

Comparação das tecnologias existentes de manufatura aditiva para o mercado de joias

Lays Costa Faria (Faculdade de Ciências Aplicadas - Unicamp) lays@alunos.utfpr.edu.br

Ieda Kanashiro Makiya (Faculdade de Ciências Aplicadas - Unicamp) iedakm@gmail.com

Francisco Ignácio Giocondo César (Faculdade de Ciências Aplicadas - Unicamp) giocondo.cesar@gmail.com

Resumo:

Palavras como manufatura aditiva, prototipagem rápida e impressão 3D já são amplamente discutidas em diversos meios. O futuro da manufatura já está acontecendo, a impressora 3D já faz parte de diversos processos produtivos. É papel do engenheiro de produção estar atento as tecnologias e aos setores que isso já se aplica e os possíveis de serem aplicados. O presente estudo é de restrita literatura e envolve as tecnologias já existentes em um determinado setor e a conexão com o tipo de empreendimento que ele se aplica. Dessa maneira, o objetivo desse trabalho é apresentar as tecnologias de manufatura aditiva utilizadas na produção de joias, desenvolver critérios de qualidade no setor e comparar as tecnologias existentes. A metodologia empregada é um estudo exploratório baseado em revisão de literatura e em entrevistas com profissionais do ramo, descritivo com abordagem qualitativa. A finalidade é avaliar os requisitos de qualidade necessários para a excelência no processo de impressão 3D para o mercado de joias, sendo restrito a esse mercado.

Palavras chave: Impressão de joias, Prototipagem de joias, Manufatura aditiva.

Comparison of existing additive manufacturing technologies to the jewelry market

Abstract

Topics as additive manufacturing, rapid prototyping and 3D printing are widely discussed. The future of the manufacturing is happening, the 3D printing belongs to a wide range of manufacturing processes. It is the role of the Industrial Engineering be aware of the new Technologies and the sectors that it is applicable or it will be soon. The present study has a restrict literature and evolves the Technologies already existing in the Market and the link between the company and the best practice. Thus, the objective of this study is to show the additive manufacturing Technologies that are used in the jewelry manufacturing, developing quality criteria and compare the Technologies. The methodology used is an exploratory study based on the bibliographic review and interviews with people from the Market, it is descriptive with a qualitative approach. The finality is to evaluate the quality criteria to the excellence in the 3D printing process to the jewelry Market.

Key-words: Jewellery printing, Jewellery prototyping, Additive manufacturing.

1. Introdução

Em meados de 2006 a revista americana *maker* começou um movimento chamado de *Manifesto Maker* que tem gerado grandes discussões sobre o futuro do envolvimento tecnológico de projetos personalizados. O conceito de projetos sendo desenvolvidos de maneira *Do-It-Yourself* (DIY) tem desencadeado um pensamento *maker* em toda a cadeia de produção, esta que tem gerado 700 bilhões de dólares anualmente em projetos apenas nos Estados Unidos (HATCH, 2013).

Esse movimento acontece devido a popularização e acesso a meios de produção que antes só eram viáveis para produção em grande escala, isso se deve a expiração das patentes desses equipamentos, o que levou o aumento da diversidade de empresas fabricando os equipamentos e a consequente redução no preço. Com o passar dos anos as máquinas CNC (Comando Numérico Computadorizado), de corte a laser e impressoras 3D têm aumentado sua popularidade também devido ao fato do aumento do número de FabLabs ao redor do mundo, os quais até junho de 2017 somam 1152 (FABLABS, [2017]).

A usabilidade da manufatura aditiva tem crescido cada vez mais pela facilidade de produção de projetos de difícil fabricação, fenômeno chamado de *geometric design freedom* por Cooper (2016), e pelo aumento da personalização dos mesmos, além da agilidade na produção. Esta tecnologia tem sido cada vez mais utilizada no desenvolvimento de projetos na indústria joalheira. A manufatura de produtos personalizados tem tendência a aumentar sua demanda pelo advento do mercado de nicho e da cauda longa, o qual foi popularizada por Chris Anderson em 2008.

O setor de joias no Brasil produziu 15,8 toneladas em 2015 e teve um faturamento de aproximadamente 10 bilhões (IBGM, 2015). O valor agregado de uma peça é bastante alto, sendo cerca de dez vezes o valor do metal. Embora a tecnologia de manufatura aditiva para o setor joalheiro esteja tecnologicamente bem desenvolvida, é apresentada outra realidade no Brasil, onde o desenvolvimento da tecnologia nesse setor ainda se encontra defasada. O motivo principal é a falta de conhecimento da tecnologia pelo setor, que ainda tem receio de comprar uma máquina de alto valor agregado sem um pessoal técnico para dar suporte.

Nesse contexto, este artigo faz uma revisão bibliográfica das tecnologias existentes de AM voltada a este mercado. É apresentado um comparativo dos critérios da qualidade envolvidas na impressão voltado para o setor de joias. Objetivando uma análise clara de maquinário para essa finalidade.

2. Metodologia

A pesquisa é classificada como de natureza básica, pois objetiva a geração de novos conhecimentos para o avanço da ciência. A abordagem é classificada como qualitativa pois há uma subjetividade do sujeito que é difícil de traduzir em números (SILVA e MENEZES, 2005)

A pesquisa apresenta o objetivo exploratório, pois visa tornar o problema familiar de maneira a fazer como procedimento técnico o levantamento bibliográfico (GIL, 1991). De maneira análoga, o método utilizado nessa pesquisa é o indutivo, pois segundo Silva e Menezes (2005) são feitas generalizações derivadas de observações de casos de realidade concreta.

Apresentando como ponto de partida os procedimentos técnicos, inicialmente foi elaborada uma pesquisa bibliográfica objetivando contextualizar os assuntos a serem explorados na pesquisa, o primeiro tema foi a Manufatura Aditiva seguido de AM para joalherias.

As técnicas atuais utilizadas para a produção de joias também foi pesquisada e foi feita uma entrevista com designers para confirmar a realidade da aplicação das técnicas. Depois foi elaborado um referencial teórico das principais técnicas. Assim, foi feita uma análise das empresas mais citadas e das particularidades de cada técnica. Como resultado é apresentada uma tabela de comparação dessas técnicas.

3. Referencial Teórico

3.1 Impressora 3D

Em 1988 foi criado nos Estados Unidos da América o processo de construir tecnologicamente em três dimensões, chamado de *Rapid Prototyping* (RP), conhecido no Brasil como Prototipagem Rápida. Foi originalmente criado com o processo de estereolitografia. Esse processo consiste na criação de um modelo em 3 dimensões em um *software* CAD (*Computer Aided Design*), esse modelo é transformado em um arquivo STL o qual passa pelo processo de fatiamento em camadas horizontais e então é manufaturado pelo o equipamento que segue o próprio referencial de definição conforme o tipo de AM e material (MA, 2013).

No desenrolar dos anos, o termo prototipagem rápida, por apontar um sentido de validação de uma hipótese de rápida construção, começou a ser usado em outros setores como no desenvolvimento de negócios (*startups*) e no desenvolvimento de soluções de *software*. Devido a essa polissemia do termo, de acordo com Gibson, Rosen e Stucker (2015), começou a ser chamado de *Additive Manufacturing* (AM), ou seja, Manufatura Aditiva. Este termo recebeu a aprovação do Comitê Técnico Internacional ASTM e passou a ser amplamente utilizado (GIBSON; ROSEN; STUCKER, 2015).

Popularmente a manufatura aditiva é conhecida como impressão 3D, isto se deve ao fato do equipamento depositar camadas, apresentando características de uma impressora comum de tinta, mas que dá formas tridimensionais ao projeto.

Nos últimos oito anos houve um *boom* mundial de impressão 3D, devido à expiração de diversas patentes de equipamentos de AM industriais. Este fato levou ao conhecimento do processo, acarretando diminuição do preço no mercado de dezenas/centenas de milhares de dólares para algumas centenas somente. Isto fez com que muitas diversas outras utilizações comesçassem a ser realizadas com este tipo de equipamento, com a produção de novas tecnologias, fomentando a cultura *maker* (HATCH, 2013).

3.2 Impressão de joias

A joalheria nos dias atuais ainda usa as técnicas desenvolvidas há séculos atrás, sendo as três principais sendo a estampagem, fundição por cera perdida e joalheria manual (partindo de um pedaço de metal, trabalhado manualmente, com laminadores, trefiladores, solda, lixamento, polimento, serragem, corrosão, etc).

Os dois primeiros processos são usados em produção em massa, onde são produzidos várias peças do mesmo modelo. A estamparia é utilizada em joias mais baratas e com menos detalhes e a fundição por cera perdida em diversos tipos de peças, desde as simples até as mais complexas.

Mas como a maioria das peças são produzidas em poucas quantidades devido à grande personalização necessária, ainda são muito utilizados os tradicionais métodos de produção artesanal, através dos ourives e/ou designers de joias. A diferença entre eles é que o ourives na maioria das vezes executa a confecção de uma peça que não é idealizada por ele e o designer

executa uma peça de criação própria, muitas vezes sendo somente a idealização da peça e não necessariamente a manufatura.

Em entrevistas à designers, notou-se a dificuldade em produzir peças devido ao grande número de processos necessários, risco na execução devido à equipamentos potencialmente perigosos como laminadores, maçaricos e escassez de tempo para produzir peças complexas (chegando a três meses em uma única peça).

Existem formas de AM que vêm sendo implementadas no setor de joalheria, no qual, são pequenas, geralmente com baixas tiragens e é muito valorizada a personalização. As mais utilizadas são: impressão Estereolitográfica, apresentando o mesmo funcionamento para SLA ou DLP; a DOM que produz diretamente na cera para fundição; DMLM ou DMLS que são as impressões diretamente no metal. A seguir cada um desses procedimentos é descrito.

3.3 Impressão Estereolitográfica SLA e Estereolitográfica DLP

É o processo de AM de alta definição mais utilizado atualmente. Ele não permite a impressão direta em metais, mas através dele é possível a produção de modelos de resina que são utilizados para a fabricação de moldes para fundição por cera perdida. Esse processo pode ser dividido pelo processamento direto ou indireto. O direto tem como resultado um modelo em cera em que o protótipo já passa direto para a construção do molde em cera perdida. O indireto sofre mais um processo para tirar o molde da peça e a confecção desse molde em cera.

O princípio da impressão estereolitográfica consiste de um monômero e iniciador fotossensível, que promove a polimerização quando exposto à luz ultravioleta (UV). A impressora consiste de uma plataforma de construção que é montada em uma cuba de resina, e a radiação UV seletivamente dá forma à peça. (GIBSON; ROSEN; STUCKER, 2015).

Dependendo da forma como procede a exposição, pode ser dado diferentes nomes ao processo. Quando a cura se dá por raio laser ultravioleta, que é refletido por um sistema de scanner no qual dois espelhos planos cujo ângulo é controlado por sistema digital, dá forma a camada. Quando finalizada, a plataforma abaixa e uma nova camada é confeccionada (Figura 1). Este processo é chamado de estereolitografico (SLA) (PHAM; GAULT, 1998).

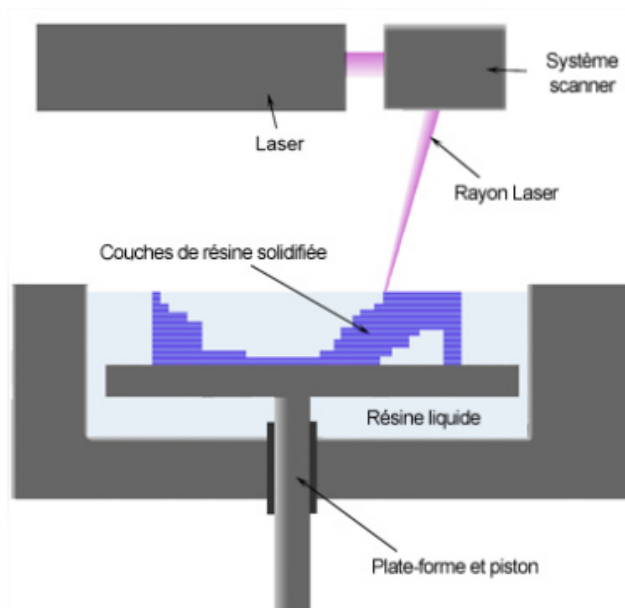


Figura 1 - Processo de impressão estereolitográfica
Fonte: Phan, Gaut, (1998).

No ano de 1987, a empresa estadunidense Texas Instruments criou a tecnologia do *chip* DLP, que consiste de uma matriz de milhões de micro espelhos miniaturizados, podendo ser controlado o ângulo de reflexão de cada um separadamente (Figura 2). Isto faz com que uma luz incidente sobre o *chip* seja seletivamente refletida, dando origem à projeção de uma imagem.

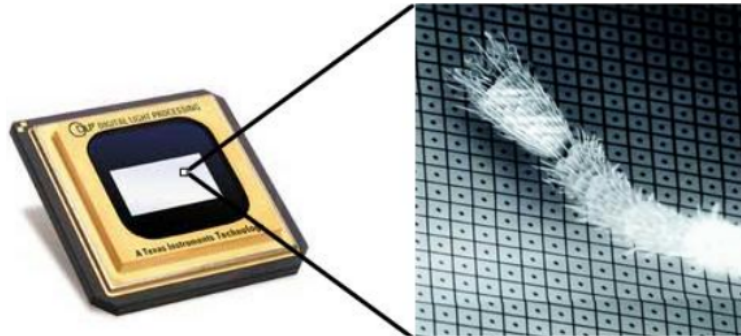


Figura 2 - Chip DLP
Fonte: Texas Instruments, s.d.

Esta tecnologia é utilizada em diversos mercados, como projeções de cinema 4K, projetores domésticos, *Near-Eye Display* (como o Google Glass), controle de qualidade industriais, entre outros (TEXAS INSTRUMENTS, s.d.).

Neste processo, uma fonte de radiação UV oriunda de uma lâmpada de vapor de mercúrio ou LED (que é o processo mais moderno, por possibilitar a utilização de comprimentos de onda específicos) é projetada no chip DLP e o raio refletido é direcionado ao recipiente com resina (Figura 3). Desta forma, uma camada inteira é curada ao mesmo tempo, aumentando a velocidade do processo (TOYKOC, 2014).

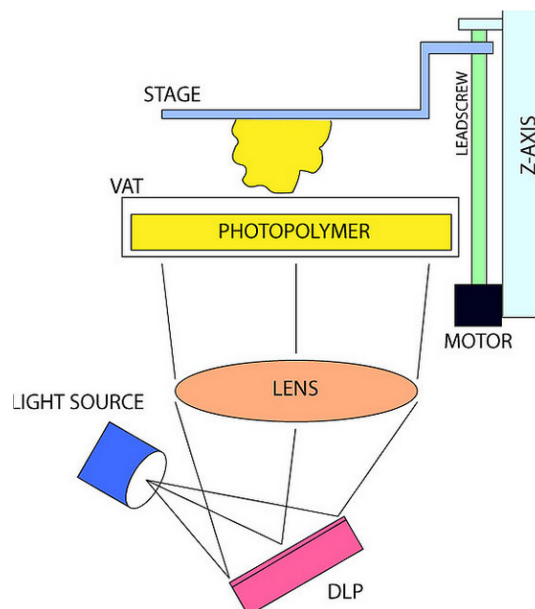


Figura 3 - Estereolitografia DLP
Fonte: (TOYKOC, 2014)

3.4 Direct Metal Laser Melting (DMLM) e Direct Metal Laser Sintering (DMLS)

De acordo com Cooper (2016) é amplamente aceito que o DMLM, ou *Selective Laser Melting* (SLM) foi desenvolvido na Alemanha por volta dos anos 90. Essa tecnologia consiste na deposição de camadas de pó metálico que com a instantânea sinterização desse pó por meio de um feixe de laser, a peça é formada. Esse feixe de laser é automaticamente controlado pelo desenho no computador e forma a peça já diretamente em metal. Quando uma camada de metal em pó é processada a outra camada é deposta e assim sucessivamente até a criação da peça. Esse processo é mostrado na Figura 4.

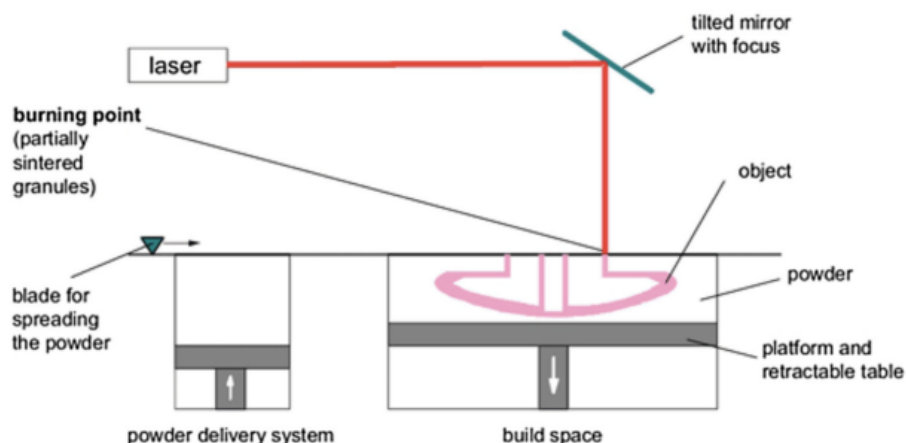


Figura 4 - Processo DMLM

Fonte: Cooper, 2016

Esse processo difere do DMLS pelo fato de a camada de pó metálico ser completamente fundida. O método não requer quaisquer ligantes ou agentes fundentes. E o pó que não foi sinterizado no processo pode ser usado novamente para a construção de outra peça (COOPER, 2016).

3.5 Drop on Demand (DOD)

Essa técnica de manufatura aditiva utiliza jatos de material. O processo também é camada por camada e consiste na pulverização de metal líquido próximo a um substrato, formando uma camada na qual as partes não desejadas são removidas por usinagem CNC. São dois cabeçotes de impressão em que um deposita cera de fundição e o outro deposita um material solúvel como suporte. Esse tipo de impressão fornece um nível muito elevado de detalhes, que dispensam processos de acabamento, além da facilidade para os fabricantes de joias de o protótipo já ser fabricado em cera de fundição. Um esquemático do processo pode ser visto na Figura 5 (PHAM; GAULT, 1998).

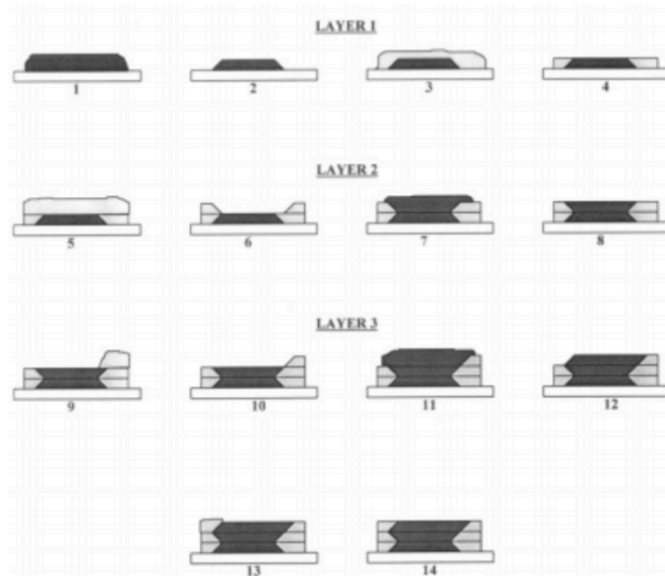


Figura 5 – Processo de manufatura por deposição DOM
Fonte: Pham e Gault, 1998

Por exemplo, aço inoxidável pode ser produzido usando cobre como suporte. O cobre é removido posteriormente com imersão em ácido nítrico. As peças produzidas têm a mesma estrutura que peças fundidas e a mesma acurácia que peças usinadas. Não há controle da temperatura do substrato, nem do tamanho e trajetória das gotículas (WEISS et al., 1997).

4. Comparação das tecnologias de manufatura aditiva para a joalheria

As tecnologias de AM mais utilizadas são mostradas nas colunas da Tabela 1. Cada linha representa um critério de comparação e a Velocidade de impressão, Resolução e Tamanho da camada são diretamente relativos a qualidade de impressão. O Preço e o Preço da resina podem apresentar vantagens e desvantagens de acordo com o tipo de negócio de joias que se apresenta.

A velocidade em milímetros/hora foi obtida através da mais alta resolução nos eixos XY e e com a menor tamanho de camada em Z. Essa análise resulta na melhor qualidade de impressão que cada impressora consegue disponibilizar em um modelo de peça. A resina apresentada é para a fabricação em cera de fundição, ou seja, para a fundição direta.

A impressora com o melhor custo/benefício apresentado é a impressora de LCD, da empresa Morpheus e modelo E7. Essa impressora foi apresentada no Indiegogo e vão ser enviado os primeiros modelos em julho de 2017 (INDIEGOGO, 2016). Assim, como é um projeto de *crowdfunding*, representa uma *startup* em busca de investimento inicial, tem um alto risco de desenvolvimento envolvido e altas chances de a empresa não conseguir entregar o que prometeu.

A impressora SLA se mostra eficiente para empreendimentos de pequeno porte, pois oferece um bom preço para investimento com um bom tamanho de camada e um preço de resina compatível com o Mercado além de uma boa resolução XY. Esse modelo foi eleito pela revista Make como a melhor impressora SLA vendida nos Estados Unidos da América no ano de 2017 (MAKE MAGAZINE, 2017). Mas a velocidade de impressão diminui sua competitividade para trabalhos em lotes, tornando-a mais lenta (FORMLABS, 2016).

A impressora DLP mostra-se como um bom investimento para empreendimentos de médio e grande porte pois tem uma velocidade de impressão mais rápida que a SLA, consequentemente a impressão em lotes é mais rápida, favorecendo a quantidade ao invés da qualidade (B9 CREATIONS, [2017]).

O equipamento DMLM/ DMLS, de acordo com Cooper (2016) apresenta-se como um investimento para joalherias que prezam a fabricação de peças únicas, exclusivas, personalizadas e complexas com um alto valor agregado. Por conseguir imprimir peças ocas, pode-se obter uma grande economia de matéria prima. No momento de avaliar essa impressão deve-se levar em consideração a capacidade de produção de peças complexas e o custo de produção pela complexidade, além da amortização em cima do número de partes produzidas durante o ciclo de vida do produto (COOKSONGOLD, 2017).

O equipamento DOD pela característica de imprimir diretamente na cera de fundição com um material de suporte e contar com uma fresadora entre camadas apresenta a melhor resolução de impressão com o melhor tamanho de camada, o que oferece uma ótima vantagem para peças que necessitam muitos detalhes (SOLIDSCAPE, 2017).

	SLA	DLP	LCD	DMLM/DMLS	DOD
Referência de mercado	FormLabs – Form 2	B9 Creator – B9 Core 530	Morpheus - E7	Cooksongold - Precious M080	Solidscape – 3Z Studio
Preço (US\$)	3499	9955	1000	149000	24882
Velocidade (mm/hr)	17,5	40	36	-	-
Resolução XY (µm)	140	30	190	30	5
Preço da resina (US\$)	149/L	179/Kg	70/Kg	-	Modelo 935/Kg Suporte 777/Kg
Tamanho da camada Z (mm)	0,025	0,02	0,025	1	0,0063

Tabela 1 - Comparação entre as técnicas de AM para joias

Fonte: Autoria própria

Outras variáveis que devem ser levadas no momento da escolha do equipamento é que a tecnologia DOM da empresa Solidscape, demanda de uma umidade relativa do ar controlada. A umidade influencia na qualidade de impressão, que deve estar entre 40% a 60%. A vantagem é que a peça sai pronta para ir diretamente para a fundição, reduzindo o tempo de retirada de suportes e as avarias que acontecem na peça nos processos de SLA, DLP e LCD.

Enquanto os equipamentos SLA, DLP e LCD são portáteis e não passam de 70Kg em peso, a DMLM pesa mais de meia tonelada a mais e precisa ser instalada em um espaço fixo.

5. Considerações finais

O presente estudo analisou os critérios da qualidade de impressão dos equipamentos de AM existentes no mercado para a prototipagem de joias. Cada tipo de impressora é adequada para um determinado tamanho de negócio que depende da demanda e do material que a joia será fabricada.

Para tornar o estudo mais padronizado, é sugerido para estudos futuros, tomar como ponto de partida um modelo de joia, e assim obter os tempos exatos de velocidade para esse determinado modelo. No presente estudo foi utilizado as informações dos *websites* para a produção na maior precisão que o equipamento oferecia.

Referências

ANDERSON, Chis. The Long Tail: Why the Future of Business Is Selling Less of More. New York: Hyperion Books, 2008. 267 p.

B9 CREATIONS (Usa) (Ed.). B9 Creations Resin Line. [2017]. Disponível em: <<https://www.b9c.com/materials>>. Acesso em: 15 maio 2017.

COOKSONGOLD (United Kingdom). Precious M080: Direct Metal Laser Sintering (DMLS) system. Disponível em: <http://www.cooksongoldmanufacturing.com/img/downloads/Sintering-factsheet-M080_AW.pdf>. Acesso em: 15 maio 2017.

COOPER, Frank. Sintering and additive manufacturing: “additive manufacturing and the new paradigm for the jewellery manufacturer”. Progress In Additive Manufacturing, [s.l.], v. 1, n. 1-2, p.29-43, 15 jan. 2016. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s40964-015-0003-2>.

FABLABS. Labs. [2017]. Disponível em: <<https://www.fablabs.io/labs>>. Acesso em: 19 jun. 2017.

FORMLABS (Usa). Form 2. 2016. Disponível em: <https://formlabs.com/3d-printers/form-2/?utm_content=main-nav>. Acesso em: 11 maio 2017.

GIBSON, Ian; ROSEN, David; STUCKER, Brent. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. 2. ed. New York: Springer Science, 2015.

GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 1991.

HATCH, Mark. The maker movement manifesto: Rules for Innovation in the New World of Crafters, Hackers, and Tinkerers. New York: Mcgraw-hill, 2013. 256 p.

IBGM (Brasília). O setor em grandes números 2015. 2015. Disponível em: <http://www.ibgm.com.br/wp-content/uploads/podio_attach/418698590/222482284.pdf>. Acesso em: 18 maio 2017.

INDIEGOGO (Usa) (Org.). Morpheus. 2016. Disponível em: <https://www.indiegogo.com/projects/morpheus-delta-affordable-resin-3d-printer#>. Acesso em: 16 maio 2017.

MA, Xue Liang. Research on Application of SLA Technology in the 3D Printing Technology. Applied Mechanics And Materials, [s.l.], v. 401-403, p.938-941, set. 2013. Trans Tech Publications. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.401-403.938>.

MAKE MAGAZINE (Usa). Here Are This Year’s Winners from Make:’s Digital Fabrication Shootout. 2017. Disponível em: <<http://makezine.com/2015/11/04/digital-fabrication-shootout-winners/>>. Acesso em: 17 jun. 2017.

PHAM, D.; GAULT, R. A comparison of rapid prototyping technologies. International Journal of Machine Tools and Manufacture, Elsevier BV, v. 38, n. 10-11, p. 12571287, oct1998. DOI: 10.1016/s0890-6955(97)00137-5.

SILVA, E. L.; MENEZES, E.M. Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação. Florianópolis. 2005.

SOLIDSCAPE (República Tcheca). Solidscape sales and services: Sales and Services. 2017. Disponível em: <<http://eshop-solidscape.eu/index.php?route=common/home>>. Acesso em: 18 maio 2017.

SOLIDSCAPE. Jewelry Manufacturing. 2017. Disponível em: <<http://www.solidscape.com/applications/jewelry-manufacturing/>>. Acesso em: 11 maio 2017.

TEXAS INSTRUMENTS. Explore DLP technology. Disponível em: <<http://www.ti.com/lscs/ti/dlp-technology/dlp-technology-home.page>>. Acesso em: 30 maio 2017.

TOYKOÇ, Benay Gürsoy. Lemoncurry: Open Source UV Photopolymer DLP 3D Printer. Disponível em: <<http://materialsandmethods.wix.com/hacking!Lemoncurry-Open-Source-UV-Photopolymer-DLP-3D-Printer>>. Acesso em: 30 maio 2017.

WEISS, L. et al. Shape deposition manufacturing of heterogeneous structures. Journal of Manufacturing Systems, Elsevier BV, v. 16, n. 4, p. 239248, jan 1997. DOI:10.1016/s0278-6125(97)89095-4.