

FERRAMENTAL RÁPIDO POR FDM COM INFILTRAÇÃO DE EPÓXI

David Kretschek, davidkretschek@gmail.com

José A. Foggiatto, foggiatto@utfpr.edu.br

Neri Volpato, nvolpato@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Av. Sete de Setembro, 3165 – Curitiba/PR

Resumo: A Prototipagem Rápida possui diversas aplicações dentro do Processo de Desenvolvimento de Produtos. Em suas etapas finais, estas se voltam para o auxílio à manufatura, podendo inclusive ser empregada na fabricação de ferramentas de produção, como moldes para injeção, em um processo conhecido como Ferramental Rápido. Este está em pleno desenvolvimento e já é aplicado com sucesso para algumas tecnologias de Prototipagem Rápida. No caso da tecnologia denominada Modelagem por Fusão e Deposição (FDM), pouco foi pesquisado e desenvolvido. Resultados de outros trabalhos indicam a elevada rugosidade superficial resultante da fabricação por FDM e a baixa resistência do material, principalmente utilizando-se ABS (acrilonitrila butadieno estireno), como as principais limitações da aplicação desta tecnologia na fabricação de ferramentas de injeção. Este trabalho focou basicamente a questão do acabamento superficial, sendo estudada a infiltração com resina epóxi e acabamento por lixamento como mecanismos de melhoria da qualidade superficial de insertos para injeção fabricados por FDM. Um par de insertos foi fabricado, obtendo-se rugosidade final média de $0,7 \mu\text{m}$, e submetido à injeção de polipropileno para verificar o seu comportamento quando sujeito às solicitações mecânicas e térmicas do processo de injeção. As peças injetadas apresentaram uma rugosidade média mais alta e crescente ao longo dos ciclos de injeção, indicando ter ocorrido depreciação da qualidade dos insertos. Os resultados mostraram a viabilidade da melhoria da qualidade superficial em peças fabricadas por FDM através da infiltração de epóxi e lixamento. Deixando clara, no entanto, a necessidade de se estudar outros materiais para infiltração que permitam a manutenção da qualidade superficial obtida com a preparação do inserto ao longo dos ciclos de injeção.

Palavras-chave: Prototipagem Rápida, FDM, Ferramental Rápido

1. INTRODUÇÃO

A Prototipagem Rápida (*Rapid Prototyping* - RP) é uma ferramenta para o desenvolvimento de produtos através da qual protótipos físicos são fabricados de forma rápida, quando comparada aos processos convencionais de obtenção de protótipos. A RP é tipicamente aplicada na fabricação, em pequena escala, de protótipos para avaliação de concepções, testes de montagem e de ergonomia em produtos que estão em desenvolvimento. A necessidade de fabricar protótipos no material designado no projeto e pelo processo definitivo levou ao desenvolvimento do processo de Ferramental Rápido (*Rapid Tooling* - RT), no qual a RP é aplicada na fabricação de ferramentas de produção, como moldes de fundição, injeção, termoformagem, entre outros (Hilton e Jacobs, 2000).

O atual estágio de desenvolvimento da maioria dos processos de RT ainda não permite a sua comparação, em termos de vida útil e qualidade do moldado, com moldes obtidos pelos processos convencionais de fabricação. No entanto, o RT vem sendo intensamente desenvolvido, pois pode trazer grandes benefícios ao processo de desenvolvimento de produtos. Entre eles, a utilização do RT possibilita adiantar para as fases iniciais do desenvolvimento de um produto a obtenção de protótipos pelo processo e material definitivos. Com isto podem ser realizados testes funcionais e problemas de manufatura podem ser identificados antes da fabricação de ferramentas definitivas (Ahrens e Volpato, 2007).

No Brasil a Prototipagem Rápida ainda é pouco explorada, pois, como não há fabricantes nacionais, os equipamentos são em sua totalidade importados. Isto eleva o custo de aquisição das máquinas e da matéria-prima empregada na fabricação das peças, impactando diretamente no custo da prestação de serviços de RP (Petrusch *et al.*, 2007). Consequentemente, os processos de RT são também pouco utilizados e seus benefícios na produção de ferramentas de baixa e média tiragem são pouco explorados.

Uma das tecnologias de RP mais difundidas, no Brasil e no mundo, é a Modelagem por Fusão e Deposição (*Fused Deposition Modeling* - FDM) (Foggiatto, 2005; Wohlers, 2004 *apud* Hopkinson, Hague e Dickens, 2006). Apesar da popularidade da tecnologia FDM esta foi pouco explorada no sentido de tentar viabilizar a sua aplicação em RT. Alguns trabalhos nesta área apontam a elevada rugosidade superficial e a resistência mecânica como alguns dos principais fatores limitantes desta aplicação (Foggiatto, 2005; Silva, Picanço e Lançoni, 2008).

2. FERRAMENTAL RÁPIDO PELO PROCESSO DE MODELAGEM POR FUSÃO E DEPOSIÇÃO

O princípio de funcionamento do processo FDM consiste basicamente de polias que tracionam o material polimérico na forma de filamento e o empurram através de um cabeçote, onde é fundido e depositado através de um bico de extrusão. O cabeçote, com movimentação em X-Y, desloca-se segundo uma trajetória definida no planejamento de processo realizando a deposição do filamento fundido, preenchendo assim as camadas que compõem a peça. A Fig. (1) ilustra o funcionamento do cabeçote de extrusão da tecnologia FDM.

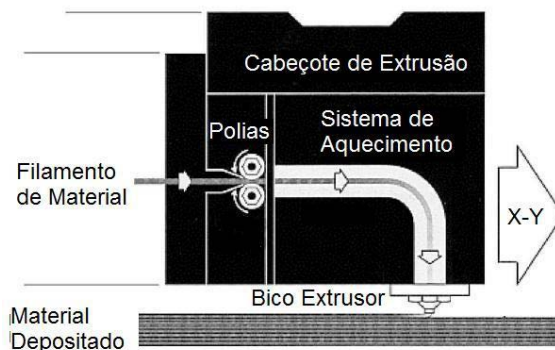


Figura 1. Funcionamento do cabeçote de extrusão da tecnologia FDM (Adaptado de AHN *et al.*, 2002).

Devido ao princípio de deposição empregado no processo a estrutura das peças fabricadas por FDM é composta por filamentos do material depositado e vazios. A formação destes se deve ao fato do filamento fundido não se moldar completamente ao substrato onde é depositado, adquirindo a forma elíptica e deixando regiões vazias nas ligações com os filamentos vizinhos (Rodriguez, Thomas e Renaud, 2000). A Fig. (2) mostra a presença dos vazios, regiões escuras entre os filamentos, na seção transversal de uma peça FDM.

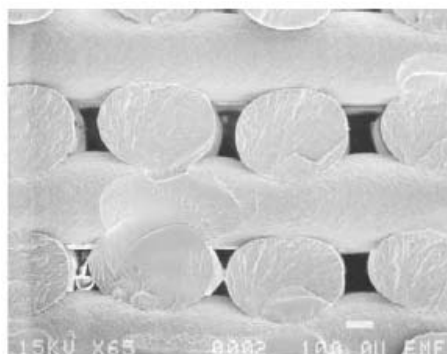


Figura 2. Estrutura de uma peça fabricada por FDM (Bellini e Güçeri, 2003).

O controle desta estrutura é feito por uma série de parâmetros definidos pelo usuário, como a largura e altura dos filamentos, distância entre filamentos adjacentes, denominada *gap*, e o ângulo da trajetória de deposição em cada camada. Segundo Rodriguez, Thomas e Renaud. (2000), a porosidade da estrutura de peças FDM é menor quanto maior for a largura dos filamentos e menor o *gap*. Estas condições também favorecem a resistência mecânica da peça, pois, a resistência à tração está diretamente relacionada à densidade de vazios na estrutura (Rodriguez, Thomas e Renaud, 2001).

A rugosidade superficial das peças fabricadas por FDM é uma das principais limitações desta tecnologia (Grimm, 2004; Volpato, 2007). Segundo Pandey, Reddy e Dhande. (2003), a rugosidade média nas faces laterais, no detalhe B da Fig. (3), de uma peça varia de 18 µm a 26 µm, conforme a inclinação desta. Segundo Vasudevarao, Natarajan e Henderson (2000), a inclinação da face e a altura da camada são os fatores de maior impacto sobre a rugosidade. A inclinação além de produzir o efeito escada, pode expor os filamentos internos ao contorno, cuja rugosidade é diferente das faces laterais. Foggiatto (2005) avaliou as faces superiores, detalhe A da Fig. (3), em peças FDM. Seus resultados apontam rugosidades médias variando de 6 µm a 15 µm conforme a altura da camada, o *gap* e o fato da região ter ou não contato com a estrutura de suporte.

Segundo França *et al.* (2009), o erro dimensional do processo FDM na direção de empilhamento das camadas é 0,25 mm para a dimensão que corresponde à altura aproximada dos insertos. Este erro decresce conforme aumenta a dimensão.

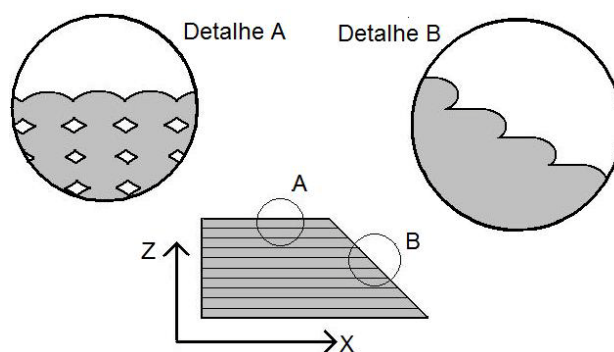


Figura 3. Rugosidade e efeito escada em peças fabricadas por FDM (Kretschek, Foggiatto e Volpato, 2009a).

A fim de avaliar a aplicação do processo FDM em Ferramental Rápido, Foggiatto (2005) realizou a injeção de diversos materiais em ferramentas de ABS fabricadas por FDM e também a aplicação de certos tipos de recobrimentos superficiais a fim de prolongar sua vida útil e evitar a adesão do material que está sendo processado com o material da ferramenta. Seus resultados mostram a viabilidade desta aplicação para geometrias simples através da obtenção de até 150 peças moldadas e evidenciam a necessidade de avaliar a compatibilidade química do par de materiais que interagirão. O trabalho aponta, além da adesão química, a aderência mecânica do moldado na cavidade, resultante da rugosidade das peças fabricadas por FDM, como um dos fatores responsáveis pela reduzida vida útil das ferramentas.

Posteriormente, Silva, Picanço e Lançoni (2008) procuraram aplicar o RT por FDM para produzir peças de geometria mais complexa, contendo regiões negativas, incorrendo na necessidade de fazer ferramentas com gavetas. Neste trabalho foi evidenciada a importância de atentar para os parâmetros e estratégias de fabricação das ferramentas e novamente foi apontada a elevada rugosidade superficial como umas das responsáveis pela reduzida vida útil das ferramentas. Foram obtidos bons resultados através da infiltração acidental de resina epóxi na ferramenta. A Fig. (4) mostra uma das ferramentas avaliadas por Silva, Picanço e Lançoni (2008) onde ocorreu a adesão do moldado à ferramenta devido à sua elevada rugosidade, rompendo-a e inviabilizando a injeção.



Figura 4. Peça aderida à ferramenta fabricada por FDM (Silva, Picanço e Lançoni, 2008).

Trabalhos anteriores fizeram uma avaliação preliminar do processo de infiltração e lixamento em peças fabricadas por FDM. Kretschek, Foggiatto e Volpato (2009a) verificaram a inviabilidade de obter rugosidades adequadas à aplicação em RT sem a infiltração, pois os vazios presentes na estrutura debilitam a qualidade superficial das peças quando estas são lixadas. Kretschek, Foggiatto e Volpato (2009b) avaliaram a eficiência da infiltração de resina epóxi e poliuretano em peças FDM com o intuito de permitir o preenchimento de toda a estrutura e a obtenção de rugosidades adequadas através do seu lixamento. Da comparação dos dois materiais a resina epóxi apresentou melhores resultados, pois, permitiu a infiltração completa das peças, sem formar bolhas ou bolsões de ar no seu interior. Os resultados da rugosidade média destas peças foram constantes e independentes da variação dos parâmetros de fabricação, a contrário da resina de poliuretano, mostrando ser o epóxi mais adequado a esta aplicação.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão descritas as etapas realizadas neste trabalho para procurar atingir o objetivo de aprimorar a qualidade superficial do RT por FDM, permitir a obtenção de ferramentas com maior vida útil e peças moldadas com maior qualidade. O trabalho foi realizado em etapas que procuraram caracterizar a qualidade superficial das peças fabricadas por FDM com seu acabamento natural (saída da máquina) e com a infiltração de epóxi e subsequente lixamento. Ambas etapas foram abordadas em trabalhos publicados anteriormente (Kretschek, Foggiatto e Volpato, 2009a e 2009b). Este trabalho contempla a realização de uma terceira etapa, na qual foi feita a validação dos resultados

dos trabalhos anteriores através da fabricação de uma ferramenta de injeção empregando também a infiltração e lixamento de epoxi para melhorar a sua qualidade superficial. Esta ferramenta foi submetida à injeção de uma pequena série de peças para avaliar seu comportamento quando submetida às solicitações térmicas e mecânicas do processo de injeção.

3.1. Fabricação da Ferramenta de Injeção por FDM

A fim de validar os resultados positivos obtidos por Kretschek, Foggiatto e Volpato (2009b) com a infiltração e lixamento de peças fabricadas por FDM, foi fabricado um par de insertos para a moldagem da peça ilustrada na Fig. (5). Esta foi escolhida para a etapa de validação por representar uma evolução em relação à complexidade das peças utilizadas em outros trabalhos sobre RT por FDM, principalmente pela tendência de adesão do moldado no inserto “macho” devido à contração do material injetado. A peça possui 14 mm de altura, 94 mm de comprimento e 59 mm de largura.

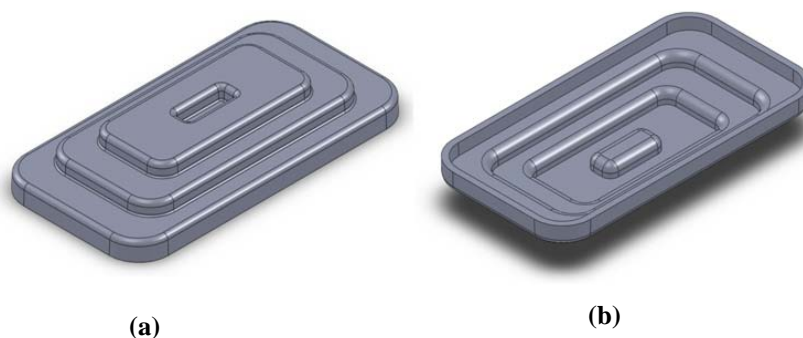


Figura 5. Geometria utilizada para gerar a ferramenta, topo (a) e fundo (b).

A fabricação dos insertos foi feita em um equipamento FDM 2000 em ABS, segundo os parâmetros relacionados nas Tab. (1) e (2). A orientação dos insertos para fabricação está ilustrada nas figuras, sendo o eixo Z a direção de empilhamento das camadas. Os parâmetros de fabricação foram definidos com base nos resultados de Kretschek, Foggiatto e Volpato (2009a e 2009b). O valor de *gap* positivo foi utilizado, apesar de representar uma perda na resistência mecânica dos insertos, para permitir boa infiltração da resina epóxi. Os insertos foram fabricados em casca, com 5 mm de espessura para reduzir o consumo de material.

Tabela 1. Parâmetros e orientação para a fabricação do inserto macho.

Inserto Macho		
Parâmetros		Unid.
Altura de Camada:	0,254	[mm]
Largura do Filamento:	0,508	[mm]
Orientação dos Filamentos:	[45 / -45]	°
Gap:	0,051	[mm]
Informações		Unid.
Nº de Camadas:	137	-
Área:	75 x 130	mm
Altura:	33,4	mm
Consumo de Modelo:	80,46	cm ³
Consumo de Suporte:	23,6	cm ³
Tempo de Fabricação:	11:29	hh:mm

Tabela 2. Parâmetros e orientação para a fabricação do inserto cavidade.

Inserto Cavidade		
Parâmetros		Unid.
Altura de Camada:	0,254	[mm]
Largura do Filamento:	0,508	[mm]
Orientação dos Filamentos:	[45 / -45]	°
Gap:	0,051	[mm]
Informações		Unid.
Nº de Camadas:	196	-
Área:	75 x 130	mm
Altura:	48,4	mm
Consumo de Modelo:	134,86	cm ³
Consumo de Suporte:	16,7	cm ³
Tempo de Fabricação:	16:20	hh:mm

Após a fabricação os insertos foram infiltrados com resina epóxi RP031 (Ariston Polímeros) em duas etapas. Na primeira a resina foi aplicada com pincel nas cavidades dos insertos e nas superfícies de fechamento. Desta forma as porosidades foram preenchidas pela resina, impermeabilizando-os para a realização da segunda etapa, após a cura do epóxi. Esta consistiu do vazamento da mais resina no interior da casca para fazer o seu preenchimento. Em ambas as etapas a resina foi curada à temperatura ambiente.

Após a cura final da resina, por aproximadamente 24 horas, os insertos foram lixados manualmente utilizando sequencialmente lixas de granulometria 320, 600 e 1200.

3.2. Medição de Rugosidade e Desvio Dimensional em Z

A fim de avaliar a qualidade superficial obtida com o lixamento dos insertos foram realizadas medições utilizando um rugosímetro InstruTerm RP200. Para tal, os insertos foram divididos em regiões, indicadas por números na Fig. (6), para facilitar o controle dos dados. Em cada região foram realizadas seis medições de Ra e Rz. Não foi possível realizar a medição dos degraus internos do inserto cavidade, pois, estes eram inacessíveis ao rugosímetro utilizado. A fabricação dos insertos foi feita com os filamentos depositados segundo a orientação $[45^\circ / -45^\circ]$, ou seja, as camadas possuem orientação intercalada de 45° e -45° em relação ao eixo X. As medições de rugosidade foram feitas segundo a direção do eixo Y nas regiões 2, 3, 5 e 6, em ambos os insertos. Nas demais regiões as medições foram realizadas na direção do eixo X. Desta forma as medições sempre foram feitas a 45° da orientação dos filamentos.

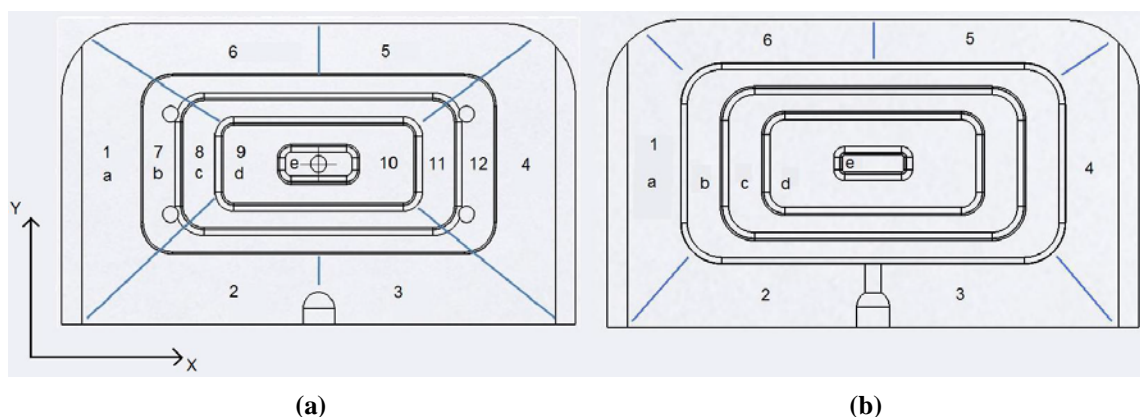


Figura 6. Regiões das medições de rugosidade no inserto macho (a) e cavidade (b).

A fim de avaliar o desvio dimensional decorrente de todo o processo de preparação dos insertos foram realizadas medições da altura dos degraus utilizando um equipamento de medição por coordenadas UMM 550 (Zeiss). Pretendeu-se com isto verificar a ocorrência de remoção demasiada de material com o lixamento dos insertos. Sessenta pontos foram medidos no inserto macho e setenta no inserto cavidade, distribuídos nos quatro degraus indicados por letras na Fig. (6). O desvio dimensional destas medições foi calculado a partir da superfície de fechamento (degrau (a) na Fig. (6)) de cada inserto com relação à dimensão nominal do arquivo CAD (*Computer Aided Design*), utilizado para fabricar os insertos.

3.3. Injeção

Após a avaliação da qualidade dos insertos estes foram instalados em um porta-molde de aço para serem submetidos à injeção de polipropileno em uma injetora Haitian HTF58X. O polipropileno foi seco em estufa por dez horas a 75°C antes de ser alimentado na máquina. A Fig. (7) mostra o inserto macho instalado no porta-molde.



Figura 7. Inserto macho instalado no porta-molde.

Devido à curta vida do RT fabricado por FDM é preciso atentar para a definição dos parâmetros de injeção iniciais, pois estes podem danificar a ferramenta de forma prematura. Neste trabalho foram utilizados como valores referenciais os parâmetros empregados por Brites, Yaga e Piacheski (2008) para a injeção da mesma geometria em insertos fabricados em resina RenShape 5166 (Huntsman). A Tab. (3) mostra estes valores bem como os parâmetros iniciais e finais utilizados no presente trabalho. O resfriamento do molde entre os ciclos foi feito com ar comprimido.

Tabela 3. Parâmetros de injeção, referenciais e utilizados.

	Pressão Inj.	Vel. Inj.	Temper. Inj.	Tempo Inj.	Pres. Rec.	Vel. Rec.	Tempo Rec.	Dosag.	Tempo Resf.
Unid.	[bar]	[mm/s]	[°C]	[s]	[bar]	[mm/s]	[s]	[mm]	[s]
BRITES, YAGA e PIACHESKI (2008)									
Aço	30	30	260	6,5	30		3,5		20
5166	23	25	250	6,5	23		5		20
Presente trabalho para ABS infiltrado com epóxi									
Iniciais	20	20	180	6,5	15	10	5	25	5
Finais	24	10	170	14	15	10	12	35	25

A realização das medições de rugosidade nas peças produzidas foi seguido o mesmo procedimento da medição nos insertos. As peças injetadas foram ainda avaliadas através da observação em um microscópio óptico Olympus BX51M com aproximação de 50x.

4. RESULTADOS

Os resultados das medições e da injeção estão apresentados nas seções a seguir.

4.1. Avaliação de Rugosidade dos Insertos

As Tab. (4) e (5) trazem as médias dos resultados das seis medições realizadas em cada região dos insertos.

Tabela 4. Resumo dos resultados de rugosidade do inserto macho.

Inserto Macho					
Região	Ra		Rz		
	Média [µm]	Desvio Padrão	Média [µm]	Desvio Padrão	
1	0,471	0,081	3,353	0,510	
2	0,781	0,177	4,464	0,884	
3	0,604	0,298	4,431	1,337	
4	0,538	0,054	3,515	0,226	
5	1,020	0,381	7,303	3,262	
6	0,824	0,121	4,863	0,750	
7	0,730	0,069	4,775	0,890	
8	1,116	0,398	5,865	1,514	
9	0,457	0,067	3,166	0,639	
10	0,655	0,151	4,344	0,930	
11	0,710	0,172	3,430	0,469	
12	0,980	0,575	5,733	2,046	

Tabela 5. Resumo dos resultados de rugosidade do inserto cavidade.

Inserto Cavidade				
Região	Ra		Rz	
	Média [µm]	Desvio Padrão	Média [µm]	Desvio Padrão
1	0,505	0,084	3,504	0,324
2	0,630	0,133	4,131	0,855
3	0,441	0,113	3,042	0,794
4	0,453	0,077	3,058	0,346
5	1,155	0,669	6,314	1,592
6	0,716	0,182	3,743	0,780

4.2. Avaliação Dimensional em Z

As Tab. (6) e (7) trazem as médias das alturas de cada degrau para os insertos macho e cavidade respectivamente. O valor de “Desvio” se refere à diferença da média das medições com a dimensão nominal do modelo CAD. Todas as alturas estão em relação à superfície de fechamento dos insertos.

Tabela 6. Resumo das alturas dos degraus dos inserto macho.

Inserto Macho			
Degrau	Altura CAD	Média MMC	Desvio
	[mm]		
a	0	-	-
b	4	4,0834	0,0834
c	8	8,1176	0,1176
d	12	12,2118	0,2118
e	8	8,0618	0,0618

Tabela 7. Resumo das alturas dos degraus dos inserto cavidade.

Inserto Cavidade			
Degrau	Altura CAD	Média MMC	Desvio
	[mm]		
a	0	-	-
b	-6	-6,2101	-0,2101
c	-10	-10,0208	-0,0208
d	-14	-14,1098	-0,1098
e	-10	-9,7225	0,2775

4.3. Resultados das Injeções

Foram injetadas quarenta e duas peças e, para mensurar o resultado das injeções, algumas peças foram cortadas e tiveram a sua rugosidade medida na região 10 (Fig. (6)) tanto na face superior, produzida pelo inserto cavidade, quanto na face inferior, produzida pelo inserto macho. A Fig. (8) traz os resultados destas medições.

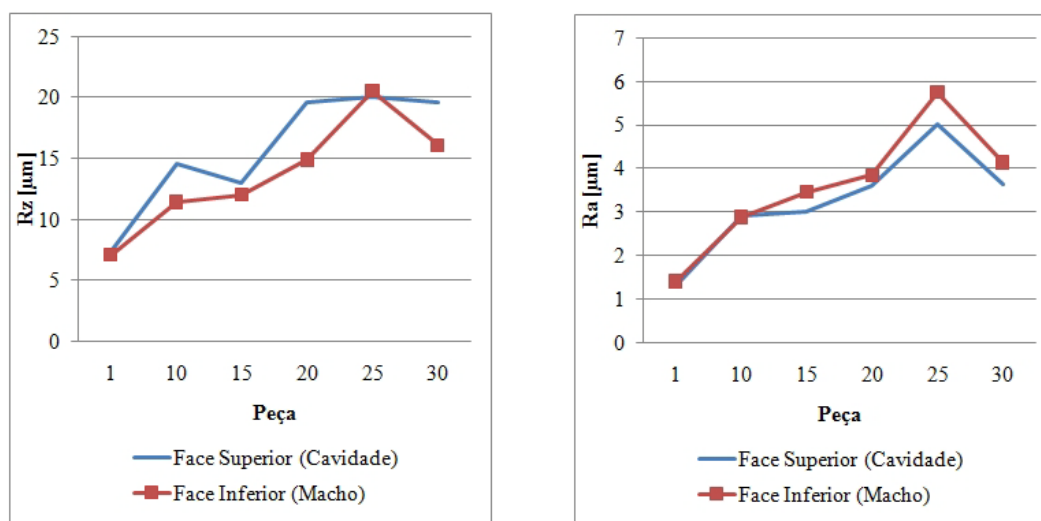


Figura 8. Rugosidades das peças injetadas (lado da cavidade e do macho) em PP em insertos de ABS.

5. DISCUSSÕES

Os insertos apresentaram desgaste na região do canal de injeção devido à atuação do fluxo de material fundido incidindo diretamente sobre as arestas da ferramenta. Este desgaste foi observado desde o primeiro ciclo de injeção até o décimo quinto, após o qual se estabilizou até a última injeção realizada. A Fig. (9) mostra a região do ponto de injeção no inserto macho após o décimo quinto ciclo.



Figura 9. Inserto macho após o 15º ciclo de injeção.

Através da observação das peças produzidas em microscópio foi possível visualizar a reprodução de forma negativa dos filamentos de ABS dos inserts (i.e. regiões claras da Fig. (10)) nas peças injetadas. Como os inserts são submetidos à compressão durante o processo de injeção a impressão dos filamentos deve ter sido causada pela depreciação da resina epóxi, contribuindo para a elevação da rugosidade nas peças. O emprego de uma resina epóxi inadequada pode ter contribuído para a ocorrência deste fato. Neste sentido é necessário estudar outros materiais com maior resistência à temperatura e viscosidade adequada à infiltração em peças FDM. A Fig. (10) mostra a superfície da 30ª peça injetada.

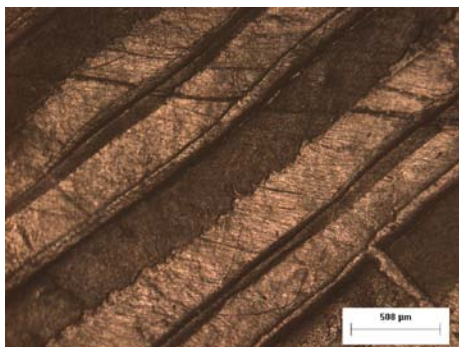


Figura 10. Superfície da 30ª peça injetada com ampliação de 50x.

A baixa condutividade térmica dos materiais empregados contribuíram para o aumento do tempo de ciclo, expondo demasiadamente os materiais à elevada temperatura do processo. Canais de refrigeração embutidos no inserto poderiam ser empregados para aumentar a eficiência do resfriamento.

6. CONCLUSÕES

O procedimento de infiltração e lixamento de peças fabricadas por FDM foram considerados satisfatórios, pois, permitiram a obtenção de rugosidade de em média $0,7 \mu\text{m}$ nos inserts, consideradas apropriadas para a aplicação em RT. A resina epóxi se mostrou adequada, quanto à viscosidade para infiltrar as peças fabricadas por FDM com os parâmetros empregados no trabalho, isto é, *gap* de $0,051 \text{ mm}$, permitindo boa infiltração das ferramentas e a obtenção de boa qualidade superficial. Com o decorrer dos ciclos de injeção não ocorreu, no entanto, a manutenção desta qualidade superficial.

A depreciação da qualidade dos inserts acarretou a produção de peças com rugosidade maior do que a dos inserts e crescente ao longo dos ciclos de injeção. A rugosidade média das peças injetadas variou de $1,3 \mu\text{m}$ na primeira peça injetada até $3,6 \mu\text{m}$ na trigésima. Os índices demonstram haver um crescimento da rugosidade, de aproximadamente 11% por ciclo de injeção, indicando ocorrer depreciação da qualidade superficial dos inserts devido às solicitações mecânicas e térmicas do processo.

7. AGRADECIMENTOS

Ao Núcleo de Prototipagem e Ferramental (NUFER) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e seus estagiários pela ajuda na operação dos equipamentos necessários à execução deste trabalho e fornecimento dos

materiais. Ao Laboratório de Metrologia da UTFPR, professores e estagiários, pelo auxílio na execução das medições de rugosidade e de altura por coordenadas e ao Laboratório de Materiais pelo auxílio nas análises por microscopia.

8. REFERÊNCIAS

- Ahn, S. H.; Montero, M.; Odell, A.; Roundry, S.; Wright, P. K., 2002, "Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS", *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 8, No. 14, pp.248-257.
- Ahrens, C.H.; Volpato, N., "Capítulo 5 – Ferramental Rápido", in Volpato, N. (Ed.), 2007, "Prototipagem Rápida: Tecnologias e Aplicações" Editora Edgard Blucher, São Paulo, São Paulo.
- Bellini, A.; Güçeri, S., 2003, "Mechanical characterization of parts fabricated using fused deposition modeling", *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 9, No. 4, pp. 252-264.
- Brites, A. C. A.; Yaga, C. M.; Piacheski, T. C., 2008, "Utilização de Materiais Alternativos para Confecção de Moldes- Protótipo Usinados", Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.
- Foggiatto, J. A., 2005, "Utilização do Processo de Modelagem por Fusão e Deposição (FDM) na Fabricação Rápida de Insetos para Injeção de Termoplásticos", Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- França, G.V.Z; Destefani, P.; Lima, M.V.A.; Foggiatto, J.A.; Volpato, N., 2009, "Estudo de Parâmetros da Tecnologia de Prototipagem Rápida FDM para Melhoraa no Planejamento de Processo", 5º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação.
- Grimm, T., 2004, "Users Guide to Rapid Prototyping", Society of Manufacture Engineers, Dearborn, USA.
- Hilton, P. D.; Jacobs, P. F., 2000, "Rapid Tooling: Technologies and Industrial Applications", Marcel Dekker, Inc., New York, USA.
- Hopkinson, N.; Hague, R.J.M.; Dickens, P.M., 2006, "Rapid manufacturing: an industrial revolution for the digital age", John Wiley & Sons, Chichester, England.
- Kretschek, D.; Foggiatto, J.A.; Volpato, N., 2009a, "Emprego do ferramental rápido no auxílio ao processo de desenvolvimento de produtos", Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produtos
- Kretschek, D.; Foggiatto, J.A.; Volpato, N., 2009b, "Infiltração de peças fabricadas por tecnologia FDM com resinas poliméricas", 10º Congresso Brasileiro de Polímeros.
- Pandey, P. M.; Reddy, N. V.; Dhande, S. G., 2003, "Improvement of surface finish by staircase machining in fused deposition modeling", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 132, pp. 323-331.
- Petrusch, G.; Silva, J.V.L.; Volpato, N.; Ahrens, C.H.; Carvalho, J., "Capítulo 7 – Realidade, desafios e perspectivas.", , in Volpato, N. (Ed.), 2007, "Prototipagem Rápida: Tecnologias e Aplicações", Editora Edgard Blucher, São Paulo, São Paulo.
- Rodriguez, J.F.; Thomas, J.P.; Renaud, J. E., 2000, "Characterization of the mesostructure of Fused-deposition acrylonitrile-butadiene-styrene materials", *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 6, No. 3, pp. 175-185.
- Rodriguez, J.F.; Thomas, J.P.; Renaud, J. E., 2001, "Mechanical behavior of acrylonitrile butadiene styrene (ABS) fused deposition materials", *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 7, No. 3, pp. 148-158.
- Silva, F.C.V.; Picanço, G.R.; Lançoni, M.C., 2008, "Desenvolvimento de insetos e gavetas para moldes de injeção utilizando o processo FDM de prototipagem rápida", Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.
- Vasudevarao, B.; Natarajan, D.P.; Henderson, M., 2000, "Sensitivity of RP Surface Finish to Process Parameter Variation" *Solid Freeform Fabrication Proceedings*, pp. 251-258.
- Volpato, N., "Capítulo 3 - Os principais processos de prototipagem rápida", in Volpato, N. (Ed.), 2007, "Prototipagem Rápida: Tecnologias e Aplicações", Editora Edgard Blucher, São Paulo, São Paulo.
- Volpato, N., "Capítulo 3 – Os principais processos de prototipagem rápida", in Volpato, N. (Ed.), 2007, "Prototipagem Rápida: Tecnologias e Aplicações" Editora Edgard Blucher, São Paulo, São Paulo.

9. DIREITOS AUTORAIS

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

Rapid Tooling by FDM with Epóxi Filling

David Kretschek, davidkretschek@gmail.com

José A. Foggiatto, foggiatto@utfpr.edu.br

Neri Volpato, nvolpato@utfpr.edu.br

Federal Technological University of Paraná, Av. Sete de Setembro, 3165 – Curitiba/PR

Abstract: *Rapid Prototyping (RP) has many applications within Product Development Process (PDP). During the final stages of the PDP, RP can be applied as a tool to manufacture dies and moulds for low volume production. This application is known as Rapid Tooling (RT). Although Fused Deposition Modeling (FDM) is a well disseminated technology, few efforts have been made to develop its RT application, if compared to other technologies. Previous researches indicated FDM surface roughness and material strenght as the main limitations to its application on injection molds' manufacture. This work studied the surface roughness of FDM parts, which were epoxi infiltrated and sanded afterward, as a mechanism to achieve better surface roughness, aiming to prolong tool life and produce better moulded parts. A pair of mold inserts were made by the referred method. An average roughness of 0,7 μm was obtained. The inserts were than tested by injecting polypropilene to verify their behaviour when exposed to the mechanical and thermal conditions of the injection process. The moulded parts presented an average roughness which was higher than the inserts and increasing during the injection process. This shows that the inserts surface quality decreased during material processing. The results demonstrate that it is possible to obtain better surface quality, through the applied method, however, more suitable infiltrating materials, with superior thermal resistance, should be applied in order to obtain better results.*

Keywords: *Rapid Prototyping, FDM, Rapid Tooling*