

PROPOSTA DE BOAS PRÁTICAS DE PROJETO E FABRICAÇÃO COM IMPRESSORAS 3D DO TIPO “LOW-END”

Jéssica Cardinali¹, Zilda de Castro Silveira²

1. Graduanda em engenharia de materiais e Mnaufatura, EESC-USP
2. Docente e pesquisadora em RDIDP, do Departamento de Engenharia Mecânica, EESC-USP

Resumo:

O objetivo deste trabalho é apresentar um conjunto de boas práticas de projeto em conjunto com o uso da impressão 3-D, em atividades de ensino de graduação e extensão. O termo *Design for Additive Manufacturing* (DfAM) é abordado como uma filosofia de projeto e como processo de fabricação, para componentes personalizados, exemplificados pelas peças geradas ao longo da familiarização com a manufatura aditiva e de geometrias para avaliação de erros de impressão, como empenamento e oozing para impressoras 3-D de baixo custo.

Palavras-chave: DfAM; FDM; aplicações acadêmicas.

Apoio financeiro: Pró-Reitoria de Graduação.

Trabalho selecionado para a JNIC pela instituição: USP.

Introdução:

A tecnologia e filosofia de projeto e fabricação da manufatura aditiva (MA) consolidaram-se em determinados segmentos industriais, principalmente nos países com grande investimento em pesquisa e tecnologia, notadamente Alemanha, EUA, Inglaterra entre outros. Em três décadas, a manufatura aditiva se transformou de tecnologia não comercial, mas de grande potencial gerando protótipos visuais, para um mercado que faturou cerca de U\$4 bilhões em 2014, com expectativa de crescimento acima de U\$21 bilhões para 2020 (Thomson et al, 2016).

As diferentes técnicas de MA permitem maiores velocidades de projeto e manufatura de ferramentas e moldes (VASCONCELOS et al, 2001), e para fabricação de peças finais e produtos industriais, e de bens de consumo. A geração de formas livres e a possibilidade de geração de geometrias específicas para peças funcionais e produtos finais proporcionam um conjunto de possibilidades ilimitadas por aplicações e custos efetivos da produção usando MA.

No conceito de projeto de engenharia, o projeto para manufatura aditiva (DfMA - Design

for Additive Manufacturing) está em constante evolução devido a um conjunto de fatores tecnológicos e econômicos como menor ciclo de desenvolvimento de produto, aumento da demanda de produtos customizados e personalizados (bens de consumo e bioengenharia), aumento da importância de regulamentação sobre sustentabilidade, redução dos custos de manufatura e introdução de novos modelos de negócios (KRUTH apud Thomson et al, 2016).

A utilização do conceito de DfMA ainda é incipiente no Brasil, com concentração de equipamentos industriais de MA em algumas empresas e, uso de impressoras 3-D do tipo low-end para algumas instituições de ensino superior e tecnológico, notadamente na região Sudeste e Sul (Sperling et al, 2015) e para o público geral: hobbistas, escritórios de arquitetura e engenharia.

No cenário educacional, há recentes esforços para que os alunos do ensino tecnológico e de cursos de graduação tenham contato com, em um primeiro cenário: uso da impressora 3-D para geração de protótipos e peças funcionais, com foco no processo de fabricação; e em um segundo cenário adoção da filosofia de DfMA.

Neste artigo é apresentado um estudo preliminar de boas práticas de projeto utilizando a tecnologia de impressão 3-D, junto aos alunos proveniente dos cursos de graduação e de pós-graduação em engenharia de materiais e manufatura, mecânica e alunos envolvidos com cursos de extensão voltados à competições periódicas.

Metodologia:

Para esse trabalho utilizou-se uma impressora 3-D comercial, da marca Clonner DH, com volume de trabalho de 320 x 210 x 400 mm, com precisão de camada de 0,050mm, diâmetro do bico injetor de 0,4 mm, diâmetro de filamento de 1,75 mm e temperatura máxima de operação de 280°C. Foram utilizados filamentos de PLA (Ácido Poliláctico). Os programas CAD utilizados foram: SolidEdge® e Solid Works®.

Para a visualização de problemas e verificação de parâmetros foram gerados cerca

de 40 protótipos, sendo 18 feitos para o curso de graduação SEM 0522 – Teoria e Metodologia de Projeto, 5 para o curso de SEM 0326 – Elementos de Máquinas (Figura 1) e os demais para trabalhos de TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) e apoio à projetos extracurriculares, como projetos: Formula® (Figura 2), Zenith e Mileage.

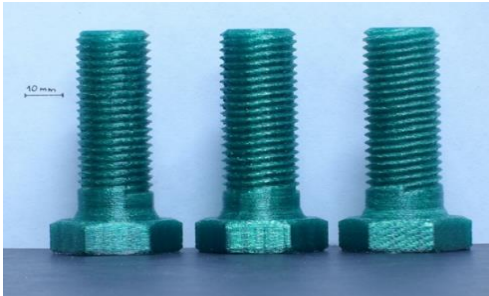


Figura 1. Parafusos prototipados com 1, 2 ou 3 entradas de rosca.



Figura 2. Volante impresso para a equipe do Fórmula Elétrico EESC-USP.

O processo de impressão por técnica FDM, principalmente para impressoras 3-D de baixo custo apresenta defeitos decorrentes do próprio controle de processo e do projeto mecânico do equipamento. Com o intuito de analisar qualitativamente esses defeitos foram feitos testes considerando variações nos parâmetros operacionais de deposição do material e da matéria-prima (PLA, com quatro cores diferentes).

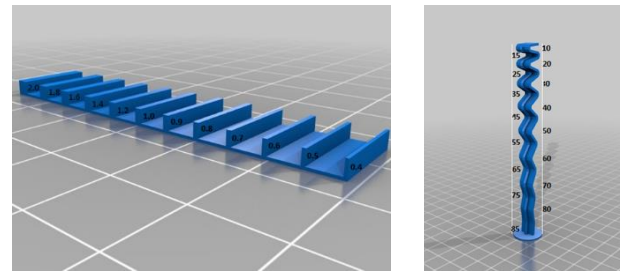
Dessa forma, foram reproduzidos alguns produtos e componentes do repositório online “Thingiverse”, para a análise dos defeitos encontrados nos protótipos obtidos das disciplinas e dos grupos de extensão.

Duas peças foram escolhidos pela sua capacidade de reproduzir problemas vistos nos primeiros protótipos impressos. O primeiro problema é a diferença dimensional entre o modelo computacional da peça (CAD) e o protótipo impresso. O segundo problema é má superfície do protótipo devido a utilização de suporte para partes suspensas da peça.

A Figura 3 (a) apresenta uma estrutura geométrica para avaliação dimensional do processo de impressão. A configuração consiste de paredes com diferentes espessuras

(0,4 a 2 mm), com 5 mm de distância entre uma parede e outra. Foram impressas três peças de cada cor (vermelho, laranja, transparente e verde).

A Figura 3 (b) apresenta uma configuração geométrica para avaliar a impressão de peças sem estruturas de suporte. Na mesma peça foi feita uma variação da porcentagem de preenchimento, considerando também a variação das cores de filamentos de PLA.



(a)

(b)

Figura 3. Geometrias utilizadas na verificação (a) de precisão dimensional e (b) impressão sem suporte.

Dessa forma, verificou-se duas condições de geração de componentes com técnica FDM: variação geométrica e ângulos de impressão sem estrutura de suporte.

Resultados e Discussão:

Com esses trabalhos pode-se perceber os principais problemas relacionados com obtenção de objetos geradas com a técnica FDM. Essas variações dimensionais exibem defeitos como: empenamento (*Warping*), rebarbas (*Oozing*), entupimento do bico injetor e o cuidado que deve haver com relação à estrutura de suporte. A partir dessas observações foi gerada uma nova geometria, com diferentes cores para demonstração do teste de precisão dimensional ilustrados pela figura 4 (a).



Figura 4. Corpos de prova do teste de precisão dimensional.

Apesar de ocorrer uma pequena variação dimensional, para valores de

espessura inferior a 0,8 mm, a resolução da impressora ainda não é precisa o suficiente para gerar peças com encaixes. Por esse motivo se faz necessária a utilização de folgas, cujo comportamento é apresentado na Tabela 1.

Essa abordagem reforça que, a manufatura aditiva como um processo de fabricação, ainda apresenta uma precisão inferior, para dimensões reduzidas, quando comparada com processos de fabricação subtrativos.

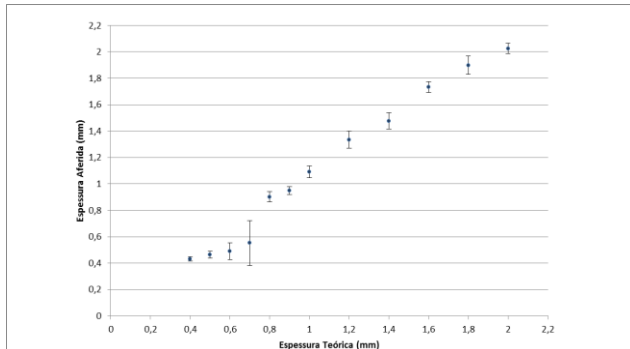


Tabela 1. Média dos valores obtidos versus os valores teóricos.

Com relação ao teste de verificação de ângulo para impressão, pode-se notar pela Figura 5, que há uma influência da cor utilizada, na qualidade dimensional dos protótipos. Entretanto, a variação da porcentagem de preenchimento não foi relevante para o acabamento da impressão.

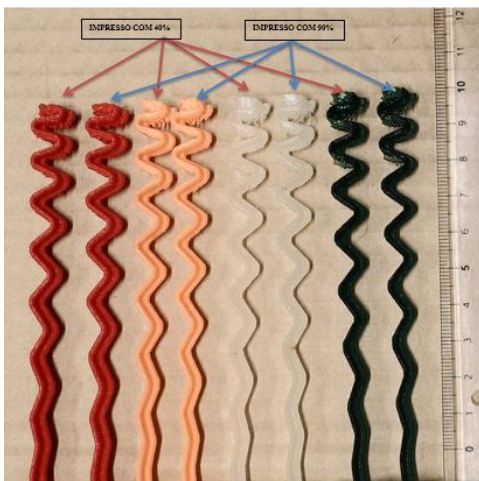


Figura 5. Corpos de prova do teste de prototipagem sem apoio.

Conclusões:

Este trabalho permitiu que as experiências adquiridas junto as disciplinas de graduação, para a geração de protótipos visuais e funcionais fossem estendidas para a identificação de defeitos gerados durante o processo de fabricação de tecnologia FDM de baixo custo. Principalmente, defeitos geométricos provenientes das condições

operacionais e da influência da temperatura e umidade, uma vez que a impressora 3-D possui câmara aberta.

Pode-se concluir, de forma preliminar a importância da verificação e controle da temperatura de deposição, malha do modelo geométrico, bem como a influência da matéria-prima, nesse trabalho verificou-se que cores diferentes, produzem peças com diferentes qualidades dimensionais.

Como trabalhos futuros, serão conduzidos experimentos planejados investigação da influência das cores do PLA na qualidade dimensional, para caracterização de suas microestruturas e da influência de diferentes fornecedores.

Referências bibliográficas

BARON, L.; CINCOU, A. Introduction of 3D Printers into Engineering Student Design Projects. In: **Proceedings of the 14th IFToMM World Congress**. 國立臺灣大學機械系, 2015. p. 171-178.

Justino Netto, J.M.; Carvalho, J.; Silveira, Z.C. (2015) Manual de Impressão 3D, 19p.

KHOT, Rohit Ashok; HJORTH, Larissa; MUELLER, Florian'Floyd'. Understanding physical activity through 3D printed material artifacts. In: **Proceedings of the 32nd annual ACM conference on Human factors in computing systems**. ACM, 2014. p. 3835-3844.

PHAM, Duc Truong; GAULT, Rosemary S. A comparison of rapid prototyping technologies. **International Journal of machine tools and manufacture**, v. 38, n. 10, p. 1257-1287, 1998.

SPERLING, David M. *et al.* Fabricação digital na América do Sul: um mapeamento de linhas de ação a partir da arquitetura e urbanismo. **Blucher Design Proceedings**, 2015.

THOMPSON, Mary Kathryn et al. Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints. **CIRP Annals-Manufacturing Technology**, v. 65, n. 2, p. 737-760, 2016.

VASCONCELOS, Pedro; LINO, F. Jorge; NETO, R. O fabrico rápido de ferramentas ao serviço da engenharia concorrente. **Tecnometal**, v. 136, p. 17-21, 2001.

WOHLERS, Terry T.; CAFFREY, Tim. **Wohlers**

report 2015: 3D printing and additive manufacturing state of the industry annual worldwide progress report. Wohlers Associates, 2015.

www.thingiverse.com. Acesso: 04 de junho de 2016.