peça. Embora os altos tempos de ciclo sejam vistos como uma limitação, a busca por menores tempos de resfriamento é mais importante para aumentar a vida útil dos moldes SL e melhorar as propriedades do moldado do que para acelerar a produção, tendo em vista os pequenos lotes a que se destinam.

A seção anterior mostrou a preocupação dos pesquisadores quanto à durabilidade dos moldes SL e que seu estágio de desenvolvimento ainda não permitiu o estabelecimento e disseminação de padrões tecnológicos de projeto, fabricação e uso semelhantes aos que a indústria da injeção de plásticos utiliza. Como exemplo sintomático, cita-se um trecho de Palmer e Colton⁽⁹⁾: *para injeção de PS, o ângulo de saída deve ter mais de 4° quando se deseja mais de 25 peças, mas outros estudos são necessários para estabelecer relação entre ângulo e número de peças até a falha.* Assim como na maioria dos trabalhos, essa recomendação baseou-se em apenas um tipo de resina SL, uma técnica de fabricação e uma forma de *feature*. Além disso, dado o efeito da temperatura sobre a resistência mecânica das resinas SL e a peculiaridade dos picos e distribuições de temperatura em cada caso, esse tipo de regra pode não ser útil para outros projetos. Justifica-se, portanto, a importância que vêm sendo dada aos modelos matemáticos e análises em CAE.

Se grande parte dos trabalhos preocupou-se com a caracterização e a redução das forças de extração por meio de parâmetros de projeto e fabricação, faz sentido que se estude os efeitos dos parâmetros do processo. Nesse sentido, para materiais semicristalinos de resfriamento rápido recomenda-se minimizar o tempo de resfriamento, para diminuir a pressão de contato provocada pela contração e para que a elasticidade da peça e do molde, ainda relativamente aquecidos, contribua para a redução das forças de extração. Deve-se, contudo, investigar a viabilidade dessa estratégia para outros polímeros e compreender o papel de outros parâmetros na força de extração.

Quanto à comparação da qualidade das peças injetadas em SL com às injetadas em moldes convencionais, tem-se investigado somente as propriedades dimensionais e mecânicas. Para as propriedades mecânicas, embora alguns autores tenham encontrado apenas pequenas diferenças, vários trabalhos revelaram resultados discrepantes e/ou tendências contraditórias. As conclusões de Segal e Campbell⁽³⁶⁾ de que *as diferentes técnicas de fabricação de insertos, polímeros injetados e geometrias de cavidade empregados dificultam a correlação dos resultados dos diversos trabalhos e que existe muito a ser investigado e conhecido sobre a influência dos parâmetros de processo nas propriedades das peças injetadas em SL*, ainda são plenamente verdadeiras.

A análise das informações sintetizadas na seção 2, sugere três tópicos de discussão para a continuidade do desenvolvimento da moldagem por injeção em moldes SL: parâmetros de moldagem, preparação do processo de injeção e projeto do molde.

3.1 Parâmetros de Moldagem

Hopkinson e Dickens⁽⁵⁾ explicitam uma ressalva deixada entre linhas em outros trabalhos: *o sucesso das aplicações dos moldes de SL dependem do emprego de parâmetros de processo específicos.* Liu *et al.*⁽¹⁸⁾ sugerem que o conjunto de valores para os parâmetros de moldagem em insertos SL é consideravelmente diferente do que o usado para obter peças consistentes em moldes convencionais. Os aspectos mais estudados até o momento são as influências da taxa de resfriamento no tempo de ciclo, nas forças de extração e nas propriedades dimensionais e mecânicas.

Porém, poucos foram os trabalhos que abordaram direta e claramente a influência de parâmetros como velocidade de escoamento e pressão de recalque. Além disso, a forma de relatar os parâmetros de moldagem usados nos experimentos dificulta análises comparativas. Muitos autores informaram pressões e velocidades em função de percentuais dos limites máximos das injetoras e não os valores reais de pressão na cavidade ou, pelo menos, de pressão na ponta do parafuso. Da mesma forma, em praticamente todos os trabalhos citados, a temperatura de injeção informada foi a da seção dianteira do canhão da injetora, não a temperatura real do polímero injetado.

No sentido de explicitar as necessidades de investigação, faz-se, a seguir, análises pontuais de parâmetros-chave para o processo de injeção em moldes SL.

3.1.1 Pressão na Cavidade

É unânime a opinião de que se deve minimizar a pressão desenvolvida contra as paredes da cavidade de moldes sensíveis como insertos SL. Nesse sentido Rahmati e Dickens⁽¹⁴⁾, Palmer e Colton⁽⁹⁾, Hopkinson e Dickens⁽⁵⁾ e Harris e Dickens⁽⁶⁾ preferiram eliminar a etapa de recalque. Por outro lado, o recalque é importante para a obtenção de peças sem rechupes ou vazios e com propriedades mecânicas e dimensionais semelhantes às obtidas em moldes convencionais. Além disso, o excesso de contração decorrente da menor compactação do material, favorece o aumento da força de extração e, com isso, a falha dos moldes sensíveis.

Em função desses aspectos, Janczyk⁽¹¹⁾, Polosky⁽²⁵⁾, Palmer e Colton⁽⁸⁾, Ahrens *et al.*⁽²¹⁾, Harris e Dickens⁽²⁸⁾, Ribeiro Jr.⁽¹⁾, Lafratta⁽²²⁾ e Busato⁽³⁰⁾ programaram pressões de recalque ao término da etapa de preenchimento. Notou-se grandes discrepâncias entre os valores de pressão e tempo de recalque usados em cada trabalho, mesmo para peças com semelhantes espessuras de parede. A programação desses parâmetros varia conforme a geometria da peça, a espessura da entrada e as demais condições de processamento, mas poucos autores discutem ou explicam os valores adotados. As poucas referências apontam tabelas de fornecedores de termoplásticos, simulação em CAE e procedimentos de “tentativa e erro”.

3.1.2 Velocidade de Escoamento

De modo geral, velocidades baixas de avanço do parafuso foram usadas ou sugeridas nos trabalhos revisados. Hopkinson e Dickens⁽⁰⁵⁾ e Ribeiro Jr.⁽⁰¹⁾ afirmam que o uso de velocidades menores em relação às usadas em moldes convencionais, para preservar a integridade do molde, é favorecido pela baixa condutividade térmica dos insertos de SL. Porém, a partir de resultados experimentais, Dell`Arciprete *et al.*⁽¹⁵⁾ recomendam preencher a cavidade rapidamente para evitar a falha de *features* por flexão. O resultado se deve, em tese, à relação da mínima pressão necessária ao preenchimento com uma velocidade ótima de escoamento, pois se para aumentar a vazão de injeção é preciso maior pressão, o aumento da viscosidade do material a velocidades baixas igualmente exige maior pressão. Entretanto, esse comportamento, que justifica a recomendação de velocidades “médias” por Busato⁽³⁰⁾, foi pouco explorado pelos trabalhos em moldes SL.

Portanto, a carência de estudos a respeito da velocidade de escoamento sobre o processo de injeção em moldes de fabricação rápida sensíveis, conduz a duas necessidades de pesquisa: 1) a definição de recomendações mais precisas para a programação da velocidade de avanço do parafuso em função da vida-útil do molde; 2) a caracterização dos efeitos da velocidade de escoamento sobre a orientação molecular e a microestrutura dos materiais injetados em moldes SL.

3.1.3 Temperatura do Material e Taxa de Resfriamento

A proposta de Harris e Dickens⁽²⁸⁾ em injetar o polímero a temperaturas mais baixas, como uma forma de controlar a morfologia, também age em favor de proteção do molde SL contra os efeitos negativos do calor sobre sua resistência mecânica. Porém, recomendações desse gênero precisam ser avaliadas no processamento de outros polímeros e dentro de outros contextos, como dão a entender as microestruturas indesejáveis obtidas por Lafratta⁽²²⁾ na injeção de PP a 170 °C (mínimo recomendado pelo fornecedor) e o aumento da pressão de preenchimento associado à diminuição da viscosidade, como observaram Lafratta⁽²²⁾ na injeção de ABS em moldes SL.

A distribuição de temperatura do material (e do molde) pela cavidade ao longo do tempo pode ser considerado um dos parâmetros-chave, tanto para o controle das propriedades afetadas pela morfologia das regiões cristalinas do polímero injetado quanto para a durabilidade do inserto. Enquanto o aquecimento acima da temperatura de transição vítrea (Tg) do material construtivo do inserto diminui sua resistência aos esforços desenvolvidos nas etapas de preenchimento e recalque, por outro lado aumenta a elasticidade da sua superfície, diminuindo a força de extração.

Ribeiro Jr.⁽⁰¹⁾ mostrou que com modelos matemáticos precisos e de posse de curvas tensão máxima de falha x temperatura características do material do inserto, poder-se-ia prever informações importantes para o projeto do molde, como a sua vida útil e o modo pelo qual ele estaria mais propenso à falha, além de auxiliar a definição de parâmetros como pressão de injeção, tempo de recalque, temperatura de injeção e temperatura do molde para reinício de ciclo.

Nenhum trabalho consultado explorou os efeitos da velocidade de rotação do parafuso e do tempo de permanência no cilindro na temperatura do material. Além disso, a influência desse tempo na degradação do material deve ser considerada quando da programação do ciclo de injeção. Dusel *et al.*⁽²⁷⁾, por exemplo, recomendam que o canhão seja “purgado várias vezes durante o processamento”, o que muda significativamente a seqüência tradicional das etapas do ciclo.

3.2 Preparação do Processo de Injeção

Boa parte dos parâmetros de programação podem ser previstos com auxílio de simulação em CAE ou por recomendações da literatura, mas o ajuste fino por “tentativa e erro” diretamente na máquina injetora é uma etapa intrínseca ao processo. Considera-se normal que algumas dezenas de ciclos de ajuste do programa sejam executados até que a primeira peça válida (dentro das especificações) seja produzida. Porém, no contexto de moldes sensíveis, como os produzidos por estereolitografia, o número de ciclos “perdidos” deve ser minimizado. Tanto na literatura quanto na indústria se encontram procedimentos de preparação de máquinas, mas voltados aos moldes convencionais. Usando um procedimento do gênero, Busato⁽³⁰⁾ precisou de 50 ciclos até conseguir a primeira peça válida num molde SL e classificou a forma de obtenção da pressão de injeção como inadequada, por não ser orientada à proteção da integridade de moldes sensíveis.

Portanto, parece evidente que análises da simulação do processo em CAE seriam de extraordinária importância para estimar-se valores mais próximos dos finais, deixando que apenas o ajuste fino do processo fosse executado na injetora e, com isso, diminuindo o número de ciclos perdidos. Mesmo tendo Hopkinson e Dickens⁽⁰⁵⁾ e Busato⁽³⁰⁾ apontado algumas dificuldades e maus resultados, uma vez que os aplicativos comerciais são voltados para moldes convencionais, vários autores confirmam que as simulações podem ser satisfatórias na previsão dos parâmetros de processo para moldes SL. Li *et al.*⁽¹⁸⁾, Dell'Arciprete *et al.*⁽¹⁵⁾, Busato⁽³⁰⁾ e Lafratta⁽²³⁾ corroboram essa opinião, relatando pressões de injeção e temperaturas de molde previstas em CAE com discrepâncias inferiores a 20 % em relação às observadas experimentalmente.

3.3 Projeto do Molde

A maioria dos trabalhos revisados apoiou-se em análises em aplicativos CAE para dimensionar e posicionar os componentes dos sistemas de resfriamento, localizar termopares para monitoração ou prever a distribuição de temperaturas e o tempo mínimo de resfriamento. Mas, enquanto o sistema de resfriamento do molde é tema de discussão freqüente, pouca importância foi dada até o momento para o projeto de outros sistemas do molde. Sobre o sistema de saída de ar da cavidade, por exemplo, nenhuma informação a respeito foi encontrada na literatura revisada.

Embora Polosky⁽²⁵⁾ tenha recomendado a investigação da otimização do projeto do sistema de alimentação, em virtude de sua influência nos parâmetros de processo e na durabilidade do molde, poucos trabalhos fazem referências ao tema. Lafratta⁽²²⁾ resume a discussão ao afirmar não haver um consenso quanto ao dimensionamento ideal da entrada sob o ponto de vista do balanceamento entre resistência mecânica e tempo de congelamento. Lafratta⁽²²⁾ ainda sugere o estudo de insertos híbridos, com a cavidade em SL e o sistema de alimentação fabricado em um material mais resistente. E, conforme indicado por Busato⁽³⁰⁾, a simulação em CAE assume especial importância no projeto do sistema de alimentação.

4 CONCLUSÕES

A influência dos parâmetros de processo nas propriedades da peça ainda foi pouco explorada e alguns dos resultados obtidos são incompletos, pouco explicados ou até mesmo contraditórios. Esse

panorama é agravado pelas diferentes formas de projetar e construir os moldes adotadas pelos pesquisadores, bem como pela considerável variedade de termoplásticos estudados. Apenas propriedades mecânicas e dimensionais têm sido avaliadas, deixando-se em segundo plano o estudo dos efeitos do processamento em moldes SL sobre características de grande importância comercial como brilho, transparência, resistência química, etc... Mesmo alguns dos principais defeitos em peças injetadas, como linhas de solda e bolhas, têm tido pouca atenção dos pesquisadores, dado o estágio embrionário do desenvolvimento do processamento nesta categoria de moldes.

O estudo dos parâmetros de processo é, contudo, fundamental para se avaliar a viabilidade do emprego dos moldes SL, não apenas para obtenção de protótipos ou lotes-piloto, mas como alternativa tecnológica à obtenção de peças com processamento complexo, como componentes isentos de tensões residuais, artigos com paredes finas ou peças injetadas em plásticos de engenharia com restrições de processamento em moldes de alta condutividade térmica. Há uma evidente necessidade de se investigar a velocidade de escoamento no processo e os parâmetros que controlam fase de recalque. O grande número de publicações recentes sobre esses parâmetros, no contexto da injeção de peças técnicas em moldes metálicos de produção, reforça essa necessidade.

Os pesquisadores reconhecem a importância das análises numéricas de esforços e distribuição de temperatura para o projeto dos sistemas de alimentação, resfriamento e extração, bem como da própria cavidade, além do auxílio à determinação de parâmetros de processo. Entretanto, como os sistemas CAE comerciais são voltados à injeção em moldes convencionais, tem sido necessário proceder adaptações e simplificações nos modelos, condições de contorno e parâmetros de entrada. Acredita-se que é preciso maior investigação e desenvolvimento para que o emprego de CAE no projeto de moldes SL tenha o mesmo grau de confiabilidade do projeto de moldes de aço.

Deve-se investigar a aplicação dos moldes SL para aplicações de maior valor agregado e em situações em que sua baixa condutividade térmica possa se tornar vantajosa. Ao mesmo tempo que prolongam o tempo de ciclo e diminuem a resistência mecânica da ferramenta, suas propriedades térmicas permitem o uso de menores pressões de injeção e proporcionam a obtenção de propriedades microestruturais que dificilmente seriam controladas por meio de moldes metálicos. Essas características sugerem que os moldes de SL poderiam ser estudados como uma solução alternativa à injeção de peças de parede fina, um dos temas mais abordados por pesquisadores do processo de injeção em moldes metálicos. Aparentemente, há um campo aberto à investigação do desempenho de insertos SL em ferramentas de maior complexidade, a exemplo dos moldes de três placas, moldes com gavetas e moldes de câmara quente. O mesmo raciocínio é válido para processos crescente emprego industrial, como injeção auxiliada por gás, injeção-compressão, injeção de multicomponentes e micro-injeção.

5 REFERÊNCIAS

1. RIBEIRO JUNIOR, A. S. **Proposta de utilização de ferramentas CAE no planejamento do processo de moldagem por injeção de termoplásticos em moldes de estereolitografia**. 2003. 133 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
2. CEDORGE, T., LE BAUT, Y., PALMER, A., COLTON, J. Design Rules for Stereolithography Injection Molding Inserts. 8th European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing, 1999, Nottingham. **Proceedings...** p. 193-209
3. CEDORGE, T., COLTON, J.S. Draft angle and surface roughness effects on stereolithography molds. **Polymer Engineering and Science**, v. 40, n. 7, p. 1581-1588, 2000
4. HARRIS, R.A., DICKENS, P.M. The selection of mould design variables in direct stereolithography injection mould tooling. In: ANTEC, 2001, Dallas. **Proceedings...** Brookfield: Society of Plastics Engineering, 2001.
5. HOPKINSON, N., DICKENS, P. Predicting stereolithography injection mould tool behaviour using models to predict ejection force and tool strength. **Int'l J. of Production Research**, v. 38, n. 16, p. 3747-3757, 2000.
6. HARRIS, R.A., DICKENS, P.M. The selection of mould design variables in direct stereolithography injection mould tooling. In: ANTEC, 2001, Dallas. **Proceedings...** Brookfield: Society of Plastics Engineering, 2001.
7. DECELLES, P., BARRIT, M. **Direct AIM Prototype Tooling Procedural Guide**, P/N 70275/11-12-96, #D Systems, Valencia, EUA, 1996.
8. PALMER, A.E., COLTON, J.S. Failure mechanisms in stereolithography injection molding tools. **Polymer Engineering and Science**, v.40, n. 0, p. 1395-1404, 2000

9. PALMER, A., COLTON, J.S. Design rules for stereolithography injection molding inserts. In: ANTEC, 1999, New York. **Proceedings...** Brookfield: Society of Plastics Engineering, 1999.
10. COLTON, J.S., CRAWFORD, J., PHAM, G., RODET, V. Failure of Rapid Prototype Molds During Injection Molding. **Annals of the CIRP**, v. 50, n. 1, p. 129-132, 2001.
11. JANCZYK, M., MCLAUGHLIN, R., MCCARTHY, S.P. Rapid stereolithography tooling for injection moulding: the effect of cooling channel geometry. **Journal of Injection Moulding Technology**, v.1, n.1, p. 72-78, 1997
12. LENCINA 2004. **Fabricação rápida de ferramentas produzidas por estereolitografia e recobertas com níquel-fósforo depositado por eletroless - com estudos de caso em moldagem de plásticos por injeção e fundição em areia aglomerada por resinas do tipo caixa fria**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
13. SAURKAR, S., MALLOY, R., MCCARTHY, S. Rapid tooling: a study if different cooling techniques for mold inserts used in the direct AIM (ACES injection molding) process. In: ANTEC, 1999, New York. **Proceedings...** Brookfield: Society of Plastics Engineering, 1999.
14. RAHMATI, S., DICKENS, P. Stereolithography for injection mould tooling. **Rapid Prototyping Journal**, v. 3, n. 2, p. 53-60, 1997.
15. DELL'ARCIPRETE, J., MALLOY, R., MCCARTHY, S. Cavity pressure studies for stereolithography produced tooling. IN: In: ANTEC, 1999, New York. **Proceedings...** Brookfield: Society of Plastics Engineering, 1999.
16. PHAM, G. P., COLTON, J.S. Ejection Force Modeling for Stereolithography Injection Molding Tooling. **Polymer Engineering and Science**, v.42, n. 4, p. 681-693, 2002
17. LANGEN, M., MICHAELI, W. Temperature distribution in rapid tooling cavities – How close are injection molded prototypes to series parts ? In: ANTEC, 1997, Toronto. **Proceedings...** Brookfield: Society of Plastics, 1997, p 939-945.
18. LI, Y., GARGIULO, E.P., KEEFE, M. Studies in Direct Tooling Using Stereolithography. **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, v. 122, p. 316-322, Mai. 2000.
19. GOMIDE, R. B. **Fabricação de componentes injetados com o uso de insertos de resina termofixa produzidos por estereolitografia**. 2000. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
20. BURNS, D. **Analysis of metal coating effects on stereolithography rapid topoling for injection molding**. 1997. Thesis (Master of Science). University of Massachussetts Lowell, Lowell.
21. AHRENS, C.H., RIBEIRO JR., A.S., BEAL, W.E. An alternative cooling technique for stereolithography moulds. TCT2001 - Time-Compression Technologies Conference, Manchester, Set, 2001.
22. LAFRATTA, F. H. **Uso de fluido refrigerante, temporariamente confinado, em ferramental rápido para a injeção de termoplásticos**. 2004. 180 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
23. JAYANTHI, S., HOKUF, B., MCCONNELL, R., SPEER, R.J., FUSSEL, P.S. Stereolithography injection moulds for direct tooling. Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin, 11/13 ago., 1997. **Proceedings...** p 317-323, 1997
24. DAMLE, M., MEHTA, S., MALLOY, R., MCCARTHY, S.P. Effect of fibre orientation on mechanical properties of an injection moulded part and a stereolithography –insert moulded part. In: ANTEC, 1998, Atlanta. **Proceedings...** Brookfield: Society of Plastics Engineering, 1998, p. 584-588.
25. POLOSKY, Q.F., MALLOY, R., STACER, R. A mechanical property performance comparison for plastics parts produced in epoxy tool and conventional steel tooling. In: ANTEC, 1998, Atlanta. **Proceedings...** Brookfield: Society of Plastics Engineering, 1998, p.2972-2976
26. DAWSON, E.K., MUZZY, J.D. The effect of rapid prototype tooling on final product properties. In: ANTEC, 1999, New York. **Proceedings...** Brookfield: Society of Plastics Engineering, 1999.
27. DUSEL, K.H., ESCHL, J., EYERER, P., LÜCK, T. Rapid Tooling: Simulation and Application of the Injection Moulding Process. In: 7TH EUROPEAN CONFERENCE ON RAPID PROTOTYPING AND MANUFACTURING, 1998, Aachen. **Proceedings...**
28. HARRIS, R.A, N., DICKENS, P. A Determining, Understanding & Controlling the Morphology of Injection Moulded Parts Produced in Stereolithography Moulds. ANTEC, 2003, Nashville. **Proceedings...** Brookfield: Society of Plastics Engineering, 2003.
29. PARADIS, R. A comparison of the conventional machined aluminium and rapid epoxy Shell prototype mould building process. **Journal of Injection Moulding Technology**, v. 2, n.1, p. 8-17, 1998.

30. BUSATO, F. **Parâmetros de moldagem por injeção de termoplásticos em moldes fabricados por estereolitografia com a resina SOMOS 7110**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
31. ALURU, R., KEEFE, M., ADVANI, S. Simulation of injection molding into rapid prototyped molds. **Rapid Prototyping Journal**, v. 7, n.1, p. 42-51, 2001.
32. HARRIS, R. The Injection Moulding of PEEK using Stereolithography Moulds. **Rapid Prototyping & Tooling - Industrial Applications**, p.6-7, 200?
33. HEMRICK, J. G., STARR, T. L., ROSEN, D.W. Release behavior for powder injection molding in stereolithography molds. **Rapid Prototyping Journal**, v. 7, n.2, p. 115-121, 2001.
34. BEAL, V. E. **Avaliação do uso de insertos obtidos por estereolitografia na moldagem de pós- metálicos por injeção**. 2002. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
35. FERREIRA, A. C.; VANDRESEN, M. O uso da técnica do núcleo perdido na ferramentaria rápida com estereolitografia. In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2000, Natal. **Anais...** Natal: Conem 2000, v.1. p.71 – 78.
36. SEGAL, J.I., CAMPBELL, R.I. A review of research into the effects of rapid tooling on part properties. **Rapid Prototyping Journal**, v. 7, n. 2, p. 90-98, 2001.

UTILIZAÇÃO DE MOLDES FABRICADOS POR ESTEREOLITOGRAFIA NA MOLDAGEM POR INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICOS: ANÁLISE CRÍTICA E PERSPECTIVAS FUTURAS

Andrei Zwetsch Cavalheiro

Universidade Federal de Santa Catarina, EMC/POSMEC/CIMJECT, Campus Universitário,
Trindade - Cx Postal 476 - 88040-900 - Florianópolis/SC, andrei_cavalheiro@bol.com.br

Carlos Henrique Ahrens

Universidade Federal de Santa Catarina, EMC/POSMEC/CIMJECT, Campus Universitário,
Trindade - Cx Postal 476 - 88040-900 - Florianópolis/SC, ahrens@cimject.ufsc.br

Gean Vitor Salmoria

Universidade Federal de Santa Catarina, EMC/POSMEC/CIMJECT, Campus Universitário,
Trindade - Cx Postal 476 - 88040-900 - Florianópolis/SC, gsalmoria@cimject.ufsc.Br

Abstract. The demand for shorter lead times and the desire for prototypes with more similar properties to the product being developed, using rapid prototyping techniques, have all encouraged the growth of rapid tooling methods. In this way, it's possible to highlight the use of stereolithography process to direct or indirect manufacture of molds for plastics injection. However, stereolithography materials have low mechanical strength, thermal conductivity e thermal stability, all resulting in a short tool life and the production of parts with varying properties. It is therefore important that the influence of the stereolithography tool on the injection cycle steps, production batch size prediction and the final properties of the product are well determined. This work reviews, synthesizes and analyses the development stage of injection molding tools made by stereolithography rapid prototyping process, identifying the fundamental requirements of this process and to determine future research guidelines, focusing on process parameters influences and process set up.

Key-words: *rapid tooling, injection molding, stereolithography, plastics processing*