

APLICAÇÃO DA IMPRESSÃO 3D DE BAIXO CUSTO NA FABRICAÇÃO DE PEÇAS COM CONEXÕES SNAP-FIT

Leonardo Santana, leonardosantana29@gmail.com¹

Jorge Lino Alves, falves@fe.up.pt²

Aurélio Sabino da Costa Netto, asabino@ifsc.edu.br³

¹Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal

²INEGI, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal

³Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis, Florianópolis – SC, Brasil

Resumo: Questões relativas à montagem de componentes são fundamentais para a concepção e o desenvolvimento de novos produtos durante o processo de projeto. Os princípios do DFMA (Design for Manufacturing and Assembly) destacam a ideia do “uso mínimo de fixadores separados” e, neste cenário, a aplicação de conectores snap-fit tem se mostrado uma alternativa interessante para cumprir tal requisito e otimizar o projeto. A crescente evolução e popularização dos processos de Manufatura Aditiva (MA) potencializam o desenvolvimento de peças funcionais e a produção de protótipos para encaixe e montagem. Na literatura são encontrados estudos que exploram esta aplicação somada à fabricação e à análise de snap-fits, mas envolvendo uso de equipamentos e tecnologias MA de alto custo ou a moldagem por injeção. Este artigo busca, portanto, realizar um estudo exploratório de aplicação da impressão 3D por extrusão e de baixo custo na fabricação de um gabinete para placas eletrônicas, cujas partes são unidas por snap-fits. Duas concepções foram projetadas e fabricadas em Poli (Ácido Lático) (PLA), sendo a principal diferença entre elas o uso de menores ou maiores folgas entre os elementos de encaixe, com o objetivo de verificar as limitações do processo e da máquina. As peças foram analisadas através da aquisição de imagens macro, avaliação dimensional e escaneamento 3D. Os resultados indicaram que a tecnologia é favorável à aplicação proposta, porém foram identificados problemas quanto a tolerâncias dimensionais, falhas de deposição, e fraca adesão entre camadas, que devem ser mais bem explorados em estudos futuros.

Palavras-chave: DFMA, impressão 3D, baixo custo, snap-fit, PLA.

1. INTRODUÇÃO

O Projeto para Manufatura e Montagem (*Design for Manufacturing and Assembly – DFMA*) consiste em um conjunto de conceitos, técnicas, ferramentas e métodos que visam o aperfeiçoamento do processo de fabricação ou a simplificação da montagem de produtos, considerando aspectos como: análise de valores de tolerâncias, complexidade e *layout* do produto, total de peças, manufaturabilidade, custos, tempo de montagem, e modularidade. Particularmente, o Projeto para Manufatura (*Design for Manufacturing – DFM*) caracteriza-se pela análise individual das geometrias das peças, durante o projeto, que formarão o produto após a montagem, buscando facilitar a construção destes componentes e a redução de custos de ferramentas. Já o Projeto para a Montagem (*Design for Assembly – DFA*) avalia o produto como um todo, com o objetivo de descomplicar a estrutura do mesmo, tornando assim o processo de montagem menos custoso e mais otimizado (Catapan et al, 2008; Kamrani e Nasr, 2010).

Especialmente no contexto do DFA, importantes autores como Ullman (2010) desenvolveram metodologias para melhorar a eficiência do processo e medir a qualidade de projetos a partir da montagem. Em uma de suas diretrizes — “faça o uso mínimo de fixadores separados” (Ullman, 2010, p. 335) —, o autor sugere a aplicação de conexões *snap-fits* como uma solução para redução do número fixadores separados, e como alternativa para melhorar o desempenho do projeto. Na indústria automobilística, por exemplo, o uso de sistemas *snap-fit* em substituição aos parafusos e outros tipos de juntas mecânicas cresce rapidamente, justamente pela economia de tempo proporcionada pela simplificação do processo de montagem (Salmanzadeh e Rasouli, 2015).

Os *snap-fits* comumente estão associados a peças confeccionadas em plásticos, uma vez que estes materiais tornaram os componentes mais práticos e populares devido a sua flexibilidade relativa. Outra característica positiva atribuída aos plásticos são suas tecnologias de processamento, como a moldagem por injeção, que tornaram a produção de geometrias complexas economicamente viáveis (Bonenberger, 2005). No entanto, em função das geometrias dos sistemas *snap-fit*, o molde de injeção utilizado para produzir as peças pode se tornar significativamente complicado e de alto custo. Sendo assim, as formas dos *snap-fits* tornam-se boas candidatas para a fabricação por Manufatura Aditiva (Goenka, 2011). Soma-se ainda ao fato anteriormente citado, de acordo com Wohlers (2016), que uma das maiores aplicações da Manufatura Aditiva em companhias é a construção de protótipos para encaixe e montagem.

Em revisão prévia da literatura foram identificadas iniciativas que utilizaram a Manufatura Aditiva para a construção e análise de conexões *snap-fit*, em geral para testar conceitos. Tais estudos, no entanto, partiram da

utilização de equipamentos e métodos MA de alto custo, materiais e máquinas, como: sinterização seletiva a laser — Klahn et al (2016) e Torossian e Bourell (2015) —, e *PolyJet* — Bareta et al (2011), Udriu (2012) e Seidl et al (2015).

Diante desse cenário, verificou-se que a aplicação e o desempenho de tecnologias de Manufatura Aditiva baseadas em projetos “open source” e de baixo custo, aplicadas ao desenvolvimento — de protótipos ou não — de conexões *snap-fit* são ainda incipientes na literatura da área. Neste sentido, o presente trabalho teve como intuito realizar um estudo exploratório para identificar os principais benefícios e limitações (projeto, construção e utilização) da aplicação de sistemas de Impressão 3D de código aberto baseados em extrusão na fabricação de peças finais, e em pequena escala, com elementos de encaixe rápido. Buscou-se gerar dados que permitam que futuramente as principais vantagens das plataformas livres — isto é, a liberdade de ajuste de parâmetros de processo e a facilidade de intercâmbio de materiais —, possam ser utilizadas para otimizar peças que necessitem respeitar padrões restritos de qualidade em Engenharia e repetibilidade de performance em uso.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foi projetado e construído um gabinete para o *Mini PC UDOO*¹, constituído basicamente de duas partes, tampa e base, Fig. (1) (a). O modelo foi utilizado para avaliar as capacidades do processo de Impressão 3D por extrusão e de baixo custo na fabricação de elementos conectados por *snap-fits*. Foi utilizado o modelo gancho reto (Bareta et al, 2011) de conexão *snap-fit*, Fig. (1) (b), em um total de quatro pares de encaixe — isto é, macho e fêmea, Fig. (1) (b) e (c) —, localizados em duas das quatro faces do gabinete. As dimensões em destaque correspondem respectivamente a largura (L_b), comprimento até a presilha (C_b), e espessura (E_b) da barra cantilever, e a largura (L_f) e altura (h_f) da parte fêmea. Ressalta-se que o produto foi selecionado justamente por se tratar de um conjunto personalizado e, portanto, adequado para a aplicação da tecnologia de processamento abordada.

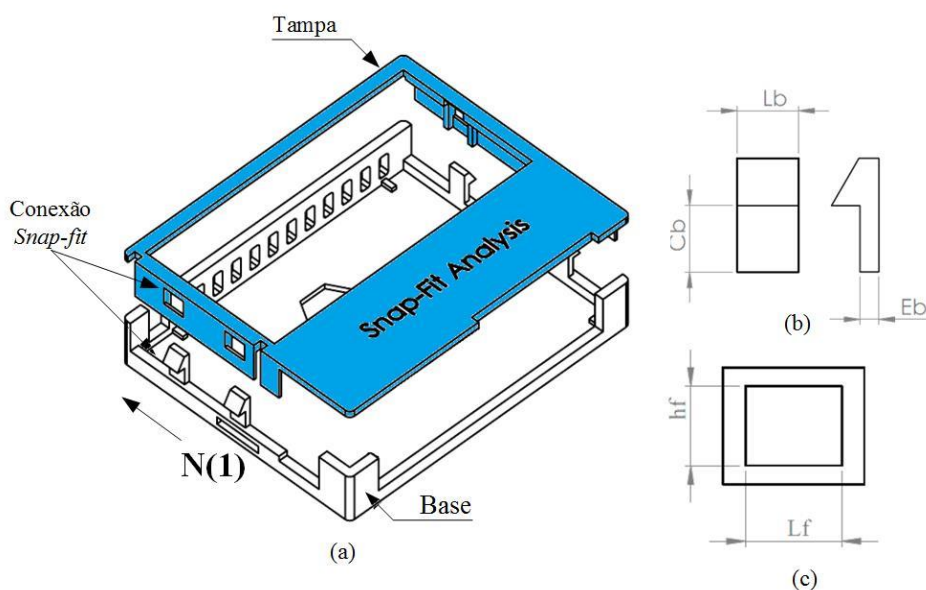


Figura 1. Gabinete para *Mini PC UDOO* (a); elementos macho (b) e fêmea (c) da conexão *snap-fit*.

Dois modelos de gabinete foram planejados de forma evolutiva, isto é, primeiramente uma concepção foi projetada, construída, e testada, e as experiências obtidas foram utilizadas como informações de entradas para o desenvolvimento do segundo conjunto. As concepções diferenciaram-se entre si principalmente em função das folgas, Fig. (2) (a) atribuídas entre os elementos macho e fêmea da conexão *snap-fit* — respectivamente (0,5 e 1) mm para as concepções 1 e 2 —, e pela interferência entre as bordas das duas partes que constituem o conjunto, na montagem do mesmo. Relativamente à interação entre as bordas, foi estabelecido na concepção 1 um encaixe fino — Fig. (2) (b) — entre a borda da tampa, de 1 mm de espessura, e um recuo de mesma dimensão aplicado às paredes da base. Já na concepção 2, duas das bordas laterais da tampa foram removidas — Fig. (2) (c) —, mantendo-se apenas as que continham a parte fêmea da união *snap-fit*.

É importante ressaltar que, em função do caráter investigativo do trabalho, os aspectos de projeto aplicados no desenvolvimento das concepções são característicos do *design* de peças para os tradicionais métodos de fabricação de componentes poliméricos, tais como a moldagem por injeção. Em outras palavras, não foram utilizados conceitos

¹ Informações complementares sobre o dispositivo encontram-se disponíveis na página do fabricante: <http://www.udoo.org/> Acesso em 7 de maio de 2017.

especialistas ou fatores de correção no projeto das peças relacionados às peculiaridades do processo de Impressão 3D por extrusão em máquinas de baixo custo.

As peças foram fabricadas em uma impressora 3D modelo *Prusa I3 Hephestos*. Um filamento de Poli (Ácido Lático) (PLA) de 1,75 mm de diâmetro da empresa *3D Ink®* foi utilizado para a construção das partes. Para o fatiamento do modelo 3D das peças e o planejamento do processo foi aplicado o *software* livre *Craftware*. Os parâmetros de processo em sua maioria foram mantidos com valores *default* do programa, exceto: espessura de camada em 0,32 mm — visando a compatibilidade com o diâmetro do bico (0,4 mm) —, velocidade de impressão (40 mm/s), e temperatura de aquecimento da base de impressão (80° C, do início ao fim do processo). Para a temperatura de extrusão do material foi mantido o valor de 215°C que o *software* adota como padrão para o PLA.

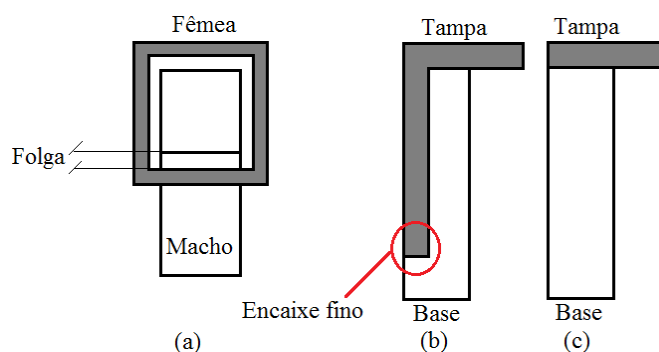


Figura 2. Representação da folga entre os elementos da conexão *snap-fit* (a), e ilustração da interação entre bordas nas concepções 1 (b) e 2 (c).

Por fim, no primeiro momento, as peças foram avaliadas dimensionalmente com auxílio de um paquímetro *Mitutoyo®* (com resolução de 0,02 mm) — com cinco medições por região analisada — e por aquisição de imagens macro. Com os resultados obtidos com o primeiro conjunto de peças, buscou-se, na segunda concepção, utilizar uma tecnologia de análise, neste caso o levantamento de forma por escaneamento 3D (equipamento *ATOS Triple Scan, Gom*), que permitisse identificar minuciosamente desvios dimensionais — determinados a partir da correlação direta com o modelo CAD —, em diversos pontos ao longo da extensão de áreas do modelo real, além de distorções de forma, como empenamentos. Uma síntese da metodologia aplicada no estudo é apresentada na Fig. (3).

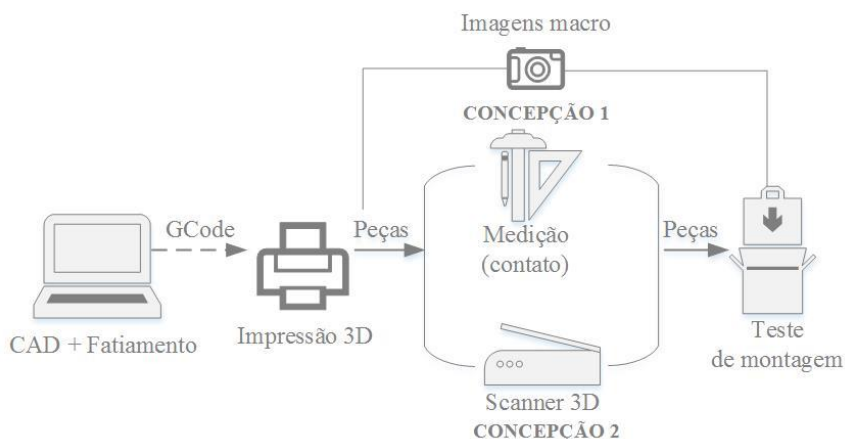


Figura 3. Metodologia do estudo de caso exploratório.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Concepção 1

Na Tab. (1) são apresentados os resultados da análise dimensional das partes das peças (base e tampa) diretamente relacionadas à montagem do produto: espessura das bordas, recuo, e elementos da conexão *snap-fit*. As estruturas foram numeradas de 1 a 4. Para melhor compreensão das informações apresentadas na Tab. (1), na Fig. (1) (a) foi feita uma referência de posicionamento, representada pela denotação “N(1)”, que indica a borda 1 da tampa e da base, o recuo 1 da base, e o par de conexão *snap-fit* 1. A seta na mesma figura indica o sentido horário de incremento da numeração.

As medições indicaram um erro dimensional médio de aproximadamente +0,56 mm ($\approx +22,5\%$) na espessura das bordas da base — originalmente com 2,5 mm —, e de -0,05 mm ($\approx -5\%$) para o recuo de 1mm. Relativamente às bordas da tampa, apresentaram um erro de +0,54 mm ($\approx +54\%$) em relação ao valor real de 1 mm. A combinação dos erros dimensionais, isto é, o crescimento das dimensões das bordas da base e tampa, aliado à redução do recuo, influenciaram diretamente a compatibilidade projetada para as partes, resultando na danificação da tampa durante o teste de montagem. Tais falhas caracterizaram-se pelo rompimento da união entre as camadas — Fig. (4) (a) —, no sentido de empilhamento (Z), e pela quebra na região de encontro entre duas bordas (quina) — Fig. (4) (b).

Tabela 1. Resultados da análise dimensional para os elementos relacionados à montagem do gabinete.

Referência	Base (mm)				Tampa (mm)		
	Bordas = E_b	Recuo	L_b	C_b	Bordas	L_f	h_f
N(1) ²	$3,05 \pm 0,15$	$0,93 \pm 0,02$	$6,42 \pm 0,07$	$3,19 \pm 0,11$	$1,55 \pm 0,06$	$6,23 \pm 0,04$	$4,89 \pm 0,04$
N(2)	$3,06 \pm 0,13$	$0,95 \pm 0,07$	$6,47 \pm 0,10$	$3,34 \pm 0,14$	$1,57 \pm 0,07$	$6,14 \pm 0,15$	$4,84 \pm 0,19$
N(3)	$3,13 \pm 0,06$	$0,96 \pm 0,03$	$6,38 \pm 0,02$	$3,16 \pm 0,14$	$1,51 \pm 0,10$	$6,18 \pm 0,02$	$4,93 \pm 0,11$
N(4)	$3,01 \pm 0,10$	$0,97 \pm 0,08$	$6,43 \pm 0,04$	$3,28 \pm 0,39$	$1,51 \pm 0,03$	$6,16 \pm 0,07$	$4,81 \pm 0,19$
Média ³	$3,06 \pm 0,05$	$0,95 \pm 0,02$	$6,43 \pm 0,03$	$3,24 \pm 0,08$	$1,54 \pm 0,03$	$6,18 \pm 0,04$	$4,87 \pm 0,05$
Valor real	2,50	1,00	6,00	4,00	1,00	6,50	5,50
Erro (%) ⁴	22,50	-5,00	7,00	-19,00	54,00	-5,00	-11,50

Os desvios dimensionais nos elementos da conexão *snap-fit* também foram relevantes quando comparados ao valor projetado: cerca de +0,43 mm ($\approx +7\%$) para L_b e de -0,76 mm ($\approx -19\%$) para C_b , ambos relacionados ao conector macho — salienta-se que o erro dimensional para a espessura da barra (E_b) foi considerado igual ao da espessura das bordas N(1) (para os conectores 1 e 2) e N(3) (conectores 3 e 4). No caso da parte fêmea, as dimensões L_f e h_f apresentaram erros de -0,32 mm ($\approx -5\%$) e -0,63 mm ($\approx -11,5\%$). Em função das geometrias dos componentes da conexão *snap-fit* e da direção de construção da peça (Z), foi necessária a aplicação de estruturas de suporte⁵ durante a impressão, o que colaborou para as distorções dimensionais — Fig. (5) (a) e (b).

É importante destacar que a redução da área do elemento fêmea, em conjunto com o aumento da largura e a redução do comprimento até a presilha da barra cantilever, gerou outros pontos de incompatibilidade para o encaixe entre as partes. Por fim, as médias das cinco medições por cada região comum das peças (bordas, recuos, elementos da conexão *snap-fit*), base e tampa, foram comparadas entre si, e os resultados indicaram igualdade estatística em todas as situações — Tab. (2) e Tab. (3).

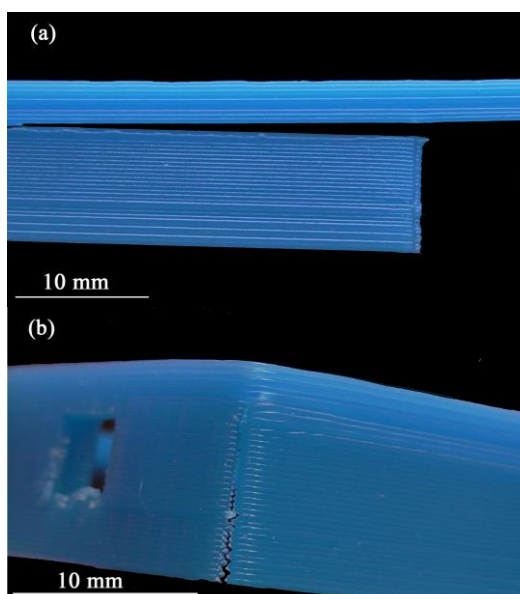


Figura 4. Rompimento da união entre camadas (a), e fratura na região de encontro entre bordas (b).

² Os valores de N(1) a N(4), para cada uma das partes das peças, correspondem à média das cinco medições por região.

³ Corresponde à “média das médias”, isto é, ao longo de cada coluna da Tab.(1).

⁴ Calculado a partir da diferença entre a “média das médias” de cada dimensão e o valor projetado (real).

⁵ Como o equipamento disponibilizava apenas um bico, o próprio material de construção foi utilizado como suporte.

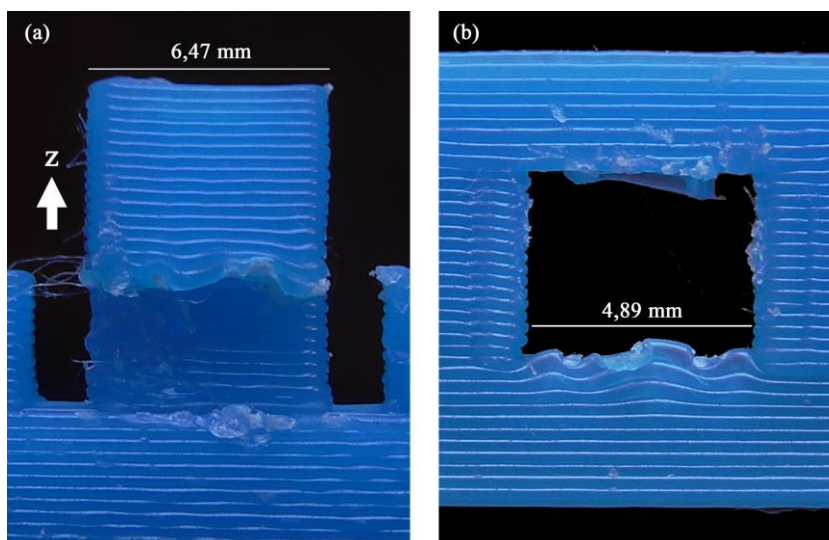


Figura 5. Falhas nos conectores *snap-fit*: (a) macho e (b) fêmea.

Tabela 2. ANOVA ($\alpha = 95\%$) para os elementos dimensionais da base.

	Bordas=E _b			Recuo			L _b			C _b		
	EG ⁶	DG	Total	EG	DG	Total	EG	DG	Total	EG	DG	Total
<i>gl</i>	3	16	19	3	16	19	3	16	19	3	16	19
<i>SQ</i>	0,03	0,21	0,25	0,004	0,049	0,054	0,02	0,07	0,09	0,11	0,81	0,92
<i>MQ</i>	0,011	0,013		0,001	0,003		0,006	0,004		0,04	0,05	
<i>F</i>	0,82			0,45			1,31			0,71		
<i>P</i>	0,50			0,72			0,30			0,56		

Tabela 3. ANOVA ($\alpha = 95\%$) para os elementos dimensionais da tampa.

	Bordas			L _f			h _f		
	EG	DG	Total	EG	DG	Total	EG	DG	Total
<i>gl</i>	3	16	19	3	16	19	3	16	19
<i>SQ</i>	0,01	0,07	0,09	0,02	0,11	0,13	0,04	0,33	0,38
<i>MQ</i>	0,005	0,005		0,01	0,01		0,01	0,02	
<i>F</i>	0,99			1,11			0,67		
<i>P</i>	0,42			0,38			0,59		

3.2. Concepção 2

Conforme citado anteriormente, na segunda concepção os pontos de contato entre as bordas da tampa e da base foram removidos e, portanto, os principais elementos relacionados ao processo de montagem foram os elementos da conexão *snap-fit*. Na Fig. (6) são apresentados os resultados do levantamento de formas para os conectores N(3) e N(4), cujas variações dimensionais foram mais consideráveis entre os machos. De acordo com a análise ilustrada na Fig. (6), a maior parte dos desvios nestas regiões foram positivos — apesar de alguns valores negativos, em torno de -0,56 mm, serem observados —, isto é, no sentido de aumentar as dimensões, atingindo valores críticos em torno de +1,04 mm em N(4)⁷. Assim como nos machos, os conectores N(3) e N(4) fêmeas também foram os que apresentaram os maiores erros dimensionais — Fig. (7).

Coincidentemente os desvios nestas partes também tiveram valores positivos — máximos de (+ 1,32 e +1,33) mm —, e portanto, colaboraram para o crescimento das dimensões, e consequentemente para a redução das folgas projetadas para o elemento. Ainda assim, como as folgas foram consideravelmente maiores na concepção 2, foi possível o encaixe entre as partes através da conexão *snap-fit* — Fig. (8). É importante ressaltar que tanto nos conectores machos quanto nos fêmeas os maiores desvios (negativos ou positivos) foram nas regiões de aplicação dos material de suporte, assim como na concepção 1.

⁶ As siglas “EG” e “DG” correspondem respectivamente às terminologias “entre grupos” e “dentro de grupos”.

⁷ Valor encontra-se na região em “vermelho escuro” da escala cromática, isto é, acima de 0,20 mm.

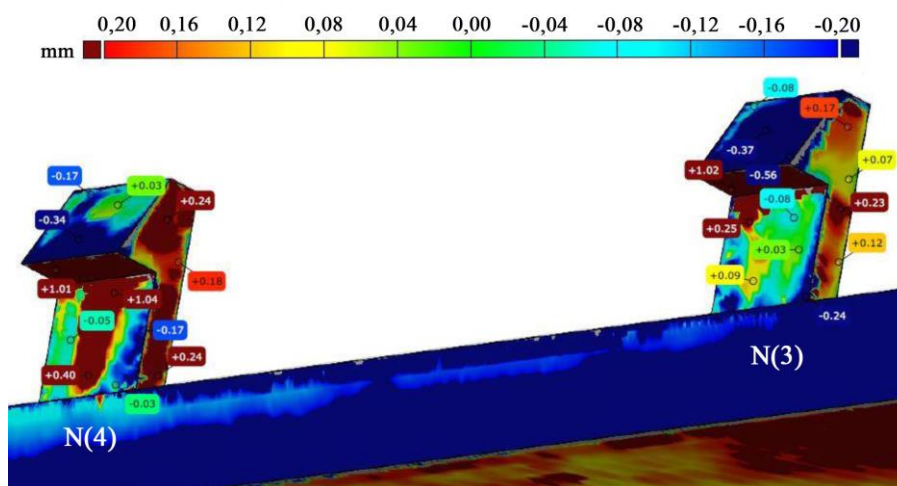


Figura 6. Levantamento de formas, conectores machos.

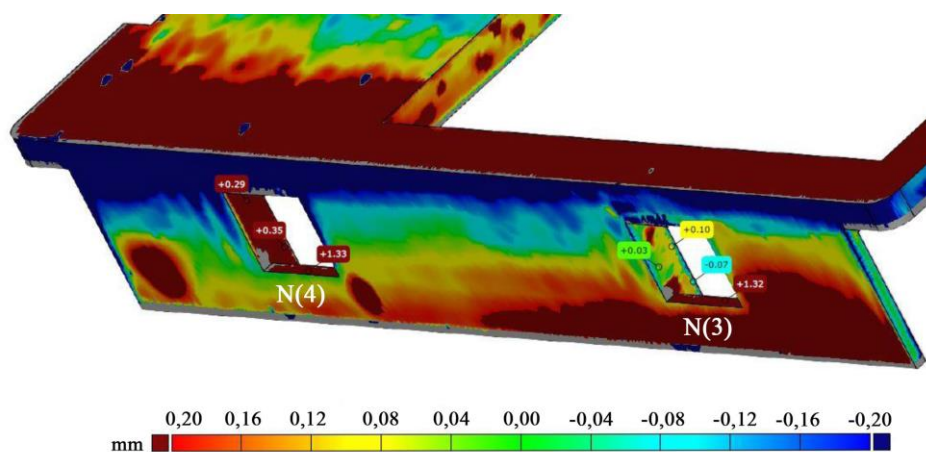


Figura 7. Levantamento de formas, conectores fêmeas.



Figura 8. Encaixe entre os elementos macho e fêmea⁸.

⁸ Os círculos pretos nas peças, apresentados na Fig. (8) e Fig. (9), são pontos de referência para o processo de digitalização.

Seguindo com a apresentação dos resultados da análise por escaneamento 3D, na Tab. (4) são sintetizados os principais desvios dimensionais identificados ao longo das áreas das bordas e demais componentes da união *snap-fit* para a base e a tampa da concepção 2.

Tabela 4. Desvios dimensionais na concepção 2: análise por escaneamento 3D.

Referência	Base (mm)		Tampa (mm)	
	Bordas	Machos	Bordas	Fêmeas
N(1)	+0,49 à +0,77	-0,27 à +0,76	-0,31 à +0,50	+0,18 à +0,99
N(2)	+0,09 à +1,34	-0,26 à +0,74	-	-0,09 à +1,11
N(3)	-0,40 à -0,38	-0,56 à +1,02	-0,34 à +0,40	+0,03 à +1,32
N(4)	-0,40 à +0,13	-0,34 à +1,04	-	+0,29 à +1,33

Boa parte dos desvios positivos identificados nas concepções 1 e 2, os quais aumentaram as dimensões das peças, foram atribuídos ao excesso de material depositado ao longo das superfícies, visivelmente perceptível — Fig. (9).

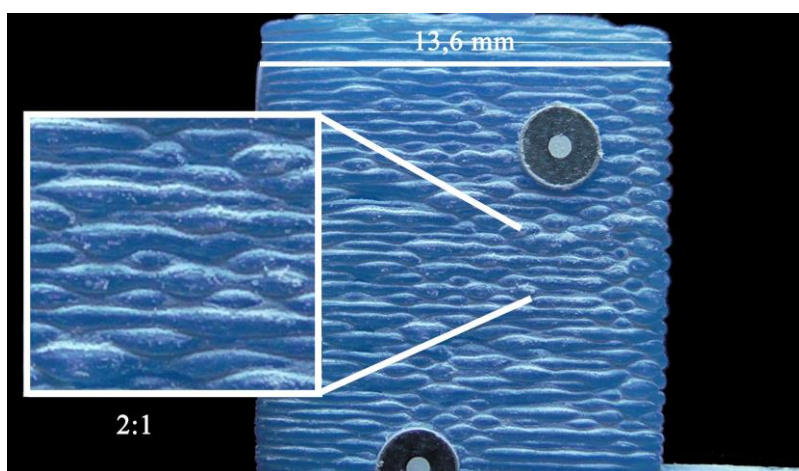


Figura 9. Excesso de material depositado.

Ainda sobre os resultados obtidos com a digitalização das peças impressas, em uma análise geral das superfícies foi possível associar os desvios negativos, Fig. (10) (a), com o empenamento das peças. Na Fig. (10) (b) este efeito fica mais claro, uma vez que os dois modelos, CAD 3D (azul) e digitalizado (cinza) são sobrepostos. Por fim, na Fig. (11), (a) e (b), é apresentada a montagem final do produto, sem danos causados pelo teste de montagem.

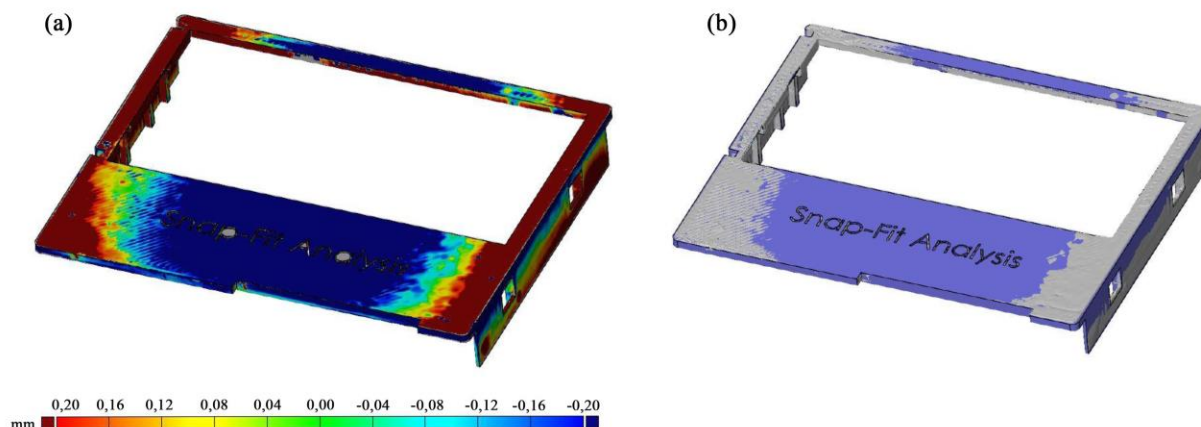


Figura 10. Empenamento: desvios dimensionais (a), modelos sobrepostos (b).

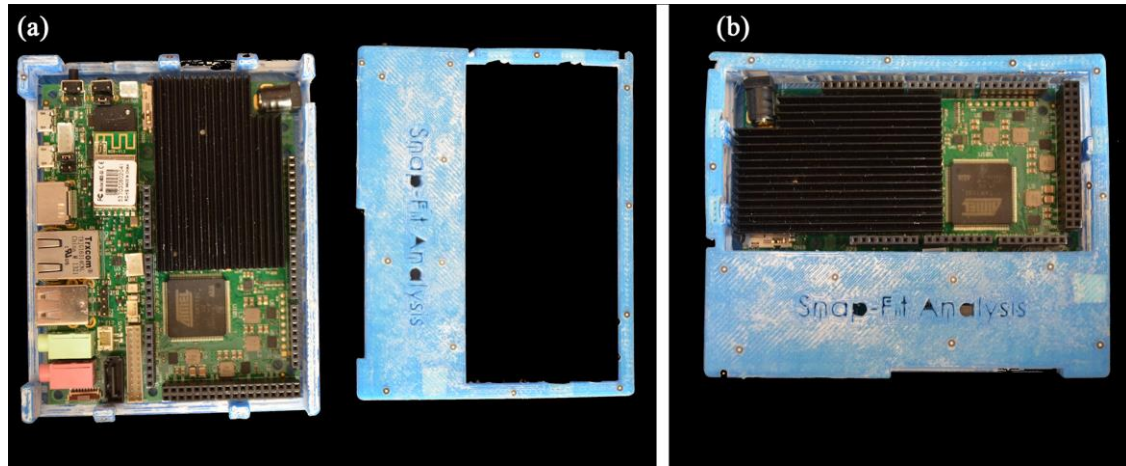


Figura 11. Montagem do produto: (a) gabinete aberto, (b) gabinete montado.

4. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados no presente artigo foram satisfatórios diante da proposta inicial do trabalho que consistia na identificação e exploração dos principais problemas relacionados à fabricação de componentes para montagem por Impressão 3D baseada em extrusão e de baixo custo, sem a preocupação inicial de otimização paramétrica. As variações no modelo CAD caracterizam-se como um fator significativo ao estudo, uma vez que apesar das distorções de forma e dimensionais verificadas, a inserção de maiores folgas e a eliminação de pontos de interferência entre as partes permitiram a montagem do sistema, na concepção 2, sem danos às partes envolvidas. Assim se destaca a importância de se explorar o desenvolvimento e a aplicação de conceitos de projeto dedicados às características da Impressão 3D, em especial a de baixo custo, pois o uso de técnicas convencionais mostrou-se não ser replicável nos modelos construídos.

Relativamente aos erros dimensionais, quando a magnitude foi avaliada em um aspecto geral, conforme realizado na análise da concepção 1, foi possível identificar certa proximidade entre os valores para cada conjunto de regiões comuns — isto é, entre bordas, recuos, elementos *snap-fit* —, fortalecendo assim a ideia de ser um erro do processo de fabricação, e portanto, passível de correção também através da configuração de parâmetros de impressão, principalmente dos relacionados ao controle da deposição. A ausência — por falta de abrangência — ou a presença — devido ao processo de remoção, uma vez que material de construção foi usado para sustentação — de estruturas de suporte foram prejudiciais à estabilidade dimensional e de forma dos conectores *snap-fit*. Tal efeito negativo sugere o desenvolvimento de estratégias para a otimização do processo de fabricação, seja quanto ao projeto dos componentes, à orientação de construção, ou mesmo a adaptações no equipamento para a utilização de um segundo material, especialista para suportes. O uso de bicos com menores diâmetros é outra alternativa para melhorar a resolução e a precisão da construção das peças, uma vez que se torna possível a aplicação de menores espessuras de camada.

A fraca resistência entre as camadas também foi um fator pertinente no estudo, sendo assim, esforços devem ser realizados para melhorar a qualidade da união entre camadas, ou para o desenvolvimento de reforços em regiões solicitadas no processo de montagem. O empenamento das peças ressalta a necessidade de um controle da estabilidade durante e após a construção dos componentes, envolvendo estudos para melhorar a adesão das mesmas durante a impressão, ou mesmo compensar as características de contração do material. Por fim, os erros encontrados são motivadores do ponto de vista técnico-científico, pois abrem muitas oportunidades de pesquisas a fim de superá-los, e poder utilizar todas as vantagens do universo de código aberto e baixo custo para a fabricação de conjuntos funcionais em baixa escala.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico) pelo financiamento da pesquisa de doutorado da qual este artigo faz parte, à FEUP e ao INEGI pela infraestrutura para a realização da mesma, e aos colegas do PFBMAT-IFSC pela colaboração na formulação da proposta apresentada. Agradecimentos também ao projeto NORTE-01-0145-FEDER-000022 (*SciTech - Science and Technology for Competitive and Sustainable Industries*), cofinanciado pelo Programa Operacional Regional do Norte (NORTE2020), através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).

6. REFERÊNCIAS

- Bareta, D.R., Costa, C.A., Da Cruz, R.C.D., De David, L., 2011, “Dimensionamento de Engates Rápidos (Snap-Fits) em Peças Obtidas por Prototipagem Rápida”, Anais do 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Caxias do Sul, Brasil.
- Bonenberger, P.R., 2005, “The First Snap-Fit Handbook: Creating and Managing Attachments for Plastic Parts”, Ed. Hanser, München, Germany.
- Catapan, M.F., Forcellini, F.A., Ferreira, C.F., 2008, “Instruções para o Projeto Detalhado de Componentes de Plástico Injetados Usando DFMA”, Anais do XXXVI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, São Paulo, Brasil.
- Goenka, G., 2011, “Modeling and Investigation of Elastomeric Properties in Materials for Additive Manufacturing of Mechanistic Parts”, Master thesis, National University of Singapore, Singapore.
- Kamarani, A.K., Nars, E.A., 2010, “Engineering Design and Rapid Prototyping”, Ed. Springer, New York, United States of American.
- Klahn, C. Slinger, D. and Meboldt, M., 2016, “Design Guidelines for Additive Manufactured Snap-Fit Joints”, 26th CIRP Design Conference, Vol. 50, pp. 264-269.
- Salmanzadeh, H., Rasouli, M., 2015, “The Influence of Effective Factors on Mechanical Stress on Fingertips During Snap-fit Assembly”, Iranian Rehabilitation Journal, Vol. 13, No. 3, pp. 39-47.
- Seidl, M., Habr, J., Bobek, J., Behalek, L., Lenfeld, P., 2015, “Optimization of Snap-Fit Designs with Rapid Prototype Technology Support”, MM Science Journal, pp. 813-817.
- Torossian, K., Bourell, D., 2015, “Experimental Study of Snap-Fits Using Additive Manufacturing”, 26th Annual International Solid Freeform Fabrication (SFF) Symposium, Austin, United States of American, pp. 1794-1803.
- Udroiu, R., 2012, “Applications of Polymer Jetting Technology for Functional Testing of the Innovative Products”. Academic Journal of Manufacturing Engineering, Vol. 10, No. 3, pp. 119-124.
- Ullman, D.G., 2010, “The Mechanical Design Process”, Ed. McGraw-hill, New York, United States of American, 450 p.
- Wohlers, 2016, “Wohlers Report 2016: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry”, Ed. Wohlers Associates Inc, United States of American.

7. DIREITOS AUTORAIS

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

APPLICATIONS OF LOW- COST 3D PRINTING TO THE PRODUCTION OF PARTS WITH SNAP-FIT JOINTS

Leonardo Santana, leonardosantana29@gmail.com¹

Jorge Lino Alves, falves@fe.up.pt²

Aurélio Sabino da Costa Netto, asabino@ifsc.edu.br³

¹Faculty of Engineering of the University of Porto, Porto, Portugal

²INEGI, Faculty of Engineering of the University of Porto, Porto, Portugal

³Federal Institute of Santa Catarina, Florianópolis Campus, Florianópolis – SC, Brazil

Abstract: *Assembling issues are critical to the planning and development of new products during the design process. The principles of the DFMA (Design for Manufacturing and Assembly) highlight the idea of "minimum use of separate fasteners" and in this scenario the application of snap-fit connectors has proven to be an interesting alternative to meet this requirement and optimize the design. The increasing evolution and popularization of Additive Manufacturing (AM) processes enhance the development of functional parts and the production of prototypes for fitting and assembling. Current literature includes studies that explore this application applied to the manufacturing and analysis of snap-fits, but involving the use of high cost equipment and technologies or injection molding. This article aims to perform an exploratory study of the application of low cost extrusion-based additive manufacturing in the fabrication of a case for an electronic board, whose parts are joined by snap-fits. Two samples were designed and manufactured in Poly (Lactic Acid) (PLA), the main difference being the use of smaller or larger gaps between the fitting elements, in order to verify the limitations of the process and the machine. The parts were analyzed through the acquisition of macro images, dimensional evaluation and 3D scanning. The results indicated that the technology is favorable to the proposed application, but problems were identified regarding dimensional tolerances, deposition failures, and poor adhesion between layers, which should be better explored in future studies.*

Key-words: *DFMA, 3d printing, low cost, snap-fit, PLA.*