

JNT-FACIT BUSINESS AND TECHNOLOGY JOURNAL - ISSN: 2526-4281 QUALIS B1



ESTUDO COMPARATIVO DAS PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DE IMPRESSÃO 3D NO BRASIL

COMPARATIVE STUDY OF MAIN 3D PRINTING TECHNOLOGIES IN BRAZIL

Thiago Neves PAIVA
Faculdade de Ciências do Tocantins FACIT
E-mail: thiagonpt92@gmail.com

Cássio Cipriano NOGUEIRA
Faculdade de Ciências do Tocantins FACIT
E-mail: cassio_cipriano@outlook.com



RESUMO

A impressão 3D vem proporcionando inúmeros benefícios à sociedade, e não só no campo da computação, mas também em diversas outras áreas do conhecimento, como saúde, arquitetura, entre outras; e vem se mostrando cada vez mais promissora, por conta do enorme campo de aplicabilidade e suas vantagens, tais como ganho em produtividade e boa relação de custo e benefício, tornando-se uma ótima alternativa para a criação de protótipos ou até mesmo peças finais nos mais diversos ramos de atividade. Tendo isto em vista, este artigo apresenta algumas das principais tecnologias de impressão 3D disponíveis no Brasil atualmente e mostra um estudo comparativo entre as mesmas, analisando aspectos como materiais utilizados na impressão, aplicabilidade, custos para aquisição e a popularidade destas tecnologias no Brasil.

Palavras-chave: Impressão 3D. Tecnologias de Impressão 3D. Estudo Comparativo.

ABSTRACT

3D printing has provided countless benefits to society, not only in the field of computing, but also in many other areas of knowledge, such as health, architecture, among others; and is proving to be more and more promising, due to the enormous field of applicability and its advantages, such as gain in productivity and good cost-benefit ratio, making it a great alternative for the creation of prototypes or even final pieces in the different fields of activity. This paper presents some of the main 3D printing technologies available in Brazil today and shows a comparative study between them, analyzing aspects such as materials used in printing, applicability, costs for acquisition and the popularity of these technologies in Brazil.

Keywords: 3D Printing. 3D Printing Technologies. Comparative Study.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a impressão 3D vem proporcionando inúmeros benefícios à sociedade, e não só no campo da computação, mas também em diversas outras áreas do conhecimento, como saúde, arquitetura, entre outras; e vem se mostrando cada vez mais promissora, por conta do enorme campo de aplicabilidade e suas vantagens, tais como ganho em produtividade e boa relação de custo e benefício, tornando-se uma ótima

alternativa para a criação de protótipos ou até mesmo peças finais nos mais diversos ramos de atividade.

Tendo isto em vista, este artigo apresenta algumas das principais tecnologias de impressão 3D do mercado, abordando conceitos fundamentais, descrevendo como e para quê a impressão 3D pode ser utilizada e apresentando um estudo comparativo entre as principais tecnologias, analisando aspectos como materiais utilizados na impressão, aplicabilidade das tecnologias, custos para aquisição e manutenção e a popularidade das mesmas no Brasil.

Este trabalho se qualifica como uma pesquisa descritiva, que, segundo Churchill (1987) *apud* Vieira (1999, p. 65), “[...] objetiva conhecer e interpretar a realidade sem nela interferir para modificá-la”.

Pode-se dizer que ela está interessada em descobrir e observar fenômenos, procurando descrevê-los, classificá-los e interpretá-los. Além disso, ela pode se interessar pelas relações entre variáveis e, desta forma, aproximar-se das pesquisas experimentais. A pesquisa descritiva expõe as características de determinada população ou de determinado fenômeno, mas não tem o compromisso de explicar os fenômenos que descreve, embora sirva de base para tal explicação (VIEIRA, 1999, p. 65).

A abordagem da pesquisa é de caráter qualitativa, definida por Rampazzo (2005, p. 58) como “[...] busca por uma compreensão particular daquilo que se estuda: o foco da sua atenção é centralizado no específico, no peculiar, no individual, almejando sempre a compreensão e não a explicação dos fenômenos estudados”.

Por se tratar de uma área relativamente nova, muitos consumidores ainda não têm informações suficientes para determinar qual tecnologia é a mais indicada para atender às suas necessidades, quer seja para uso doméstico ou para uso comercial, bem como o valor a ser investido na aquisição de uma impressora 3D, evitando assim o risco de investimento em algo que não atenderá todas as suas necessidades ou que fará além do que lhe for necessário.

O artigo está estruturado da seguinte forma: no primeiro tópico, fala-se sobre a tecnologia de impressão 3D, apresentando um breve histórico; No segundo tópico apresentam-se as principais tecnologias de impressão 3D e os seus conceitos; No terceiro tópico, apresenta-se o estudo comparativo entre essas alternativas, bem como seus resultados e discussões; e por fim, as considerações finais e referências.

IMPRESSÃO 3D

Impressão 3D ou manufatura aditiva é um termo que engloba a criação de objetos, dos mais diversos tipos, por meio de design digital. Em outras palavras, significa tornar físico, camada por camada, um objeto material a partir de um arquivo digital, projetado tridimensionalmente em um computador.

Conhecida também como prototipagem rápida, essa tecnologia revolucionou a indústria. Antes dela, para se produzir um protótipo, era preciso modelar uma peça manualmente para então criar uma matriz de produção. Na prática, a impressão 3D é uma forma de tecnologia de fabricação aditiva em que um modelo tridimensional de um objeto é criado por sucessivas camadas de material sobrepostas, ordenadas de acordo com a programação de um software de impressão (COSSETTI, 2018, s/p).

Para a execução dessa tarefa, são utilizados softwares para modelagem em três dimensões, que trabalham com altura, largura e profundidade, desenvolvendo a representação matemática dessa superfície tridimensional, para que depois possa ser utilizado para a fabricação do objeto através de uma impressora 3D, que, apesar do nome, não possui muitas características em comum com uma impressora tradicional, que trabalha com papel. Existem diversos modelos de máquinas que imprimem em 3D no mercado, mas a maioria delas são mais robustas que uma impressora comum, não utiliza papel e tinta para “imprimir” textos ou imagens em sua superfície, e sim criam objetos utilizando materiais plásticos, metais, entre outros, a depender da tecnologia utilizada na impressão e o modelo de impressora 3D.

Os softwares para modelagem em três dimensões, conhecidos como CADs (*Computer Aided Design* ou, em português, Desenho Manipulado por Computador), podem ser pagos ou gratuitos, a depender do tipo de modelo que será criado e da complexidade do mesmo. Os softwares CAD são utilizados para criar arquivos tridimensionais com diversas extensões de acordo com o que será utilizado, pois softwares CAD não são usados exclusivamente para impressão 3D, são utilizados na engenharia para se criar plantas de casas, prédios, etc.

Na impressão 3D, utilizam-se arquivos com extensões. STL, entre outras, como afirma Negromonte (2017). Os tipos de arquivos tridimensionais usados na impressão 3D podem ser criados de duas formas: criado do zero em um computador, utilizando um software de modelagem 3D, e tem como objetivo a criação e/ou a modificação do mesmo para a posterior impressão; no ou pode ser criado utilizando um scanner 3D com o objetivo de copiar as dimensões e características de um objeto material já existente.

Aspectos Históricos da Impressão 3D

Apesar da impressão 3D ter se popularizado somente na última década, o seu surgimento ocorreu há mais tempo. No entanto, não há uma certeza sobre quando exatamente esta tecnologia surgiu.

A criação da primeira impressora 3D é atribuída a Charles “Chuck” Hull, em 1984, mas uma investigação mais a fundo remete-nos para alguns anos antes. Em 1981, o japonês Hideo Kodama, do Instituto Industrial de Investigação de Nagoya, foi pioneiro na criação de um modelo sólido idêntico ao que, três anos depois, Chuck Hull cria, em conjunto com a estereolitografia, que permite a criação de modelos 3D recorrendo a dados digitais. Poucos anos depois, Chuck Hull funda a 3D Systems Corp. e patenteia a sua criação. A empresa, que abriu portas à comercialização do produto, continua como uma das líderes de mercado atualmente (FREITAS, 2016, s/p). (Aspas do texto original).

Segundo Cossetti (2018), a impressora 3D de Chuck Hull passou a ser muito utilizada em fábricas de automóveis, equipamentos médicos e no setor aeroespacial. Com o valor muito alto, a tecnologia de Hull não era acessível, mas, com o passar dos anos, foi se aproximando cada vez mais à realidade cotidiana. O primeiro modelo comercial da empresa 3D Systems Corp. foi a SLA-250. Assim, segundo Souza (2014), ainda na década de oitenta, surgiu a sua concorrente, criada por Scott Crump, a qual utilizava uma tecnologia chamada de FDM (*Fused Deposition Modeling*), a *3D Modeler*. Com os valores muito altos para aquisição, a tecnologia era acessível apenas a grandes empresas.

A partir daí, foram surgindo novas tecnologias para a impressão 3D, tais como a Sinterização Seletiva a Laser (SLS), desenvolvida e patenteada pelo Dr. Carl Deckard e Dr. Joseph Beaman na Universidade do Texas, em Austin, em meados da década de 1980, sob o patrocínio da DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency* ou, em português, Agência de Projetos de Pesquisa Avançada de Defesa) (COSTA, 2017).

Segundo Daquino (2011), a tecnologia DLP surgiu em 1977, quando o Dr. Larry Hombeck, cientista e colaborador da *Texas Instruments*, empresa que desenvolve e fabrica semicondutores, começou a explorar os princípios de reflexão de luz por espelhos para manipular a mesma.

A popularização da impressão 3D se deu com a queda da patente de FDM e a criação de um projeto *open source*¹ denominado RepRap, pois tudo foi disponibilizado de forma gratuita na internet, inclusive modelos e artigos que auxiliam a criar novas unidades.

¹ Open Source é o software que pode ser usado, copiado, estudado, modificado e redistribuído sem restrição (CAMPOS, 2006).

O projeto RepRap foi criado em 2004, na Inglaterra, com o objetivo de criar máquinas autorreplicáveis e com livre acesso para todos. Ou seja, com código aberto. A RepRap foi a primeira impressora 3D de baixo custo criada e, por ser de código aberto, revolucionou a tecnologia open source. Podemos dizer que a construção da primeira RepRap, possibilitou que essa tecnologia, que antes era bastante cara, se tornasse muito mais acessível e se desenvolvesse (SOARES, 2017, s/p).

Logo após a RepRap, com a expiração de diversas patentes, a Impressão 3D foi mais explorada e isso impulsionou muitos avanços. Segundo Souza (2014), “em 2005, a *Z Corporation* apresentou a primeira impressora 3D capaz de produzir objetos coloridos, ainda em 24 bits, o que era bastante avançado para a época”.

Atualmente, temos comunidades online onde os usuários postam modelos de vários objetos para a impressão 3D. Essa tecnologia vem revolucionando e melhorando a vida de várias pessoas, um exemplo são pessoas que têm sido ajudadas pela iniciativa Robohand, de Ivan Owen e Richard Van, que cria mãos robóticas ou outros membros para pessoas que sofreram acidentes ou que nasceram com alguma má formação.

Segundo Bautista (2013), uma das colaborações do Projeto Robohand foi o caso de um garoto chamado Liam, que teve uma prótese feita em impressora 3D, pois nasceu sem dos dedos da mão direita, devido uma doença rara. nesse caso um modelo de mãos robóticas se movem de acordo com o movimento do pulso.

Robohand não foi imaginado como um serviço ou um produto. Richard e Ivan decidiram partilhar gratuitamente os ficheiros dos modelos e das instruções para a criação de uma Robohand no site da Thingiverse de forma a que as pessoas em todo o mundo possam descarregar, personalizar, imprimir e montar para si ou para outros (ESMENIO, 2014, s/p).

No Brasil, há um projeto chamado Mao3D, que foi inspirado no projeto de Ivan e Richard, onde a PhD em Biomecânica Maria Elizete Kunkel conheceu a história e decidiu imprimir sua primeira prótese, e assim surgiu a ideia de criar um projeto social para ajudar uma parte da população brasileira.

As próteses de membro superior que são produzidas por impressão 3D e doadas pelo Programa Mao3D são baseadas nos modelos livres disponibilizados pela e-Nable. Sempre fazemos alguma modificação no modelo a pedido do usuário para personalizar a prótese. Essas próteses são do tipo mecânico, o movimento de abrir e fechar a mão é acionado pela articulação mais próxima do coto, ou seja, a articulação do punho ou do cotovelo. O coto é a parte do membro que permanece após uma amputação. Em casos de pessoas que nascem sem parte do membro superior, o coto é a parte malformada que não se desenvolveu (KUNKEL, 2016, s/p).

Na área da saúde, a impressão 3D também é bastante útil. Como exemplo, temos o caso da utilização da impressão 3D na melhoria de vida de um bebê que nasceu com a traqueia sem sustentação para se manter firme. Assim, o ar não passava direito e isso impedia a sua respiração.

Na maioria dos casos, após uma criança nascer, a cartilagem da traqueia mantém as vias aéreas abertas. Mas, por alguma razão, em um de cada 2.100 nascimentos, uma porção das vias aéreas é flácida e colapsa, bloqueando o ar externo e evitando que ele atinja um dos pulmões, ou ambos (FESSENDEN, 2013, s/p).

Para tentar salvar a vida da criança a equipe do hospital, solicitou a autorização dos pais para tentar imprimir o suporte que imitasse os caminhos da traqueia dele assim o ajudaria a respirar enquanto seu organismo se tornasse forte o suficiente para que a cavidade fosse mantida e permitisse a passagem do ar.

Figura 1. Modelo da via aérea de Kaiba Gionfriddo com uma luva impressa em 3D.



Fonte: Fessenden (2013).

A tecnologia de impressão 3D também está sendo utilizada pela NASA, onde foi enviada uma impressora 3D para que astronautas imprimam algum objeto que precisar, como ferramentas, peças de plástico, entre outros utensílios. Assim, diminuirá a quantidade de equipamentos enviados junto dos astronautas.

Ao invés de dar um jeito de enviar o objeto físico lá para cima, a Made In Space montou um modelo rápido no CAD na Terra e enviou o projeto para Wilmore. Este material, então, foi passado para a impressora e o astronauta reuniu as 20 partes separadas que formavam exatamente a chave de soquete que ele tinha solicitado (MAES, 2014, s/p).

Além dos exemplos mencionados, a tecnologia 3D pode oferecer muito mais. Já é possível imprimir desde um simples objeto em plástico até próteses médicas, comida e partes do corpo humano.

A Impressão 3d no Brasil

Segundo Frabasile (2018), há mais de 20 anos a primeira impressora 3D chegou ao Brasil. Como a popularidade das tecnologias que usam líquido e pó crescem a cada dia, elas estão se tornando mais baratas, e agora, no Brasil, essas tecnologias já estão mais acessíveis ao bolso do brasileiro, segundo Jorge Lopes, professor de Design da PUC-Rio.

No Brasil, algumas tecnologias, segundo Ribeiro (2016), “ainda não podem ser encontradas tão facilmente. No entanto, há algumas empresas que vendem alguns modelos por preços baixos”. Um exemplo é a caneta impressora 3D, que custa cerca de R\$ 350,00 e é utilizada para criar estruturas manuais, desenhos em plásticos, etc. A caneta impressora 3D funciona como uma pistola de cola quente, com um material próprio para a criação de objetos, exigindo do usuário uma certa coordenação motora e habilidade no manuseamento da mesma. O plástico, em forma de filamento, entra em uma fina câmara aquecida, sendo puxado pela caneta, onde é derretido e sai pela ponta da mesma e, depois, esse plástico se solidifica.

Outra impressora que tem um preço acessível é a evolução da impressora Stela, criada, segundo Müller (2016), “por Vanessa e Thiago para tentar popularizar a impressão 3D no Brasil”. Foi fabricada com poucas peças importadas, apenas as peças que não foram possíveis adquirir de algum fornecedor no Brasil, algumas outras peças são impressas pela própria impressora. Pensando na melhoria, precisão e na velocidade de impressão da mesma, foi aperfeiçoada e lançada a Stella 2. Segundo o Fabricante Boa Impressão, a Stella existe desde 2015 e a Stella 2 foi desenvolvida para continuar a história do modelo anterior, com várias melhorias. O valor aproximado do novo modelo da impressora é de aproximadamente R\$ 2.600,00.

Uma das grandes colaborações dessa tecnologia tridimensional para o país é a possibilidade de reconstrução das peças que queimaram no incêndio do Museu Nacional, que aconteceu no início de setembro de 2018. A criação de réplicas em impressão 3D é possível, pois, segundo Thomé (2009), pesquisadores da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e do Instituto Nacional de Tecnologia (INT) criaram um método para reproduzir em tamanho real itens do acervo do museu. Utilizando um scanner a laser portátil, o desenhista industrial do INT, Jorge Lopes, disse que “teremos um levantamento

tridimensional de toda a coleção. Isso permitirá o intercâmbio com instituições de pesquisa de outros estados e outros países”. Com o incêndio no museu, segundo Nascimento (2018), pesquisadores do instituto e da universidade estão recriando em tamanho real parte desse acervo. Jorge Lopes, que é pesquisador do INT/PUC-Rio, explica que é um acervo que vai tentar ressurgir do pó, literalmente, porque a matéria prima que está sendo utilizada da criação das réplicas em impressão 3D é o pó de nylon. Nascimento (2018) ainda afirma que os pesquisadores presumem ter aproximadamente trezentas peças digitalizadas.

O governo do estado de São Paulo lançou uma iniciativa para popularizar a impressão 3D, chamado projeto FabLab, onde foram montados laboratórios com diversos equipamentos e são oferecidos cursos gratuitos.

Os Fab Labs são laboratórios colaborativos e criativos, totalmente gratuitos, de acesso livre, que disponibilizam tecnologia de ponta para o desenvolvimento de ideias e projetos. O cidadão pode criar quase tudo, de uma pequena escultura a um drone, robô ou prótese. Para isso, contam com equipamentos avançados, como impressoras 3D (SECRETÁRIA ESPECIAL DE COMUNICAÇÃO DE SÃO PAULO, 2018, s/p).

O projeto abrange toda a região do município de São Paulo. Ao total, são doze laboratórios que contam com diversos equipamentos como impressoras 3D, cortadores a laser, computadores com software de desenho digital CAD, etc. O objetivo desse projeto é incentivar o aprendizado, criatividade e realizar cursos. Toda a população pode ter acesso, por ser aberto ao público. Quem tiver interesse em criar um projeto pessoal ou coletivo, conta com equipe de apoio que incentiva e compartilha conhecimento.

200

PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DE IMPRESSÃO 3D

Na impressão 3D, é utilizada uma série de materiais, tais como: plástico, nylon, cerâmica, cera, bronze, aço inoxidável, titânio, madeira, vidro, entre outros. Esses materiais são comercializados na forma de filamento sólidos, resina líquida e pó. Os tipos de materiais que serão utilizados dependem de qual tecnologia será utilizada pela impressora 3D.

Existem vários tipos de tecnologias que podem ser utilizadas por impressoras 3D. Dentre elas, as mais utilizadas são: FDM ou FFF, SLA, DLP, SLS e SLM. As diferenças entre esses tipos de tecnologia estão no material que elas utilizam e na maneira como são construídas as camadas, para formar os objetos impressos.

Nas próximas seções, serão abordados cada um dos tipos de tecnologias de impressão 3D mencionados no parágrafo anterior.

FDM ou FFF (*Fused Deposition Modeling* ou *Fabricação por Filamento Fundido*)

Na tecnologia FDM são utilizados termoplástico em formato de filamentos para imprimir em 3D. Assim, as peças impressas com esse material são bem resistentes.

O FDM é um processo de impressão 3D desenvolvido pela Scott Crump, e depois implementado pela Stratasys Ltd., nos anos 80. Assim ele utiliza materiais plásticos térmicos de qualidade de produção para imprimir objetos 3D. FDM é um dos tipos de impressão 3D que usa termoplásticos adequados para produção, portanto, os itens impressos têm excelentes atributos mecânicos, térmicos e químicos (CARDOSO, 2018, s/p).

A impressão com essa tecnologia ocorre da seguinte maneira: o termoplástico é aquecido até o estado semilíquido, depois é depositado na bandeja pelo extrusor² da impressora 3D. Ao longo deste caminho que será percorrido para que a peça seja criada, pode ser depositado pela impressora um pedaço do material como um suporte, para que não ocorra nenhum erro na peça. Esse material é removível, logo depois da peça impressa, o usuário deverá quebrar esses suportes e, como podem ficar algumas imperfeições, é necessário um acabamento na peça com lixa, para que fique com um melhor aspecto visual.

Figura 2. Objeto impresso em FDM.



Fonte: Impressão 3D Fácil (2017).

SLA (*Stereolithography* ou *Esteriolitografia*)

SLA ou esteriolitografia é o tipo de impressora que utiliza resina em estado líquido, que é solidificada através de uma luz ultravioleta. Segundo Cardoso (2018), “[...] é

² Componente responsável pelo contínuo derretimento do plástico nas impressoras 3D, por onde o filamento entra na parte superior e funde na parte inferior (ALMEIDA *et. al.*, 2017, p. 5).

considerada a primeira tecnologia de impressão 3D do mundo”. Com essa técnica, a plataforma de construção fica totalmente mergulhada no material, e então aplica a luz ultravioleta, direcionada por espelhos, camada por camada. Essa luz é muito precisa e de alta potência, assim endurecendo o material nas regiões desejadas.

Um dos benefícios dessa técnica são a alta precisão e acabamento das peças. Após o término do processo, é removido o excesso do material com banho químico e passa por um forno ultravioleta para que se torne mais firme e estável. Esse tipo de impressão é muito utilizado para odontologia e joalheria, pela sua qualidade no acabamento e detalhe, e possui um custo muito mais alto de impressão, em relação à FDM.

Figura 3. Peças impressas pela tecnologia SLA.



Fonte: Wishbox (2016).

DLP (*Digital Light Processing* ou *Processamento de Luz Digital*)

Utiliza luz mais tradicional em vez da luz ultravioleta do SLA. Porém, são muito parecidos no seu processo de criação do item. A diferença é a geração de luz digital de uma só vez para gerar uma camada, dependendo do tamanho do objeto a ser impresso. Caso seja um objeto muito grande, são gerados vários flashes.

Figura 4. Torre Eiffel, 17cm de altura. Impressa em 48 minutos na B9 Core.



Fonte: Huamani (2018).

Segundo Cardoso (2018), em comparação com a impressão SLA, o DLP atinge tempos de impressão mais rápidos para a maioria das peças. Isto porque ele expõe camadas inteiras de uma só vez. Com a impressão SLA, um laser precisa percorrer toda a camada e isso leva tempo.

SLS (*Selective Laser Sintering* ou Sinterização Seletiva a Laser)

Utiliza um laser de alta potencia para aquecer e sintetizar o material em pó, os materiais que podem ser utilizados nessa técnica são, nylon, cerâmica, areia de fundição etc. O processo de formação da camada é parecido com o DLP e SLA porem a diferença é que o material usado para a construção da camada deve ser em pó, a impressora já mantém o pó pré-aquecido a uma temperatura abaixo da fusão para que se torne mais fácil a elevação da temperatura pelo laser em área especifica assim solidificando o material onde o laser passar, depois de concluir a primeira camada a estrutura da impressora abaixa e um sistema de espalhamento cobre a camada já solidificada com mais uma camada fina de pó, o processo se repete até que se forme todo o objeto.

Figura 5. Objeto impresso em SLS.



Fonte: Fernandes (2017).

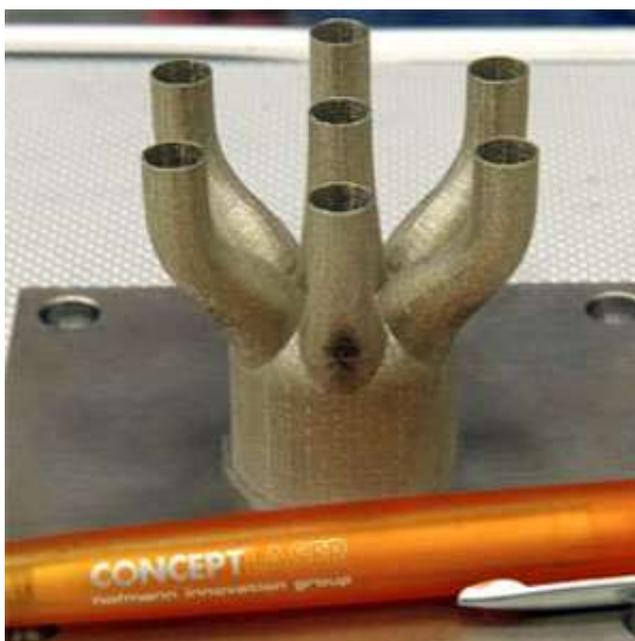
Segundo Fernandes (2017), a principal vantagem desse método, entre os tipos de impressão 3D, é a de que ele não necessita de suportes para o apoio do modelo durante a sua fabricação, pois o próprio pó não fundido mantém a peça conforme o modelo 3D, com isso não necessita de alguns tratamentos pós-impressão e se torna possível imprimir peças complexas com excelente acabamento. Depois de impresso o objeto passa por uma seção de limpeza do excesso de pó com ar comprimido, e um lixamento ou pintura para que os

acabamentos se tornem de maior qualidade. O excesso de pó que permanece pode ser filtrado e separado para uma reutilização em outro projeto por sua capacidade de se degradar em altas temperaturas, assim esse método se torna um dos mais eficientes em não descartar o que não tiver sido utilizado na impressão.

SLM (*Selective Laser Melting* ou *Fusão Seletiva a Laser*)

É uma tecnologia semelhante à SLS, a diferença é que é utilizado metal como material e esse é derretido e formado camada por camada. O processo se inicia com a criação do arquivo 3D em um Software CAD, o material em pó utilizado na impressão é depositado na bandeja da maquina, o laser de alta potência passa sobre o pó derretendo o mesmo e fundindo as suas partículas onde o laser passou e depois a bandeja abaixa e a parte já derretida é coberta por uma nova camada fina de pó pelo sistema de espalhamento do pó da impressora para que o laser passe novamente por cima da camada formando uma nova camada, esse processo se repete até que se forme por completo o objeto pretendido.

Figura 6. Componente de foguete.



Fonte: Santos (2012).

Uma das vantagens dessa técnica é que os objetos são impressos em metal e tem 100% de densidade, com estruturas complexas e sem cortes. Os materiais usados podem ser níquel, titânio entre outros. É amplamente usada na indústria metalúrgica, aeroespacial, biológica e tratamento médico ortopédico na produção de próteses.

ESTUDO COMPARATIVO

Este estudo constitui-se em analisar as tecnologias de impressão 3D que estão disponíveis no Brasil atualmente, observando os seguintes critérios:

Quadro 1. Critérios de análise do estudo comparativo.

Critérios	Descrição
Material	Qualidade do material utilizado na impressão 3D e qualidade do resultado final.
Aplicabilidade	Áreas de uso indicadas, bem como possíveis objetos que são mais indicados para serem produzidos com cada tipo de tecnologia.
Custo	Apresentar uma média de valor que pode ser investido na aquisição de uma impressora 3D que utilize cada tecnologia, bem como o valor médio de investimento no material que cada impressora utiliza.
Popularidade	O quanto cada uma das tecnologias de impressão 3D analisadas é popular e conhecida no Brasil.

Fonte: Autoria Própria (2018).

Nos subtópicos a seguir, são apresentadas as análises do estudo comparativo de cada uma das tecnologias de impressão 3D abordadas neste trabalho, observando cada um dos critérios mencionados.

Material

Os materiais que podem ser utilizados para a impressão na tecnologia FDM são vários termoplásticos, como, por exemplo: plástico de poliácido láctico (PLA), acrilonitrila butadieno estireno (ABS), polietileno tereftalato (PET), nylon, entre outros. Esses materiais são, em geral, resistentes e podem ter várias cores. A diferença entre eles é que alguns são mais resistentes, leves, uns podem ter maior durabilidade do que outros e podem ser encontrados em uma maior variedade de cores. Pelo melhor custo benefício, o PLA possui brilho, ótima resistência e rigidez, além de ser biodegradável e, dependendo do destino final, necessita de acabamento com lixa, polimento ou pintura. Uma desvantagem é ter camadas de impressão bem visíveis, por isso precisa de um acabamento final.

Os materiais utilizados na tecnologia SLA são resinas de fotopolímeros líquidos. Um detalhe é que, para cada aplicação, existem resinas específicas. No acabamento final da impressão 3D com essa tecnologia, devem ser retirados os suportes da peça com um banho químico e o objeto deve ser colocado em um forno de luz ultravioleta, para finalizar o processo de cura ou endurecimento da peça. A vantagem da SLA em relação à FDM é o

alto nível de detalhes e velocidade na impressão. No entanto, é um material menos resistente e, antes de impresso, pode estragar muito rápido.

Materiais utilizados na impressão DLP e também na SLA são resinas. Porém, são próprios para a tecnologia e, de acordo com cada aplicação, também são utilizadas resinas específicas. Uma vantagem da DLP, em relação à SLA, é a velocidade na impressão.

Materiais utilizados na impressão SLS são pequenas partículas (pó de plástico, cerâmica, vidro, etc.). A diferença em relação a outras tecnologias apresentadas é que um objeto impresso utilizando a SLS geralmente não utiliza suporte, pois o próprio pó serve de suporte e geralmente não precisam passar por processos de acabamento com lixas ou passar por outro tipo de acabamento, apenas se for necessário. Uma desvantagem é o material utilizado ser importado e muito difícil de ser encontrado no Brasil.

A tecnologia SLM, por sua vez, utiliza partículas de metais (um pó que pode ser de titânio, aço inoxidável, níquel, alumínio etc.). É muito utilizada na indústria aeroespacial e na ortopedia médica, para a criação de próteses. A qualidade de impressão é altíssima. Um objeto impresso com essa tecnologia pode ser comparado com objetos forjados ou fundidos.

Vale ressaltar que o descarte incorreto de peças e materiais utilizados na impressão 3D pode causar prejuízos ao meio ambiente. No entanto, a tecnologia de impressão 3D, em geral, pode ser considerada sustentável, pois, segundo Luísa (2018) não se gasta adquirindo itens já prontos, para aguardar que um cliente em potencial deseje adquirir o produto. Isso vai evitar que sejam necessários gastos comprando peças, aumentando o estoque para que tenha peças disponíveis para serem compradas, e vai evitar que transportes sejam utilizados para que seja levada do revendedor ou distribuidor para um estoque da empresa ou pessoa que venda esses produtos. Ainda segundo Luísa (2018), a prototipagem pode checar vários parâmetros e, caso identifique qualquer erro ou defeito, é possível corrigir e reimprimir um novo protótipo para que seja novamente testado.

Como a tecnologia 3D fabrica produtos sob demanda, ela evita o desperdício de materiais utilizados para produção de um produto industrializado. Além disso, ela reduz a poluição, já que gasta menos, em média, para se produzir, armazenar e transportar determinada peça ou produto. A impressora 3D é um importante instrumento para que nossa sociedade mude a sua forma de consumo e crie atitudes que agridam menos o meio ambiente (LUÍSA, 2018, s/p).

Com o objetivo de recuperar resíduos e transformar em outros objetos, assim diminuindo o impacto ambiental e o valor dos materiais e tornar a impressão 3D mais

sustentável, estudantes do Canadá desenvolveram uma máquina que tritura qualquer tipo de material plástico e transforma em filamento.

Aplicabilidade

Os objetos que são possíveis imprimir com a tecnologia FDM são vários. Podem ser protótipos para teste, objetos decorativos, brinquedos, entre outros. Além disso, também é muito utilizada na área de próteses, construção civil, uso doméstico e indústria aeroespacial. Já a SLA é muito utilizada na área odontológica, médica, indústria automotiva, na área da joalheria, entre outras.

A tecnologia DLP é utilizada, por exemplo, na ortodontia, que utiliza resinas próprias para a aplicação, também na criação de jóias com altíssima resolução e qualidade no acabamento final. A tecnologia SLS pode ser utilizada na área médica, na área da indústria. Objetos impressos com a tecnologia SLS podem ser próteses médicas, produtos de teste, etc. A tecnologia SLM é muito utilizada em indústrias aeroespaciais, médicas e automobilística.

Custo

Algumas tecnologias de impressão 3D ainda não tem um valor tão acessível no Brasil, pois a maioria das empresas que fornecem esses dispositivos é de outros países, e para realizar a importação dessas impressoras, além de um certo conhecimento e confiabilidade no vendedor, a conversão de moedas é uma variante que influencia muito no fator de custo.

O custo de uma impressora 3D com tecnologia FDM no Brasil varia de acordo com o tamanho da peça que é possível imprimir na máquina, ficando em torno de R\$ 2.600,00 até R\$ 40.000,00, e suporta impressões até 20 cm de altura. Cada rolo de filamento para estar impressoras, com 1kg, custa em média R\$ 130,00. Já a tecnologia SLA, por ser uma tecnologia mais precisa, com um nível de detalhamento maior do que a FDM, possui um custo mais elevado, também estipulado de acordo com o tamanho da peça que deseja imprimir. O valor de impressoras com essa tecnologia no Brasil fica em torno de R\$ 28.000,00 a R\$ 35.000,00 e suportam impressões até 17 cm de altura. Cada recipiente de resina para abastecer estas impressoras, com 500ml, custam em média R\$ 400,00.

A tecnologia DLP tem algumas diferenças para a SLA, como a velocidade na impressão e, por ter luz digital, é projetada de uma vez para criar uma camada, e assim se repete, criando camada por camada. Com isso, tem significativa valorização e torna seu preço mais alto. Impressoras com essa tecnologia no Brasil tem custo entre 40.000,00 a R\$

85.000,00 e suportam impressões até 20 cm de altura. Em média, 1 litro de resina custa aproximadamente R\$ 700,00.

Impressoras com tecnologia SLS tem o custo de aquisição alto, muitas vezes tendo que ser importada. Uma impressora com essa tecnologia no Brasil tem custo entre R\$ 150.000,00 até R\$ 250.000,00. Não foi localizado materiais para abastecer este tipo de impressora disponíveis no Brasil, e não é possível fazer uma média de valor de aquisição desses materiais. Impressoras com tecnologia SLM tem custo de aquisição muito alto pela questão da importação. Uma impressora com essa tecnologia custa entre \$ 250.000,00 dólares, saindo por aproximadamente R\$ 1.000.000,00 de reais (conversão de acordo com o valor do R\$ na data de 05 de dezembro de 2018).

Popularidade

No Brasil, tem-se uma procura maior e é mais fácil a aquisição de impressoras 3D com a tecnologia FDM. Assim, a popularidade dessa tecnologia acaba sendo a maior, pelo seu baixo custo de aquisição e pela facilidade em encontrar impressores que utilizem esta tecnologia a disposição, inclusive impressoras fabricadas no Brasil.

A tecnologia SLA tem a popularidade um pouco menor do que a FDM, ficando classificada como alta e, possivelmente, pode se tornar mais popular com o passar do tempo. Impressoras 3D com a tecnologia DLP tem popularidade média, pelo custo demasiadamente alto. Logo, impressoras 3D com tecnologia SLS, por ter material utilizado na impressão difícil de ser encontrado no Brasil, e a impressora também, possui uma popularidade baixa. Por fim, impressoras 3D com tecnologia SLM, no Brasil, tem uma popularidade muito baixa, devido ao altíssimo custo de aquisição e pela questão da importação, tanto da impressora quanto do material para abastecê-la.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante salientar que as tecnologias de impressão 3D abordadas neste trabalho não são as únicas disponíveis no mercado. Há outros tipos de tecnologias para impressão 3D, tais como Fusão de Feixe de Elétrons (EBM), Fabricação de Objetos Laminados (LOM), Jato de Tinta (Inkjet), Polyjet, entre outros.

As tecnologias abordadas neste trabalho foram escolhidas com base na sua popularidade e disponibilidade, principalmente pensando no mercado brasileiro; custos de aquisição e aplicabilidade mais ampla, pois no caso de algumas tecnologias específicas, como as já mencionadas FDM, no caso especificamente das impressoras Stella 2 e da caneta impressora 3D, e tecnologia SLA, que, segundo Higa (2016), existe a impressora

chamada OLO, que é “compacta, produz pequenos objetos, funciona com ajuda do seu smartphone” e custa aproximadamente 99 dólares ou 380 reais, por exemplo, possuem custos mais acessíveis, mas têm grandes limitações e aplicabilidade muito restrita.

Considerando que impressão 3D é um tema amplo e o leque de opções em termos de tecnologias para impressão 3D também, espera-se com este trabalho contribuir para trazer mais esclarecimentos acerca do tema e, tendo em vista que com as expirações das patentes registradas e a popularização desse tipo de técnica para a criação de objetos, os valores das impressoras 3D vêm diminuindo cada vez mais.

Espera-se que o trabalho seja de fundamental importância na tomada de decisões em futuras aquisições, seja para uso comercial ou doméstico. Inclusive, como as tecnologias SLA e DLP são bastante utilizadas na área de Odontologia, espera-se que possa ser útil para a FACIT, no sentido de considerar a aquisição de uma impressora 3D para a confecção de próteses dentárias no curso de Odontologia e quem sabe até amadurecer a ideia de inclusão de conteúdos ou disciplinas voltados à impressão 3D na matriz curricular do curso.

Por fim, espera-se contribuir para que futuros acadêmicos do curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas despertem o interesse em realizar outras pesquisas e trabalhos voltados à impressão 3D, sob diferentes perspectivas e abordagens, tendo em vista que ainda há muito a ser explorado em relação ao tema, pois a tecnologia de impressão 3D vem provocando uma grande revolução, bem como contribuindo, influenciando e melhorando a vida de várias pessoas.

209

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Emanuel Flavio; BEDESCHI, Alexandre Cabral; CARNEIRO, Gabriela Frizoni; CARVALHO, Eiza Ashley; LECHITZ, Felipe Bravo; PINTO, Danilo Pereira; YUNG, Jose Guilherme. **Contribuições do Desenvolvimento de Sistemas de Impressão 3D na Educação**. Joinville: XLV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. 26 a 29 de set. 2017. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/sis_submetidos.php?acao=abrir&evento=COBENGE17&codigo=COBENGE17_00001_00000766.pdf> Acesso em: 07 de nov. 2018.

BAUTISTA, Camile. *3D Printers Help Build Robohand for 5-Year-Old*. In: **Mashable**. 13 fev. 2013. Disponível em: <<https://mashable.com/2013/02/13/robohand/#b0Fu5LbxAiQd>> Acesso em: 04 dez. 2018.

BOA IMPRESSÃO. *Impressora 3D Stella 2*. In: **Boa Impressão**. Disponível em: <<https://boaimpressao3d.com.br/shop/impressora3d/impressora-3d-stella-2/#description>> Acesso em: 21 nov. 2018.

CAMPOS, Augusto. *O Que é Software Livre?* In: **BR-Linux**. Florianópolis, mar. 2006. Disponível em: <<http://br-linux.org/linux/faq-softwarelivre>>. Acesso em: 19 dez. 2018.

CARDOSO, Sérgio. *Conheça os Tipos de Impressão 3D e os Seus Benefícios*. In: **3D Lab Soluções em Impressão 3D**. 25 set. 2018. Disponível em: <<https://3dlab.com.br/tipos-de-impressao-3d-e-beneficios/>> Acesso em: 02 nov. 2018.

CARVALHO, Luísa de. *#1 Cammarada do Planeta: 3 provas de que a impressora 3D é amiga do meio ambiente*. In: **Cammada**. 30 ago. 2018. Disponível em: <<http://blog.cammada.com/2018/08/30/1-cammarada-do-planeta/#comment-521>> Acesso em: 01 dez. 2018.

COSSETTI, Melissa Cruz. *Como Funciona Uma Impressora 3D: tecnologia permite criar um objeto físico a partir de um modelo digital*. In: **Tecnoblog**. 20 abr 2018. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/240402/como-funciona-impressora-3d/>> Acesso em: 20 out. 2018.

COSTA, Lucas. *Impressão 3D: um pouco sobre esta tecnologia futurística*. In: **Teceletronico**. 2 jan. 2017. Disponível em: <<http://teceletron.blogspot.com/2017/01/impressao-3d-um-pouco-sobre-esta.html>> Acesso em: 14 nov. 2018.

CRESSWELL, Jhon W. **Projeto de Pesquisa**: método qualitativo, quantitativo e misto. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

DAQUINO, Fernando. *Como Funcionam os Projetores e Televisores com Tecnologia DLP?* In: **Tecmundo**. 01 fev. 2011. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/projetor/8160-como-funcionam-os-projetores-e-televisores-com-tecnologia-dlp-.htm>> Acesso em: 21 nov. 2018.

ESMENIO, Marie. *Robohand: mão mecânica feita de termoplástico e impressa em 3D*. In: **Patient Innovation**. 20 out. 2014. Disponível em: <<https://patient-innovation.com/post/613?language=pt-pt>> Acesso em: 14 nov. 2018.

FERNANDES, Lucas. *5 Tipos de Impressão 3D e Seus Benefícios*. In: **Blog Fluxo Consultoria**. 24 out. 2017. Disponível em: <http://fluxoconsultoria.poli.ufrj.br/blog/projetos-mecanicos/tipos-de-impressao-3d/?utm_expid=100901639-90.2LGVEsxGTPWJpIK_f8BNeg.0&utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F> Acesso em: 11 nov. 2018.

FESSENDEN, Marissa. *Traquéia Produzida com Impressora 3D Salva Recém-Nascido: tubo flexível ajuda bebê a respirar e avança o uso terapêutico de partes do corpo sob medida*. In: **Uol**. 27 mai. 2013. Disponível em: <http://www2.uol.com.br/sciam/noticias/traqueia_produzida_com_impresora_3d_salva_recem-nascido.html> Acesso em: 13 nov. 2018.

FRABASILE, Daniela. *Precisamos Aprender a Usar a Impressão 3D para Inovar*. In: **Revista Época Negócios**. 03 mai. 2018. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2018/05/precisamos-aprender-usar-impressao-3d-para-inovar.html>>. Acesso em: 14 nov. 2018.

Thiago Neves PAIVA; Cássio Cipriano NOGUEIRA. ESTUDO COMPARATIVO DAS PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DE IMPRESSÃO 3D NO BRASIL. JNT-Facit Business And Technology Journal - ISSN: 2526-4281 QUALIS B1. Março 2021 - Ed. Nº 24. Vol. 1. Págs. 193-212.

FREITAS, Joana. *Impressão a 3D: revolução que começou há mais de 30 anos*. In: **Hoje Macau**. 4 ago. 2016. Disponível em: <<https://hojemacau.com.mo/2016/08/04/impresao-a-3d-revolucao-que-comecou-ha-mais-de-30-anos/>> Acesso em: 04 dez. 2018.

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HIGA, Paulo. Olo: a impressora 3D compacta e barata que funciona com o seu smartphone. In: **Tecnoblog** 31 mar. 2016. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/193645/olo-impressora-3d-smartphone/>> Acesso em: 11 set. 2018.

HUAMANI, Daniel. *O Que Esperar da Impressão 3D para 2018?* In: **3DCriar**. 2 jan. 2018. Disponível em: <<http://3dcriar.com.br/v2/2018/01/02/o-que-esperar-da-impresao-3d-para-2018/>> Acesso em: 14 nov. 2018.

IMPRESSÃO 3D FÁCIL. *Impressão 3D com a Tecnologia FDM*. In: **Impressão 3D Tek**. 4 abril. 2017. Disponível em: <<http://www.impresao3dtek.com.br/single-post/2017/04/04/IMPRESS%C3%83O-3D-COM-A-TECNOLOGIA-FDM>> Acesso em: 21 nov. 2018.

KUNKEL, Maria Elizete. *Mao3D: nem sempre é possível fazer a protetização infantil*. In: **Mao3D**. 30 jul. 2016. Disponível em: <<https://mao3d.wordpress.com/2016/07/30/mao3d-nem-sempr-e-possivel-fazer-a-protetizacao-infantil/>> Acesso em: 04 dez. 2018.

MAES, Jéssica. *A NASA Acabou de Enviar uma Ferramenta Para o Espaço por E-mail*. In: **Hypescience**. 22 dez. 2014. Disponível em: <<https://hypescience.com/nasa-acabou-de-enviar-uma-ferramenta-para-o-espaco-por-email/>> Acesso em: 13 nov. 2018.

MÜLLER, Fernando. *Conheça a Stella, a Primeira Impressora 3D Compacta Feita no Brasil*. In: **TechTudo**. 04 nov. 2016. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/impressora-3d/111397-conheca-stella-primeira-impressora-3d-compacta-feita-brasil.htm>> Acesso em: 21 nov. 2018.

NASCIMENTO, Tatiana. *Pesquisadores Recriam Parte do Acervo do Museu Nacional, Incluindo o Crânio de Luzia, com Impressoras 3D*. In: **G1 Globo**. 21 Set. 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2018/09/21/pesquisadores-recriam-parte-do-acervo-do-museu-nacional-incluindo-o-cranio-de-luzia-com-impressoras-3d.ghtml>> Acesso em: 20 Nov. 2018.

NEGROMONTE, Emanuel. *Explicando o formato de arquivo STL para impressões em 3D*. In: **SempreUpdate**. 26 jan. 2017. Disponível em: <<https://sempreupdate.com.br/explicando-o-formato-de-arquivo-stl-para-impressoes-em-3d/>> Acesso em: 06 fev. 2019.

RAMPAZZO, Lino. **Metodologia Científica**. 3 ed. São Paulo: Edições Loyola, 2005.

RIBEIRO, Gabriel. *Veja Impressoras 3D Mais Baratas no Brasil e Comece a Usar a Tecnologia*. In: **TechTudo**. 30 mai. 2016. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/listas/noticia/2016/05/veja-impressoras-3d-mais-baratas-no-brasil-e-comece-usar-tecnologia.html>> Acesso em: 20 nov. 2018.

Thiago Neves PAIVA; Cássio Cipriano NOGUEIRA. ESTUDO COMPARATIVO DAS PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DE IMPRESSÃO 3D NO BRASIL. JNT-Facit Business And Technology Journal - ISSN: 2526-4281 QUALIS B1. Março 2021 - Ed. Nº 24. Vol. 1. Págs. 193-212.

SECRETÁRIA ESPECIAL DE COMUNICAÇÃO. *FabLab Livre SP Promove Mais de 50 Cursos Gratuitos em Junho*. In: **Prefeitura de São Paulo**. 14 jun. 2018. Disponível em: <<http://www.capital.sp.gov.br/noticia/fab-lab-livre-sp-promove-mais-de-50-cursos-gratuitos-em-junho-nos-12-laboratorios-dispostos-pela-cidade>> Acesso em: 04 dez 2018.

SANTOS, Fernanda. *NASA Planeja Usar Impressora 3D para Criar Peças para Seus Foguetes*. 11 nov. 2012. In: **Techtudo**. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2012/11/nasa-planeja-usar-impressora-3d-para-criar-pecas-para-seus-foguetes.html>> Acesso em: 05 dez. 2018.

SOARES, Perseu S. *Impressora 3D: o projeto RepRap*. In: **Expresso da Engenharia**. 21 dez. 2017. Disponível em: <<https://expressoengenharia.wordpress.com/2017/12/21/impressora-3d-o-projeto-reprap/>>. Acesso em: 11 nov. 2018.

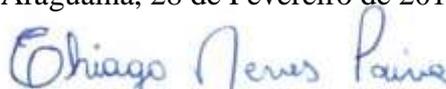
SOUZA, Edson de. *Impressora 3D: confira a evolução do dispositivo desde a sua concepção*. In: **Techtudo**. 20 nov. 2014. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2014/11/impressora-3d-confira-evolucao-do-dispositivo-desde-sua-concepcao.html>> Acesso em: 02 nov. 2018.

THOMÉ, Clarissa. *Museu Nacional cria Acervo Virtual: scanner tridimensional permite criar réplicas em tamanho real e será usado para digitalizar fósseis e múmias*. In: **Estadão**. 22 de jun. 2009. Disponível em: <<https://emails.estadao.com.br/noticias/geral,museu-nacional-cria-acervo-virtual,390941>> Acesso em: 01 dez. 2018.

VIEIRA, Valter. *As tipologias, variações e características da pesquisa de marketing*. **Revista FAE**, Curitiba, v.5, n.1. Publicada em: jan / abr. 2002. Disponível em: <<https://revistafae.fae.edu/revistafae/article/download/449/344>> Acesso em: 09 de set. 2018.

WISHBOX. *Como Funciona uma Impressora 3D SLA?* In: **Blog Wishbox**. 26 mai. 2016. Disponível em: <<http://blog.wishbox.net.br/2016/05/26/impressora-3d-sla-como-funciona/>> Acesso em: 02 dez. 2018.

Autorizo a reprodução deste trabalho.
(Direitos de publicação reservado ao autor)
Araguaína, 28 de Fevereiro de 2019


THIAGO NEVES PAIVA