

# APLICAÇÃO DA ESTEREOLITOGRAFIA NA FABRICAÇÃO DIRETA DE INSERTOS PARA A PRODUÇÃO DE COMPONENTES INJETADOS

**Aureo Campos Ferreira**  
**Carlos Henrique Ahrens**  
**Fernando Humel Lafratta**  
**Ricardo Borges Gomide**

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, CIMJECT, 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: [ahrens@cimject.ufsc.br](mailto:ahrens@cimject.ufsc.br)

## Resumo

A estereolitografia, o primeiro processo de fabricação por camadas (prototipagem rápida), destina-se à construção de objetos físicos a partir de um modelo em CAD 3D, independente da complexidade geométrica da peça, através da fotopolimerização de resinas à base de epóxi por um feixe de raios laser ultravioleta, cuja movimentação é controlada por um programa computacional. Sua aplicação inicial foi a construção rápida protótipos. Contudo, pesquisas estão sendo conduzidas para o desenvolvimento novas aplicações, como a produção de ferramentas para outros processos de fabricação (*rapid tooling*). Neste caso, pode ser utilizada para a construção direta de insertos de resina, para moldes de injeção, visando a produção de componentes injetados. Este artigo busca descrever alguns resultados de uma pesquisa, onde investigou-se o uso da estereolitografia na fabricação de insertos. Os estudos foram realizados injetando-se diferentes peças em materiais como termoplástico e cera para microfusão.

**Palavras-chave:** Estereolitografia, Prototipagem Rápida, Fabricação por Camadas, *Rapid Tooling*, Moldagem por Injeção.

## 1. INTRODUÇÃO

Num cenário internacional cada vez mais globalizado, a velocidade com que um novo produto é colocado no mercado torna-se um fator crucial para o aumento de competitividade. Dessa forma, é imperativo, não só para a sobrevivência, mas também para o crescimento de qualquer empresa, que novos produtos, de qualidade comprovada, sejam lançados no mercado, com maior frequência, apresentando um amplo e variado espectro de modelos, a preço mais competitivos.

No que tange especificamente ao setor de componentes de plástico injetados, a produção da primeira peça, por métodos tradicionais, só é possível após o projeto e a fabricação do molde, normalmente através de usinagem em aço ou alumínio. Fato similar ocorre em empresas de microfusão (*investment casting*) (Ferreira<sup>2</sup>, 2000), onde, pela maneira tradicional, os modelos para microfusão, em cera, são fabricados por meio do processo de moldagem por injeção, o que também requer um molde.

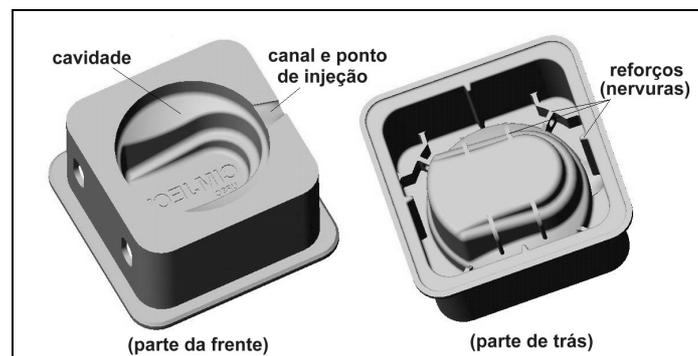
Contudo, o tempo de desenvolvimento e fabricação de um molde, para então obter a primeira peça injetada, seja em plástico, cera ou até mesmo pós-metálicos, é longo, normalmente de noventa a cento e vinte dias.

Visando reduzir esse período, novos processos estão sendo desenvolvidos ou aprimorados para a fabricação de moldes, como a fabricação por camadas aplicada à construção de ferramentas (*rapid tooling*) e usinagem de alta velocidade.

A estereolitografia foi o primeiro processo de fabricação por camadas desenvolvido, no fim da década de 80. Uma aplicação que vem sendo investigada é seu uso na confecção direta de insertos de resina termofixa, à base de epoxi, para moldes de injeção (Ferreira, 1998; Cedorge, 1999; Sansoucy, 1996).

## 2. PROJETO DE INSERTOS DE ESTEREOLITOGRAFIA

Os insertos de estereolitografia são normalmente projetados na forma de casca (*shelled inserts*), conforme mostra a Figura 1, com o auxílio de um sistema CAD tridimensional. Os principais fatores a serem considerados nesta etapa são apresentados a seguir.



**Figura 1.** Inseto em forma de casca

### (a) Dimensões e contração

No cálculo das dimensões das cavidades (macho e fêmea), deve ser considerada a contração do material injetado. Nos moldes tradicionais, fabricados em aço, o fator de contração é conhecido, no entanto, esse fator pode não ser o mesmo em insertos de estereolitografia, pois a resina possui uma condutividade térmica muito menor, comparada aos aços-ferramenta, o que implica numa menor taxa de resfriamento da peça injetada.

### (b) Ângulo de saída

É comum a falha do inserto ocorrer em regiões próximas à linha de partição, na forma de pequenas “lascas de resina” que são arrancadas, durante a extração (Rahmati, 1999). Isto é causado pela aderência entre a peça injetada e a parede do inserto, em função principalmente do efeito “degraus de escada”, intrínseco dos processos de fabricação por camadas. Uma recomendação prática é adotar o maior ângulo de saída possível, desde que não altere as características funcionais da peça, para auxiliar a extração e assim prolongar a vida do inserto.

### (c) Ponto de injeção

Recomenda-se dimensionar ponto de injeção na forma de “leque”, com altura igual à espessura da peça (Sansoucy, 1998). Isso é importante para evitar desgaste prematura nessa região, que é crítica em insertos de resina, ao permitir que a injeção do material ocorra em velocidades menores.

### (d) Espessura de casca

A vida do inserto de estereolitografia é limitada, devido principalmente às baixas propriedades mecânicas, à baixa condutividade térmica das resinas à base de epoxi e às

condições adversas do processo de moldagem por injeção. Quando o material plástico é injetado para o interior da cavidade, em temperaturas normalmente acima de 200°C, há um aquecimento dos insertos, podendo alcançar a temperatura de transição vítrea das resinas, que estão na faixa de 65 a 90°C. Assim, é importante manter a temperatura da resina em níveis baixos, removendo o calor, proveniente do plástico injetado, o mais rápido possível.

Esta é a principal razão para o projeto dos insertos em forma de casca, que posteriormente são preenchidos, na parte traseira, com algum material que seja bom condutor térmico. Quanto menor a espessura, maior será a taxa de transferência de calor. Porém, o inserto pode deformar-se durante o preenchimento. Para minimizar as deformações, recomenda-se incorporar reforços estruturais (nervuras), na parte de trás da casca (Figura 1).

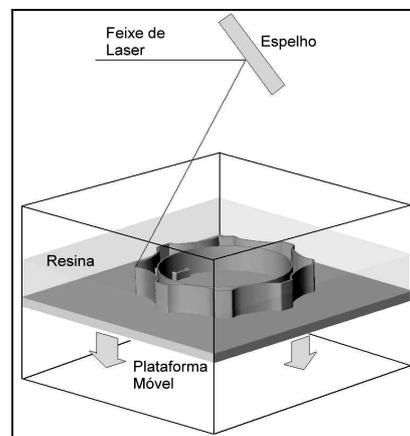
#### (e) Canais de refrigeração

Durante a etapa de projeto, deve ser previsto o tipo de sistema de refrigeração a ser utilizado. Existem basicamente duas alternativas. A mais simples é conformar e adicionar tubos de cobre no interior do preenchimento, na parte traseira. A outra é incorporar canais de refrigeração, no modelo em CAD do inserto a ser fabricado. Nessa segunda solução, a eficiência da refrigeração é maior, pelo fato que os canais podem ser posicionados bem próximos à cavidade, no entanto, a resistência mecânica do inserto diminui, podendo não suportar as pressões elevadas durante a injeção.

### 3. FABRICAÇÃO DE INSERTOS DE RESINA POR ESTEREOLITOGRAFIA

A estereolitografia figura-se, dentro de um conceito de fabricação por camadas, como um dos processos mais utilizadas para a obtenção de protótipos, peças e até mesmo ferramentas para as mais variadas aplicações. Seja qual for o objeto a ser fabricado, é essencial que este seja modelado em sistema CAD tridimensional, para a geração do “arquivo .STL”, um formato padrão para a maioria dos sistemas de fabricação por camadas.

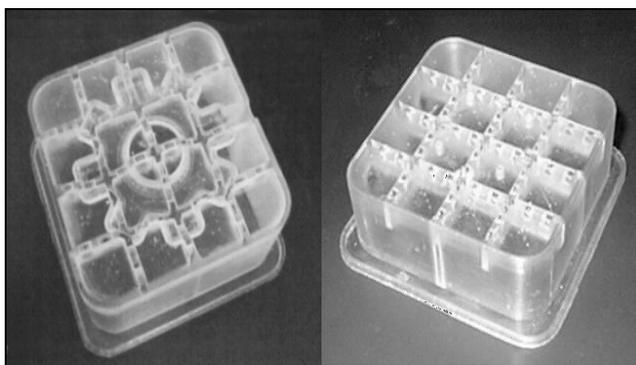
O modelo eletrônico do objeto, no caso um inserto, é trabalhado de forma a analisar sua orientação espacial e o projeto dos suportes necessários para prendê-lo à plataforma de construção (Figura 2), bem como sustentar regiões da peça que não possuem suportes naturais (*no-self-supporting*). O desenho é “fatiado eletronicamente” em múltiplas camadas, na ordem de um décimo de milímetro, gerando-se em seguida o programa de controle que será transferido para o sistema de construção da peça, formado por um recipiente contendo a resina fotossensível, uma plataforma fixada a um elevador que se move na vertical, um tubo de laser ultravioleta e um sistema de espelhos móveis que controla o posicionamento do feixe de laser no plano horizontal.



**Figura 2.** Princípio do processo de estereolitografia

A fabricação do inserto acontece a medida em que o equipamento vai fazendo a leitura das camadas individualmente e transmitindo ao sistema de controle dos espelhos. Conforme vai sendo atingida pela luz ultravioleta, a resina se polimeriza e solidifica no formato descrito por aquela camada específica. Depois que uma camada é traçada, a plataforma é abaixada para dentro do reservatório, a um nível equivalente à espessura da camada subsequente, permitindo que a resina líquida cubra a última camada recém solidificada. Uma haste de varredura move-se através do reservatório, uniformizando a camada líquida. Um tempo é reservado para que a superfície da resina se estabilize e uma nova camada é solidificada. O processo se repete, camada após camada.

Completada a construção dos insertos (Figura 3), é normalmente necessária uma etapa de pós-processamento, que envolve procedimentos de limpeza, remoção de suportes construídos durante a fabricação, acabamento superficial (polimento) e pós-cura (Ferreira, 1999).



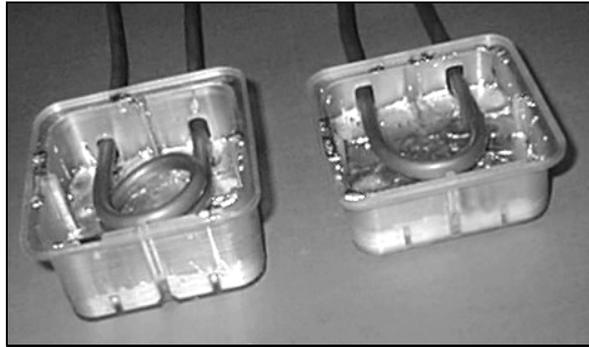
**Figura 3.** Insertos fabricados por estereolitografia

#### **4. PREENCHIMENTO DA PARTE TRASEIRA**

O preenchimento é necessário para que o inserto, que é fabricado em forma de casca, tenha a resistência mecânica necessária para suportar os esforços os quais são submetidos durante o processo de moldagem por injeção. Adicionalmente, o preenchimento é também responsável pelo comportamento de troca de calor no molde, podendo contribuir para uma melhor refrigeração, desde que sejam utilizados materiais que possuem boa condutividade térmica em relação às resinas de estereolitografia. Neste caso, o preenchimento auxilia a prolongar a vida inserto.

Diversos materiais podem, a princípio, ser utilizados. O mais comum é uma mistura de resina epoxi com partículas de alumínio (Ferreira, 2000; Cedorge, 1999; Rahmati, 1997; Sansoucy, 1996). Porém a cura desse composto é uma reação exotérmica, que provoca o aquecimento do inserto e pode deformá-lo.

Os melhores resultados, em termos de transferência de calor, são obtidos com metais de baixo ponto de fusão (Ferreira, 2000; Saurkar, 1998). Contudo, esse material também pode deformar o inserto, em função do aumento de temperatura causado pelo material fundido e devido sua contração ao solidificar-se. No caso deste trabalho, utilizou-se ligas à base de estanho e bismuto (Figura 4).

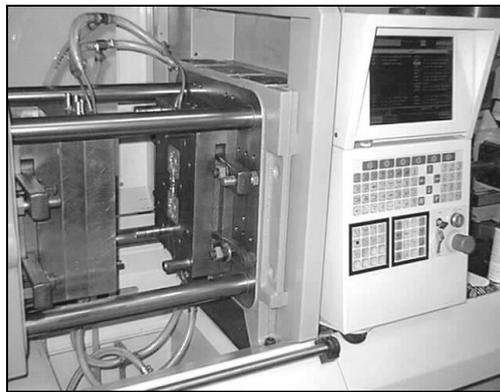


**Figura 4.** Preenchimento da parte de trás de insertos de estereolitografia

Completado o preenchimento, os insertos são usinados na parte de trás para nivelar sua altura em relação à linha de partição do molde, como mostra a Figura 5. O passo seguinte é a montagem dos outros componentes do molde e sua instalação na máquina injetora (Figura 6).



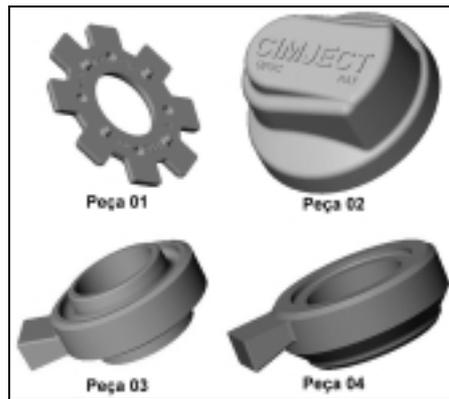
**Figura 5.** Usinagem da parte traseira



**Figura 6.** Molde com insertos de estereolitografia na máquina injetora

## **5. MOLDAGEM POR INJEÇÃO DAS PEÇAS**

Quatro tipo de peças foram seleccionados para a realização dos estudos de caso deste trabalho (Figura 7). As duas primeiras produzidas em material termoplástico (polipropileno) e as outras em cera para microfusão. Um conjunto de insertos “macho” e “fêmea” foi preparado para cada tipo de peça, seguindo os passos apresentados nos itens anteriores.



**Figura 7.** Peças selecionadas

A moldagem por injeção, com uso de moldes com insertos de estereolitografia, não se difere do com uso de moldes tradicionais, no entanto, deve-se ter alguns cuidados ao se fazer o ajuste dos parâmetros, pois é nesta etapa que a falha do inserto ocorre (Rahmati, 1999), podendo acontecer tanto no momento da injeção do material termoplástico, devido a um súbito aumento de pressão nas cavidades, quanto na extração da peça. Assim, é importante trabalhar com os valores menos agressivos, procurando reduzir os esforços mecânicos e térmicos atuantes sobre os insertos. Algumas recomendações são:

- (a) Velocidade de injeção baixa, para auxiliar na redução do efeito abrasivo, provocado pelo atrito entre as superfícies do inserto e o termoplástico durante a injeção, haja vista que as superfícies do inserto têm pouca resistência à erosão. O uso de velocidades baixas também auxilia para uma maior vida do inserto a medida que permite um maior tempo para refrigeração;
- (b) A menor temperatura de processamento possível para o material em uso. Em função da cera ser injetada em temperaturas da ordem de 60 °C (enquanto os plásticos normalmente acima de 200 °C), este material é menos agressivo ao molde;
- (c) Tempo de refrigeração longo, devido à baixa condutividade térmica da resina de estereolitografia. Deve ser suficiente para que a extração da peça injetada ocorra após sua solidificação, contudo, não pode ser longo demais, pois pode elevar consideravelmente a força de extração (Rahmati, 1999);
- (d) Período de molde aberto longo, para que os insertos retornem ao patamar de temperatura inicial (abaixo de 40 °C), antes do início do próximo ciclo de moldagem;
- (e) Para o ajuste da pressão de injeção, uma recomendação prática é utilizar um procedimento conhecido como injeção progressiva, que consiste em iniciar o processo com uma pressão reduzida e, nos ciclos subsequentes, é aumentada gradativamente até o completo preenchimento da peça injetada.

Contudo, o ajuste dos parâmetros não pode ser realizado considerando apenas a vida do inserto, sendo também importante considerar a qualidade da peça injetada. Isso depende de diversos fatores, tais como a forma geométrica da peça e as propriedades do material de injeção. O uso de sistemas CAE pode auxiliar na seleção dos parâmetros adequados.

No caso dos estudos de caso deste trabalho, utilizou-se uma máquina injetora *Arburg*, com capacidade de fechamento de 50 ton., para a injeção das peças de polipropileno. A temperatura ajustada no bico de injeção foi de 205 °C para a primeira peça e 215 °C para a segunda. Para os insertos de estereolitografia para injeção de cera (Figura 8), utilizou-se uma máquina específica para a indústria de microfusão, onde a temperatura foi ajustada em 57 °C.

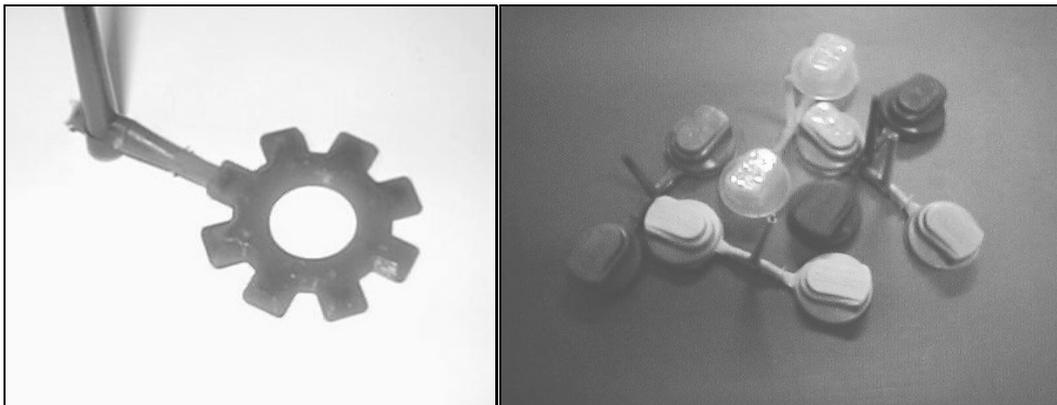


**Figura 8.** Molde com insertos de estereolitografia para injeção de cera

## 6. CONCLUSÕES

Tanto as peças de plástico (Figura 9) quanto as de cera (Figura 10) foram produzidas com sucesso neste trabalho. Contudo, a utilização de insertos de estereolitografia possui uma aplicação específica, i.e., a produção de pequenas séries de componentes injetados, pois a vida da ferramenta é baixa em relação aos moldes tradicionais, fabricados em aço. Na injeção de termoplástico, os experimentos mostraram que a vida dos insertos de resina é normalmente da ordem de 200 a 300 peças. Para a cera, que é injetada em temperaturas e pressões muito menores, um número maior de peças é esperado.

Por ser um processo relativamente recente, existem ainda diversas limitações, como: formas geométricas que podem ser produzidas; construção de moldes com movimentos especiais (gavetas); faixas de tolerâncias elevadas (0,20 a 0,40 mm); e tempo de ciclo longo. No entanto, é muito vantajoso em casos onde é necessário produzir protótipos ou peças injetadas em uma escala de tempo bastante reduzida (uma a duas semanas a partir da conclusão do projeto da peça).



**Figura 9.** Peças de plástico produzidas



**Figura 10.** Peças de cera para microfundição

## 7. REFERÊNCIAS

- Cedorge, T., Baute, Y., Palmer, A. and Colton, J., “Design rules for stereolithography injection molding inserts”, Proceedings of 8<sup>th</sup> European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing, Nottingham, UK, 1999.
- Ferreira, A.C., Ahrens, C.H., Lafratta, F.H. e Gomide, R.B., “Stereolithography Inserts – Pros and Cons to Use Tin as a Backfilling Material”, Proceedings of ANTEC 2000, Society of Plastic Engineers, Orlando, USA, 2000.
- Ferreira(2), A.C., Ahrens, C.H., Lafratta, F.H. e Gomide, R.B., “Stereolithography tools for injection molding of wax patterns on the investment casting industry”, Proceedings of Rapid Prototyping & Manufacturing Conference, Society of Manufacturing Engineers, Rosemont, Illinois, USA, 2000.
- Ferreira, A.C., Ahrens, C.H., Grellmann, D.A. e Gomide, R.B., “Influência da pós-cura na resistência mecânica de peças de estereolitografia fabricadas com fotopolímero à base de epoxi”, Anais do 5<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Polímeros, Águas de Lindóia, SP, Brasil, 1999.
- Ferreira, A.C. e Lafratta, F.H., “Conheça alguns meios para a obtenção de protótipos de peças injetadas”, Plástico Industrial, Editora Aranda, São Paulo, Brasil, Setembro de 1998.
- Rahmati, S.; Brown, S. and Wykes, C. “Failure mechanisms of stereolithography tooling”. Proceedings of 8<sup>th</sup> European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing, Nottingham, UK, 1999.
- Rahmati, S. and Dickens, P., “Stereolithography for injection mould tooling”, Rapid Prototyping Journal, MCB University Press, Volume 3, Number 2, pp. 53-60, 1997.
- Sansoucy, M.R., “An investigation into the rapid manufacturing of insert-injection molded parts with the use of stereolithography cavities”, Master Thesis, Institute for Plastic Innovations, University of Massachusetts at Lowell, USA, 1996.
- Saurkar, S., “Rapid tooling: a study of cooling techniques for mold inserts used in the Direct AIM process”, Master Thesis, Institute for Plastics Innovation, University of Massachusetts at Lowell, USA, 1998.