

275

Design & Narrativas criativas
nos Processos de Prototipagem

A IMPRESSÃO 3D E AS TECNOLOGIAS EMERGENTES DE FABRICAÇÃO DIGITAL:

A (r)evolução nos
processos de ensino
de design, engenharia
e manufatura

SOBRE OS AUTORES

Claudia Alquezar Facca – claudiafacca01@gmail.com

Designer pela Universidade Mackenzie – São Paulo, Mestre e Doutora em Design pela Universidade Anhembi Morumbi – São Paulo, com período “sanduíche” na FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (Portugal), Professora Titular e Coordenadora do Curso de Design no Instituto Mauá de Tecnologia – São Caetano do Sul (Brasil). Áreas de pesquisa: metodologia de projeto, educação em design e engenharia, cultura “maker” e fabricação digital.

<http://lattes.cnpq.br/6480151670397175>

Adriana Fernandes – afernandes@fe.up.pt

Designer, professora e investigadora, Mestre e Doutoranda em Design pela Universidade do Porto - Portugal. Especialista em design estratégico, inovação e economia criativa, estuda o design como ferramenta de impacto para mudanças positivas nos negócios, sociais e ambientais. Investigadora no Design Studio da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, em Portugal.

<http://lattes.cnpq.br/0848974598518495>

Jorge Lino Alves – falves@fe.up.pt

Presidente da Sociedade Portuguesa de Materiais (SPM), Engenheiro Mecânico, Professor Associado e Membro do Conselho do Departamento de Engenharia Mecânica da FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Pesquisador do LAETA - Laboratório Associado de Energia, Transportes e Aeronáutica e do INEGI - Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial, Codiretor do Mestrado em Design Industrial e de Produto e Diretor do DesignStudio – FEUP (Portugal).

<https://www.cienciavita.pt/portal/CB15-F498-09B7>

Bárbara Rangel – brangel@gcloud.fe.up.pt

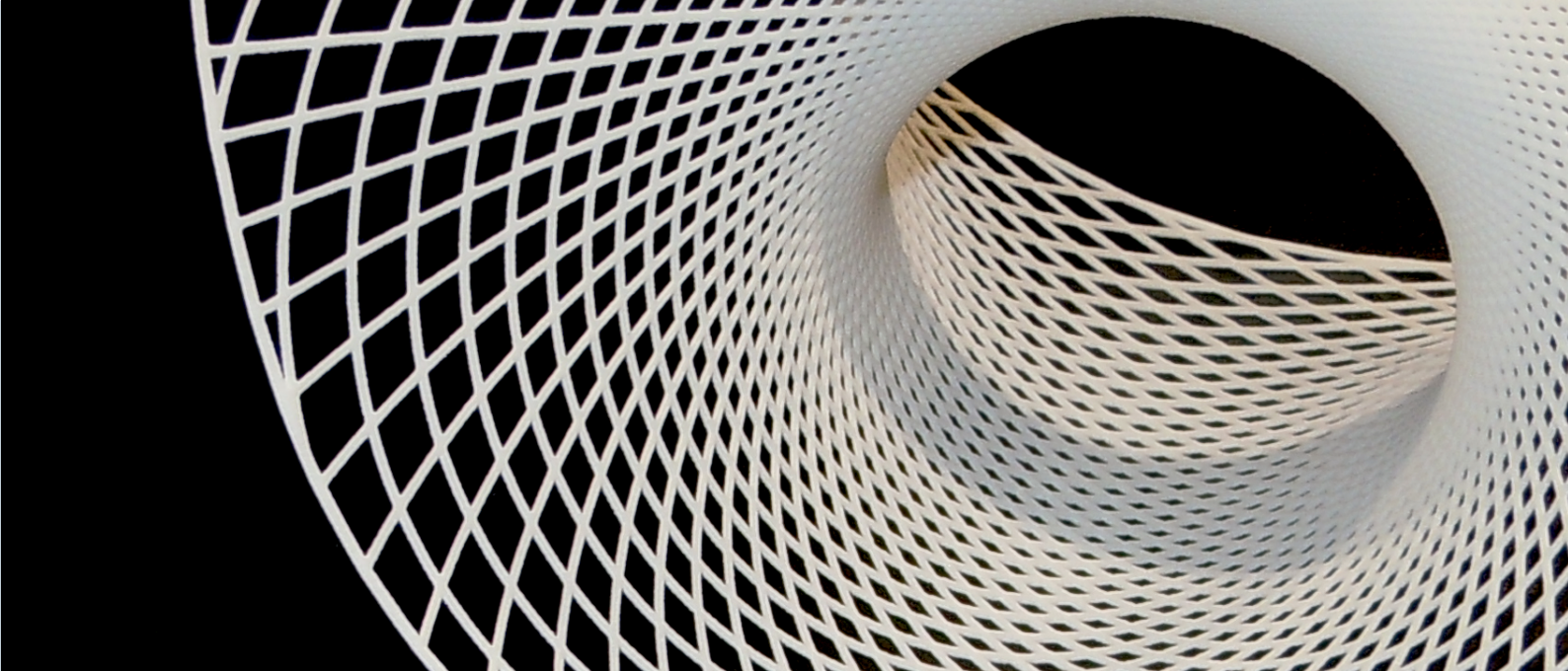
Arquiteta, Professora Associada na FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Pesquisadora da CONSTRUCT, Colaboradora do Design Studio na FEUP, Professora de Projeto no Mestrado em Design Industrial e Produto na FEUP (Portugal). Editora convidada da Springer Internacional. As áreas de investigação cruzam a arquitetura e a engenharia, projeto integrado, design industrial e eco-design.

<http://orcid.org/0000-0002-5911-9423>

Ana Mae Barbosa – anamaebarbosa@gmail.com

Arte Educadora, Mestre em Arte Educação pela Southern Connecticut State College e Doutora em Educação Humanística pela Boston University, nos Estados Unidos. Professora Titular aposentada da Universidade de São Paulo e Professora do Programa de Pós Graduação em Design - Mestrado e Doutorado, da Universidade Anhembi Morumbi – São Paulo (Brasil).

<http://lattes.cnpq.br/1650414096296319>



A IMPRESSÃO 3D E AS TECNOLOGIAS EMERGENTES DE FABRICAÇÃO DIGITAL: A (R)EVOLUÇÃO NOS PROCESSOS DE ENSINO DE DESIGN, ENGENHARIA E MANUFATURA

3D printing and emerging digital manufacturing technologies: (r) evolution in design, engineering and manufacturing teaching processes

Claudia Alquezar Facca | Adriana Fernandes | Jorge Lino Alves |
Bárbara Rangel | Ana Mae Barbosa

Resumo

O presente artigo discute as relações entre as novas formas de pensar, criar, agir, fabricar e aprender, fruto da cultura do Movimento *Maker* e da Fabricação Digital, representados fundamentalmente pelas tecnologias de prototipagem digital e da impressão 3D, e aplicados no ensino da prática de projetos, por meio do PBL (Aprendizagem Baseada em Projetos) e a conseqüente (r)evolução que estão causando nos processos de design, engenharia e manufatura. A fim de exemplificar a versatilidade da tecnologia no processo de aprendizagem, são apresentados três projetos desenvolvidos por estudantes do programa de Mestrado em Design Industrial e de Produto (MDIP) na Universidade do Porto, em Portugal.

Palavras-Chave: impressão 3D, fabricação digital, educação, *design*, engenharia

Abstract

This article discusses the relationships between the new ways of thinking, creating, acting, manufacturing and learning, as a result of the culture of the Maker and Digital Movement, represented fundamentally by the technologies of digital manufacturing and 3D printing, and applied in teaching of project practice, through Project-Based Learning (PBL) and the consequent (r) evolution they are causing in design, engineering, and manufacturing processes. In order to exemplify the versatility of technology in the learning process, will be presented three projects developed by students of the Master Program in Industrial and Product Design (MDIP) at the University of Porto, Portugal.

Keywords: 3D printing, digital manufacturing, education, *design*, engineering

INTRODUÇÃO

Os processos de concepção em design e as suas ferramentas vão-se adaptando às tecnologias de cada época. Leonardo da Vinci com o desenho construía protótipos em madeira usando todos os seus conhecimentos da física, matemática e arquitetura para representar e desenvolver as suas máquinas. Vítor Orta dobrava e fazia do aço e do vidro dois materiais tão fáceis de trabalhar como a grafite e a aquarela nos vitrais *Art Nouveaux*. Com sacos de areia suspensos em cordas esticadas no seu *atelier*, Gaudí simulava as estruturas invertidas dos complexos edifícios que concebia. Na Bauhaus, a multidisciplinaridade oferecida por uma escola de artes fazia com que a pintura, o teatro, o ballet, a arquitetura e o *design* trabalhassem em conjunto na procura de ferramentas de expressão e comunicação para a concepção de novos produtos mais industrializados para todas as classes. As potencialidades do plástico descobertas nos anos 60 empurraram *designers* e arquitetos para a descoberta do desenho feito com auxílio dos recentes computadores. No final do século XX, as ferramentas informáticas usadas na NASA foram trazidas para as indústrias pelas mãos de Ghery: as maquetes de papel eram digitalizadas, transformadas num modelo tridimensional complexo para serem testadas em modelos moldados por uma CNC. Enfim, o mundo evolui numa constante relação entre demandas e soluções tecnológicas.

A convergência entre o mundo físico, dos átomos, e o mundo digital, dos bits, é uma das tendências atuais mais desafiadoras e fascinantes. A quarta revolução industrial (Figura 1), caracterizada pelos dados e suas análises e pela fusão de tecnologia com os mundos físico, digital e biológico (Figura 2) nos coloca na era da inteligência ou da informação; já passamos pela primeira revolução, da engenharia a vapor, pela segunda, da linha de montagem e pela terceira, da energia nuclear, da computação e da internet (OTAÑEZ, 2017).

Figura 1: A 4ª revolução industrial (adaptado de OTAÑEZ, 2017).

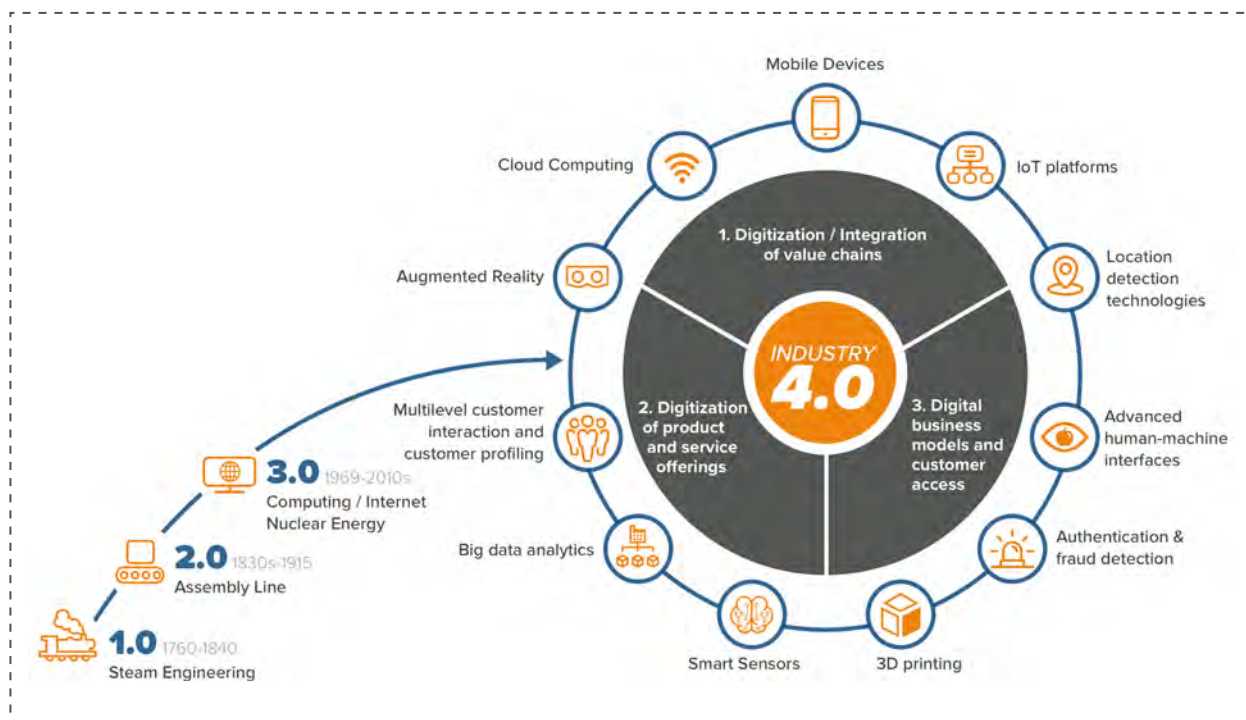




Figura 2: Convergência de áreas que caracteriza a quarta Revolução Industrial (DIAS, 2018).

A quarta revolução industrial, também conhecida como Indústria 4.0, vem promovendo uma verdadeira revolução nos processos, nas relações e nos hábitos de consumo, trazendo a digitalização e o mundo virtual, que estão colocando a humanidade em outro patamar de interação e desenvolvimento (COLLABO, 2019). Os últimos dez anos têm sido sobre a descoberta de novas maneiras de criar, inventar e trabalhar em conjunto na Web. Os próximos dez anos serão sobre a aplicação dessas lições para o mundo real (ANDERSON, 2012). Estamos cercados por objetos físicos, frutos de uma economia de fabricação que, devido ao alto custo de produção, era restrito às grandes empresas. A grande mudança que a nova revolução industrial está trazendo é em relação ao mundo digital, que antes era restrito às telas e agora pode ser compartilhado como arquivos *online*. A primeira revolução digital foi da comunicação, a segunda revolução digital foi da computação e agora chega-se, então, à terceira revolução digital, da fabricação, que permitirá que “qualquer um faça (quase) qualquer coisa”, trazendo a “programabilidade” do mundo dos bits para a “fisicalidade” do mundo dos átomos (GERSHENFELD, 2017).

Segundo os prognósticos de Gershenfeld (2012) (Figura 3), Diretor do Núcleo de Átomos e Bits do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), a fabricação digital permitiria que os indivíduos projetassem e produzissem objetos tangíveis sob demanda, onde e quando precisassem e o acesso generalizado a essas tecnologias desafiaria modelos tradicionais de negócios e educação.



Figura 3: Neil Gershenfeld, Diretor do Núcleo de Átomos e Bits do MIT. (Fonte: https://images.forbes.com/media/2008/08/12/gershenfeld_426x280.jpg)

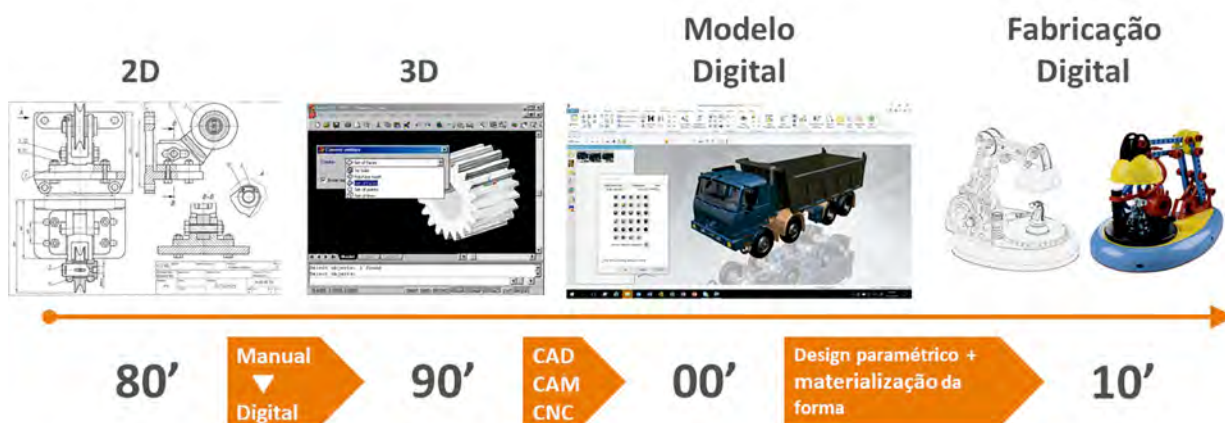


Figura 4: (R)evolução do processo de design/fabricação. Fonte: adaptado pelos autores

A revolução está acontecendo! Há cerca de 15 anos temos presenciado uma mudança disruptiva direcionada pela inovação tecnológica que está democratizando os meios de produção, permitindo novas conexões, fazendo-nos repensar e redesenhar a forma como trabalhamos, aprendemos e consumimos. Mudança esta que requer o desenvolvimento de novos ecossistemas, uma integração entre pequenas e grandes entidades e a criação de novos modelos de negócios que se encaixem nesse universo fruto dessa revolução digital (Figura 4).

Só que agora o digital está sendo aplicado de volta ao físico, sendo ativado e aprimorado por uma tecnologia que está permitindo que indivíduos de qualquer lugar estejam conectados com os mesmos recursos e utilizem as mesmas ferramentas (WOOL, 2014). A democratização da inovação permite que os usuários de produtos e serviços — tanto as empresas como os consumidores individuais — sejam cada vez mais capazes de inovar por si mesmos (HIPPEL, 2005). Os átomos estão suportando os bits e o cenário socioeconômico está sendo formatado pelo Movimento *Maker* (WOOL, 2014).

MOVIMENTO MAKER, FABRICAÇÃO DIGITAL E IMPRESSÃO 3D

Pensar globalmente, fabricar localmente: esse é o mote principal do Movimento *Maker*. Uma nova revolução digital que está chegando, só que desta vez na fabricação. Revolução que se baseia nos mesmos *insights* que levaram às digitalizações anteriores de comunicação e computação, mas agora o que está sendo programado é o mundo físico ao invés do virtual (GERSHENFELD, 2012, p. 43).

O Movimento *Maker* representa uma movimentação crescente de “hobbistas”, “consertadores”, engenheiros, *hackers* e artistas comprometidos com a concepção e construção criativa de objetos materiais para fins lúdicos e utilitários (MARTIN, 2015). A ideia por trás desse movimento é criar e desenvolver *coisas* (concretas ou digitais) usando novas ferramentas, como a impressora 3D por exemplo, em espaços abertos, oficinas ou laboratórios, combinando formas inovadoras de fabricação com trabalhos do tipo faça-você-mesmo¹ (ANDERSON, 2012 apud SCHÖN, 2014). De acordo ainda com Anderson (2012, p. 21), o Movimento *Maker* engloba três características transformadoras importantes: o uso de ferramentas digitais para criar *designs* para novos produtos e prototipá-los (“*digital DIY*”), o compartilhamento

1 Tradução de DIY (Do It Yourself)

desses projetos de *design* e a colaboração com comunidades *online* e o uso comum de arquivos padronizados que permitem que qualquer pessoa possa tanto enviar seus projetos para serviços comerciais de prototipagem, a serem produzidos em qualquer quantidade, como fabricá-los facilmente em seus próprios laboratórios. O Movimento *Maker* abrange diferentes profissionais e perfis de forma criativa e é baseado em três pontos principais: o "*make*" (sobre a ação, o fazer), o "*makerspace*" (sobre o espaço e o ambiente) e os "*makers*" (sobre os "fazedores", as pessoas).

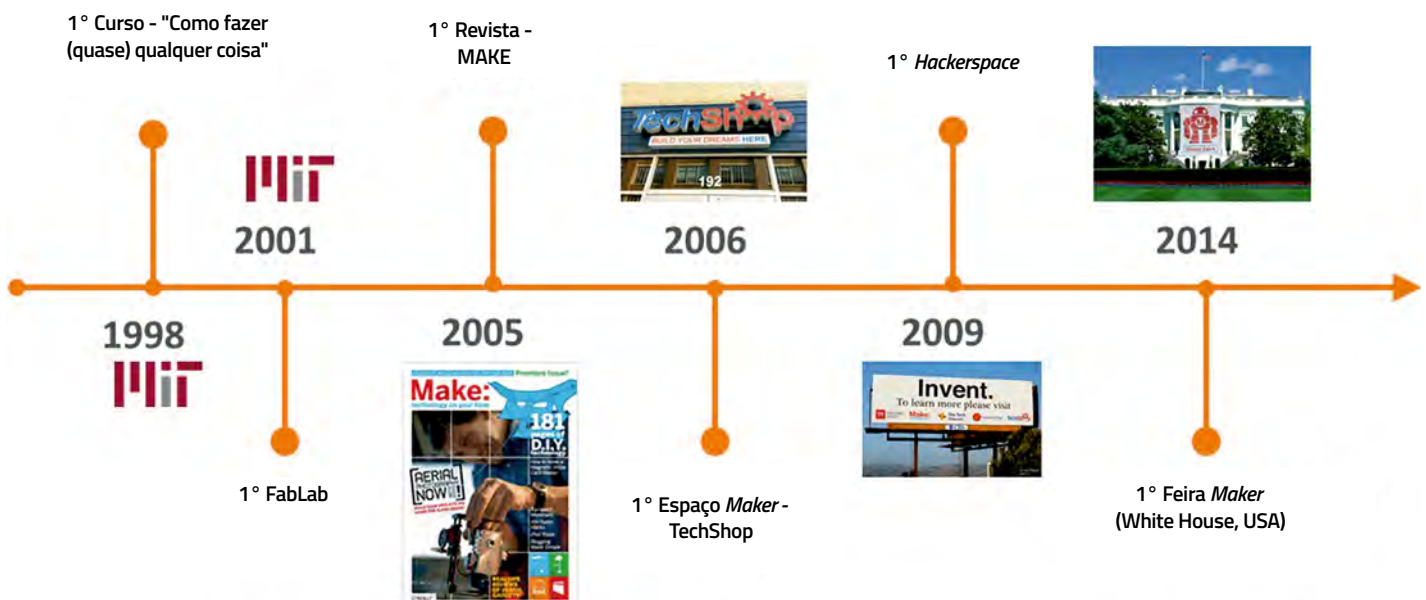
Na forma como ele está atualmente constituído, o Movimento *Maker* é muito recente. Em cerca de pouco mais de 20 anos de história pode-se ver que tem evoluído de uma forma muito particular. Na figura 5 podem-se observar alguns marcos importantes:

Outro fato importante foi a publicação do *Maker Movement Manifesto* (HATCH, 2013), que identificou os principais princípios norteadores e regras para a inovação nesse novo contexto "mão na massa": fazer, dividir, doar, aprender, instrumentar, brincar, participar, apoiar e mudar (Figura 6).

Há muitos termos e definições importantes ligados ao universo *maker*. De acordo com Relvas (2018) o termo "prototipagem rápida" foi o primeiro a surgir e referia-se à possibilidade de obtenção de modelos físicos diretamente a partir de informação digital, tendo como base a utilização de um conjunto de processos tecnológicos e de tecnologias digitais, daí que também pode ser conhecida por fabricação digital.

Esses modelos poderiam ser fabricados rapidamente pela adição de material e fabricação em camadas (fabricao aditivo) ou pela subtração de material que envolve os processos de maquinagem CNC com remoção de material (fabricao subtrativo) (Figura 7). O termo "fabricação digital" refere-se então a processos que usam ferramentas controladas por computador e que os próprios materiais são digitais, criados e modelados digitalmente. A fabricação aditiva tem sido amplamente saudada como uma revolução, mas a revolução não é sobre a fabricação aditiva *versus* subtrativa; é sobre a capacidade de transformar dados em coisas e coisas em dados (GERSHENFELD, 2012, p. 44-50; LINO ALVES et al., 2001).

Figura 5: Marcos do Movimento Maker. Fonte: Adaptado pelos autores



Make Making is fundamental to what it means to be human. We must make, create, and express ourselves to feel whole. There is something unique about making physical things. These things are like little pieces of us and seem to embody portions of our souls.

Share Sharing what you have made and what you know about making with others is the method by which a maker's feeling of wholeness is achieved. *You cannot make and not share.*

Give There are few things more selfless and satisfying than giving away something you have made. *The act of making puts a small piece of you in the object.* Giving that to someone else is like giving someone a small piece of yourself. Such things are often the most cherished items we possess.

Learn You must learn to make. You must always seek to learn more about your making. You may become a journeyman or master craftsman, but you will still learn, want to learn, and push yourself to learn new techniques, materials, and processes. Building a lifelong learning path ensures a rich and rewarding making life and, importantly, enables one to share.

Tool up You must have access to the right tools for the project at hand. Invest in and develop local access to the tools you need to do the making you want to do. The tools of making have never been cheaper, easier to use, or more powerful.

Play Be playful with what you are making, and you will be surprised, excited, and proud of what you discover.

Participate Join the Maker Movement and reach out to those around you who are discovering the joy of making. Hold seminars, parties, events, maker days, fairs, expos, classes, and dinners with and for the other makers in your community.

Support This is a movement, and it requires emotional, intellectual, financial, political, and institutional support. *The best hope for improving the world is us, and we are responsible for making a better future.*

Change Embrace the change that will naturally occur as you go through your maker journey. Since making is fundamental to what it means to be human, you will become a more complete version of you as you make.

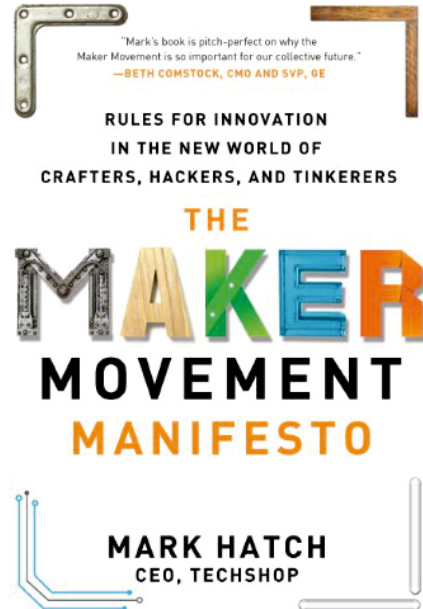


Figura 6: Manifesto do Movimento Maker (HATCH, 2013). Fonte: <https://i.pinimg.com/originals/26/17/f4/2617f4b5244590a487ca62cf00c08098.jpg>

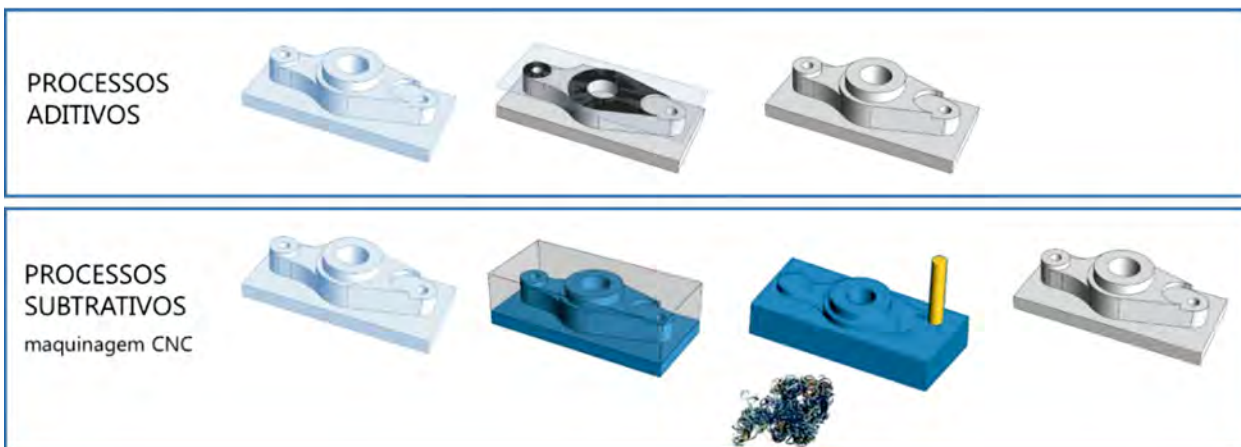


Figura 7: Processos de prototipagem rápida (RELVAS, 2018, p. 27).

A impressão 3D (tridimensional) é o principal processo utilizado na fabricação aditiva (KEATING, 2014; KEARNEY, 2015; VOLPATO, 2017). Esta tecnologia permite que modelos sejam construídos por camadas, como seções bidimensionais, tornando possível a confecção de peças de elevada complexidade geométrica e praticamente impossíveis de obter por meios de fabricação convencionais (LINO ALVES et al., 2001).

TECNOLOGIA		PROCESSO	MATERIAIS
FOTOPOLIMERIZAÇÃO DE RESINA	Tina de material (líquido)	Estereolitografia (SLA) Projeção digital de luz (DLP)	Resinas poliméricas
EXTRUSÃO DE MATERIAL	Filamento de material (sólido)	Modelação por extrusão e deposição de material polimérico (FDM) Fabricação por Fusão de Filamento Polimérico (FFF)	termoplásticos
JATO DE MATERIAL	Jato de material (spray)	Modelação por Multijatos de material (MJM)	Resinas poliméricas ceras
FUSÃO EM CAMA DE PÓ	Sinterização de material (pó)	Sinterização seletiva por laser (SLS) Sinterização direta de metais por laser (DMLS)	termoplásticos metálicos
	Fusão de material (pó)	Sinterização de metais por laser (SLM) Fusão por feixe de electrões (EBM)	metálicos
JATO DE AGLUTINANTE	Spray de cola (pó)	Impressão por jato de tinta (CJP)	Resinas Ceras
		Impressão por jato de aglomerante (Prometal)	metálicos
CONSTRUÇÃO POR LAMINADOS	Folhas de papel	Fabrico de objetos por laminados (LOM) Selective deposition lamination (SDL)	papel cera
	Folhas de chapa	Consolidação ultrassónica	metálicos
DEPOSIÇÃO DIRECIONADA DE ENERGIA	Fusão de material (jato de partículas)	Deposição de metal por laser (LENS) Electron beam directed energy deposition (EBAM)	metálicos

Uma das definições mais consensuais para a manufatura aditiva (*additive manufacturing* - AM) é da ASTM – Sociedade Americana de Testes e Materiais (*American Society for Testing and Materials*), que define AM como “um processo de junção de materiais para fazer objetos a partir de dados de um modelo 3D, geralmente camada sobre camada, em oposição às metodologias de fabricação subtrativas e formativas”. A ASTM também apresenta os seguintes sinónimos para a AM: fabricação aditiva, processos aditivos, técnicas aditivas, fabricação de camadas aditivas, fabricação de camadas e fabricação de forma livre (ISO / ASTM 52900-15).

Há atualmente diferentes processos individuais que variam em relação ao método de fabricação de camadas e que irão depender do material e da tecnologia da máquina usada. Assim, em 2010, a ASTM (ISO / ASTM 52900-15) formulou um conjunto de padrões (grupo “ASTM F42 – *Additive Manufacturing*”), que classifica a gama de processos de manufatura aditiva em 7 categorias (*Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies*, 2012): extrusão de material (*material extrusion*), jato de material (*material jetting*), laminação de folhas (*sheet lamination*), fotopolimerização de resina VAT (*photopolymerisation*), jato de aglutinante (*binder jetting*), deposição direta de energia - DED (*directed energy deposition*) e sistema ou fusão em cama de pó – PBF (*powder bed systems / power bed fusion*) (Figura 8).

O processo de desenvolvimento de um modelo por meio da impressão 3D (Figura 9) passa necessariamente pelas etapas de modelagem 3D digital (em softwares específicos), conversão do modelo em formato poligonal (.STL²), conversão do modelo em camadas (.SLI³) e a impressão do modelo propriamente dita, podendo depois receber algum acabamento caso seja necessário.

Segundo Volpato (2017, p. 26-27), as principais vantagens da utilização da AM são: grande liberdade geométrica, pouco desperdício de material e utilização eficiente de energia, não requer dispositivos de fixação, não requer a troca de ferramentas

Figura 8: Tecnologias de impressão 3D (RELVAS, 2018, p. 58).

2 Abreviatura da palavra StereoLithography, embora às vezes também se refira a “Standard Triangle Language” ou “Standard Tessellation Language”. Disponível em <https://all3dp.com/what-is-stl-file-format-extension-3d-printing/>. Acessado em 28.

3 Abreviatura da palavra Slice Layer Interface, que usa um formato de arquivo binário para armazenar os dados da camada cortada. Disponível em <https://datatypes.net/open-sli-files>. Acessado em 28 de março de 2019.

durante a fabricação da peça, utilização de um único equipamento em todo o processo, não são necessários cálculos complexos das trajetórias de ferramentas, rapidez na obtenção de baixa quantidade de componentes (comparados aos processos tradicionais), possível produção de peças finais e potencial de misturar materiais diferentes. E, claro, há também certas limitações que dificultam muitas vezes a viabilização do processo, tais como: diferença entre as propriedades dos materiais obtidos pela AM e pela forma tradicional, precisão e acabamentos inferiores à usinagem, por exemplo, limitação quanto à escolha de materiais que podem ser empregados, custo elevado dos equipamentos no caso das tecnologias de porte industrial, problemas com distorções e empenamento do material e produção de lotes grandes ainda lenta e mais cara, se comparada aos processos tradicionais.

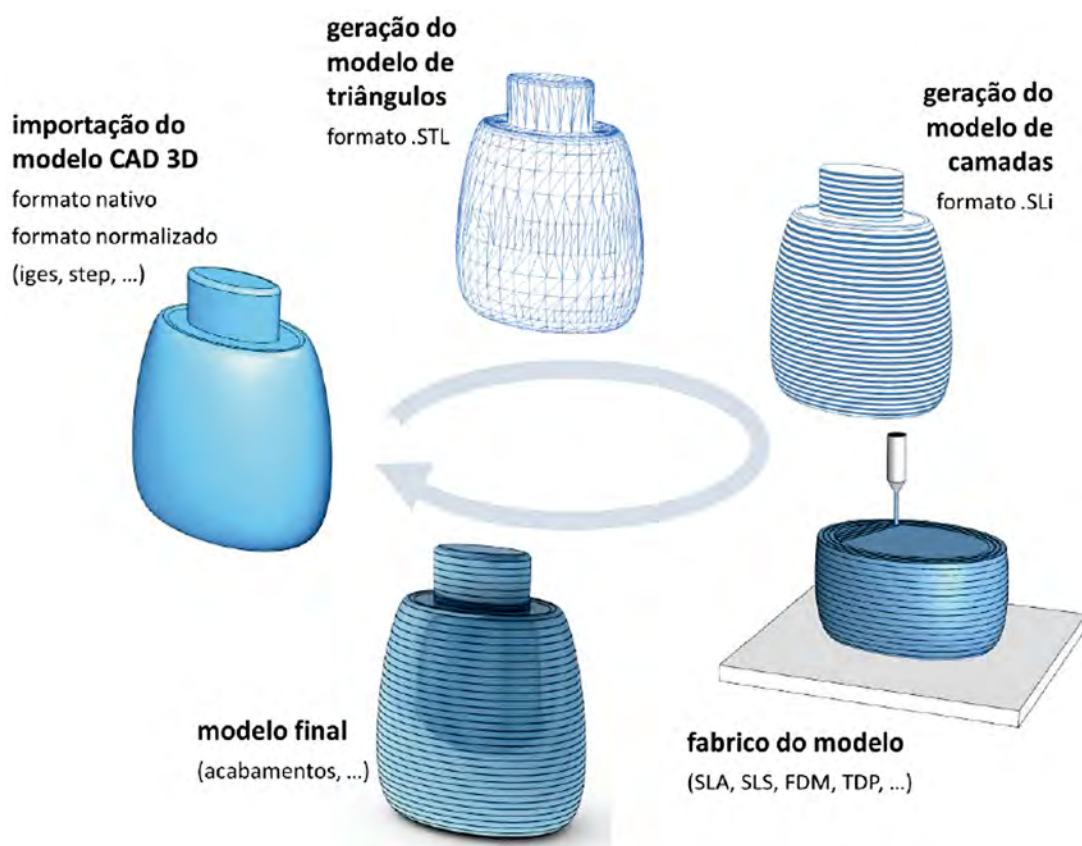


Figura 9: O processo de construção de um modelo por impressão 3D (RELVAS, 2018, p. 30).

A impressão 3D agregou valores inovadores tanto no processo de *design* de produtos como no processo de fabricação industrial. A customização em massa e a construção personalizada abriram portas para possibilidades ilimitadas (SANTANA et al., 2017; PASCOAL e LINO ALVES, 2018; CAMARGO et al., 2019; FERREIRA et al., 2016). Novas capacidades fabris permitem que produtos complexos possam ser produzidos em escala, sem altos investimentos de capital de custo fixo e com um custo variável menor do que os métodos tradicionais. Menor tempo de execução e maior velocidade possibilitam ciclos menores de *design* e de produção, gerando produtos para o mercado mais rapidamente. Com a simplificação da cadeia de suprimentos a produção fica mais próxima do ponto de demanda, com muito menos estoque. E finalmente há uma grande redução de resíduos e muito menos desperdício de material, uma vez que os materiais são recicláveis e podem ser reutilizados para sucessivas impressões (KEARNEY, 2015).

Usualmente, cada método de AM é escolhido sob medida para construir um tipo específico de material (por exemplo plásticos, polímeros, compósitos ou metais) assim como a efetiva deposição e a junção dos materiais podem ser únicas. A escolha da tecnologia e do material mais apropriados vai depender de diversos fatores tais como: as aplicações e funções primárias onde a peça será usada, as características exigidas dos materiais (propriedades mecânicas e térmicas, características físicas, acabamento superficial, resistência, aparência visual), o nível de exatidão e precisão necessárias à peça, o custo-benefício agregado ao produto, a fase de desenvolvimento do projeto ou produto (para apresentar, testar e aperfeiçoar ideias, para validar decisões de melhoria de produtos ou para a produção de uma peça final). Deve-se salientar ainda que atualmente pode-se dispor da mesma tecnologia em equipamento industrial (que podem custar milhares de euros) ou em modelos domésticos, em menor proporção, que podem ser adquiridos por um custo muito mais acessível (RELVAS, 2018, p. 53).

Os diversos processos e tecnologias de fabricação aditiva disponíveis no mercado estão hoje sendo aplicados em uma vasta área de indústrias, como a aeroespacial, automobilística, produtos de consumo, médica, máquinas e equipamentos, construção civil, etc., desde a realização de protótipos conceituais até à obtenção de peças finais e funcionais, utilizando uma variedade de materiais, incluindo plásticos, metais, cerâmica e compósitos. Além disso existem várias questões relacionadas ao *design*, à complexidade, ao tipo de acabamento superficial, ao custo unitário, etc., que condicionam o tipo de tecnologia ou processo selecionado.

Inicialmente a impressão 3D era utilizada potencialmente para a produção de modelos e protótipos (LINO ALVES et al., 2001), mas, atualmente, pode-se observar um grande crescimento da sua aplicação na fabricação efetiva de peças funcionais no processo industrial (COUTINHO et al., 2016; NETO et al. 2017). De acordo com uma recente pesquisa publicada pelo Wohlers Report (2018), realizada com 175 empresas que representam mais de 100 mil usuários de AM em todo o mundo, foram levantados dados sobre como as organizações estão utilizando os sistemas de AM para uma série de aplicações, conforme apresentado na Figura 10.

Vários setores têm se beneficiado do uso dessas tecnologias (automobilístico, aeroespacial, bioengenharia, etc.) e cada vez mais novos campos de aplicação estão surgindo à medida que a AM se torna mais conhecida e acessível (entretenimento, alimentação, produtos customizados, etc). Seguem a seguir alguns exemplos dessas aplicações.



Figura 10: Como as organizações estão utilizando os sistemas de AM (Adaptado de WOHLERS, 2018).

Indústria automotiva - Dispositivos e gabaritos para a linha de montagem (ULTIMAKER, 2019)



Design de Produto - Modelos e protótipos para testes de validação de conceitos (ULTIMAKER, 2019)



Design de Jóias - Matrizes e moldes em pequenas dimensões (ULTIMAKER, 2019)



Saúde - Próteses para as mãos (FERREIRA *et al.*, 2018)



Engenharia - Projeto de peças (ULTIMAKER, 2019)



Alimentação - Produção de doces e biscoitos (FERREIRA, 2016)



Produtos de Consumo - Customização e personalização de peças (NIKE, 2018)



Fabricação - Moldes e modelos padrão (ULTIMAKER, 2019)



Educação - Aprendizagem baseada em projetos (ULTIMAKER, 2019)



Figura 11: Exemplos de aplicações de AM (Fonte: adaptado pelos autores)

A EDUCAÇÃO "MAKER" E O PBL – PROJECT BASED LEARNING (APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS)

O Movimento *Maker* possui um grande potencial para influenciar o modelo educacional. Desenvolve o hábito da experimentação, estimula a curiosidade, a exploração, a colaboração e a conectividade facilitando a aprendizagem e criando um ecossistema de compartilhamento de conhecimento. Enfatiza o valor da experiência prática ("mão-na-massa") redirecionando o processo de aprendizagem onde os alunos sondam, questionam e criam focando no processo de criação físico real. Transforma consumidores em criadores, conectando-os com todo o processo por trás da criação. Democratiza a inovação quando possibilita o acesso às tecnologias automatizadas, novas ferramentas e ideias ao redor do mundo (WOOL, 2014).

Apesar de ter se desenvolvido predominantemente em espaços fora da escola, sempre houve um crescente interesse entre os educadores em levar o Movimento

Maker para o âmbito educacional a fim de melhorar as oportunidades para os estudantes se engajarem nas práticas de *design* e engenharia, especificamente, e nas práticas educacionais relativas ao STEM (integração entre as áreas de ciência, tecnologia, engenharia e matemática) ou STEAM (quando a arte também é incluída) que introduziram políticas educacionais baseadas na inovação por meio da criatividade (MARTIN, 2015).

Em termos teóricos e pedagógicos, o Movimento *Maker* e a fabricação digital estão alinhados a três movimentos principais: o Construcionismo de Seymour Papert, fundador do MIT Media Lab, que desenvolveu a teoria do “aprenda-fazendo” que diz respeito à aprendizagem por meio da construção do conhecimento centrado em grande parte em conexões entre computadores e artefatos do mundo real (DONALDSON, 2014 apud ASEE, 2016); à Educação Experiencial de John Dewey, que defendia a ideia de que a educação deveria ser baseada na experiência de vida, centrada nos estudantes e conectada à vida real (DEWEY, 1902 apud BLIKSTEIN, 2014); e à Pedagogia crítica de Paulo Freire, que se baseava na ideia de que os projetos dos alunos deveriam estar profundamente conectados aos problemas, tanto a nível pessoal como comunitário, e conceber soluções para esses problemas tornar-se-ia uma questão não só educacional mas de empoderamento (FREIRE, 1974 apud BLIKSTEIN, 2014). Além destes, educadores reformistas e progressistas do começo do século XX, como Maria Montessori, Friedrich Fröbel, Johann Heinrich Pestalozzi e Célestin Freinet promoveram também o uso de artefatos físicos e ferramentas na educação (SCHÖN, 2014).

A fim de deixar mais claras as conexões entre o fazer e o aprender, Martin (2015) apresenta sete razões pelas quais o Movimento *Maker* pode ser uma atividade de aprendizagem valiosa:

1. Está alinhado com as demandas curriculares, em particular com as práticas de *design* e engenharia;
2. Dá aos jovens acesso a ferramentas sofisticadas para a construção e o pensamento;
3. Envolve criar coisas, ver como elas se realizam e como podem ser compartilhadas com outras pessoas;
4. É lúdico e altamente tolerante a erros;
5. Defende uma mentalidade de crescimento, onde, dados o esforço e os recursos, qualquer pessoa pode aprender as habilidades necessárias para completar qualquer projeto que possa imaginar;
6. Permite que os jovens escolham o quê e como irão fazer;
7. Ocorre dentro de comunidades de aprendizagem interligadas, abrangendo contextos presenciais e online, e envolvendo pessoas de uma ampla gama de idades e conhecimento.

O Movimento *Maker* tem o potencial de trazer ferramentas e atividades de aprendizagem, criativas, divertidas e relevantes da engenharia e do *design* para um público mais amplo e mais diversificado do que nunca. Isso será benéfico tanto para o Movimento *Maker* quanto para as escolas e salas de aula que adotam esta tomada de decisões (MARTIN, 2015).

Uma das principais maneiras de integrar o fazer e a aprender é por meio da metodologia ativa de aprendizagem conhecida como PBL (*Project-Based Learning*) ou Aprendizagem Baseada em Projetos. A PBL é uma abordagem dinâmica em sala de aula, na qual os alunos exploram ativamente problemas e desafios do mundo real e adquirem um conhecimento mais profundo sobre eles (EDUTOPIA, 2019), enfatizando atividades centradas no aluno e interdisciplinares. A PBL também pode ser considerada como uma das formas mais eficazes para os alunos conhecerem e experienciarem o *design* como participantes ativos (DYM, 2005).

O mercado de consumo tem evoluído e a demanda por produtos inovadores, com novas funcionalidades, melhor qualidade, menor preço, maior desempenho e menor impacto ambiental tem aumentado proporcionalmente, o que tem exigido também uma transformação na forma como esses produtos são projetados e produzidos. Essa demanda acaba impactando na maneira como os *designers* industriais, engenheiros e especialistas em produção desenvolvem os novos produtos. O *design*, por sua visão integradora e holística, acaba fazendo cada vez mais a interface entre áreas distintas, atenuando as fronteiras do conhecimento, exigindo um enfoque na pesquisa e na interação interdisciplinar por meio de equipes compostas por indivíduos de diversas disciplinas/áreas, potencializando o pensamento lateral e novas metodologias mais apropriadas ao contexto em que vivem. Dessa forma a fabricação digital e as novas tecnologias de manufatura aditiva têm surgido, apoiando os processos de *design*, aumentando a produtividade, otimizando os processos digitais, melhorando os procedimentos de validação de conceitos e testes físicos. A necessidade de abrir a academia à realidade da indústria vem mudando a pedagogia docente em alguns cursos, trazendo prioritariamente essa realidade para a universidade por meio do desenvolvimento de projetos em um contexto real (GOMES et. al., 2018).

ESTUDOS DE CASOS

Considerando a importância desta temática, a Universidade do Porto, criou no ano letivo de 2013/14 o programa de Mestrado em *Design* Industrial e de Produto (MDIP), um curso baseado na metodologia da PBL. O programa funciona através de unidades curriculares integradas onde os estudantes desenvolvem diversos projetos simultaneamente sempre tendo como clientes empresas reais que se unem à universidade em parcerias na criação e apresentação dos *briefings* de projeto (CANAVARRO et al., 2017; GOMES et al., 2018). Os estudantes, organizados em grupos e com orientação dos professores têm a oportunidade de se defrontar com problemas e questões reais. Isso cria boas condições para o aprendizado, pois envolve atividades individuais e cooperativas, discussões interativas, teoria e prática. Durante este processo, os estudantes podem desenvolver, além das capacidades profissionais, suas habilidades pessoais, como cooperação e gerenciamento. (GRAAFF e KOLMOS, 2003).

Dentre os projetos desenvolvidos nas unidades curriculares, percebe-se uma aplicação cada vez maior e mais variada dos processos de impressão 3D. A popularização da tecnologia, que se torna cada vez mais acessível até ao grande público, proporciona o surgimento de novas formas de pensar o desenvolvimento de um produto. Entre as competências para o *design* na sociedade contemporânea está o uso interativo de ferramentas, que se relaciona à necessidade de o profissional estar atualizado com as tecnologias, de adaptar ferramentas aos seus próprios propósitos e a conduzir um diálogo ativo com o mundo (KRUCKEN, 2008).

A título de exemplificar a versatilidade da tecnologia no processo de aprendizagem, foram selecionados três projetos desenvolvidos por estudantes do curso, que

aplicam os recursos da impressão 3D através de três abordagens diferentes: 1 - A impressão 3D como recurso de projeto, empregado na produção de um protótipo funcional aplicado em testes de usabilidade; 2 - A impressão 3D como processo de fabricação, através da produção de módulos criados a partir de modelos matemáticos para aplicação na montagem de peças de mobiliário; e 3 - A impressão 3D como princípio, em pesquisa para o desenvolvimento de um sistema de impressão 3D em concreto, para aplicação em produtos de médio e grande porte, e possível aproximação com a construção civil.

A IMPRESSÃO 3D COMO RECURSO DE PROJETO

O primeiro projeto apresentado relata um processo onde a impressão 3D foi utilizada como recurso de projeto, viabilizando a produção de um protótipo funcional e permitindo a realização de testes de usabilidade antes do investimento em moldes ou processos produtivos definitivos, o que representa grande investimento inicial (FREITAS et al., 2019).

O "Boneco Cubo" (Figura 12) é um brinquedo de construção, na forma de um Kit, composto por várias peças (Figura 13) que possibilitam múltiplas construções (Figura 14). É apresentado na forma de dois cubos que representam o corpo e a cabeça de um boneco, o que lhe atribui um caráter amigável. Pretende contribuir para uma melhor integração da criança no ambiente hospitalar ao mesmo tempo que estimula o desenvolvimento cognitivo e sensorial e também pretende atender aos profissionais de saúde como instrumento de avaliação do desenvolvimento infantil.

Figura 12: Boneco Cubo.
Fonte: FREITAS et al., 2019.

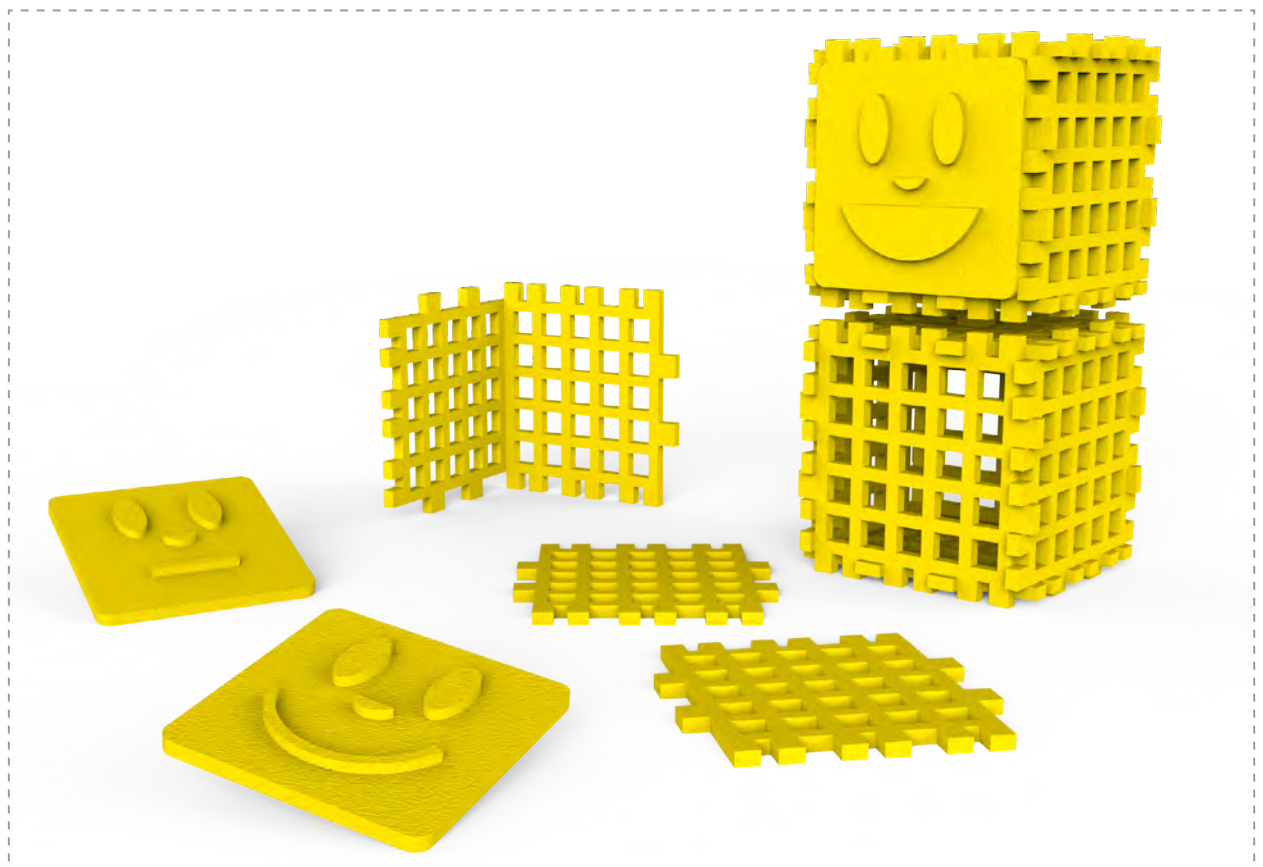


Figura 13: Planificação dos componentes. Fonte: FREITAS et al., 2019.

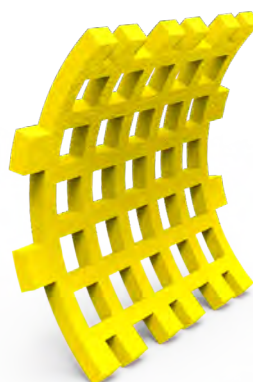
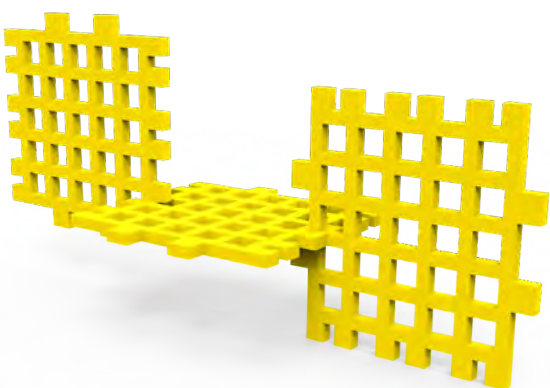
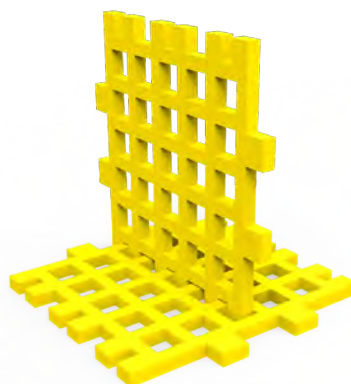
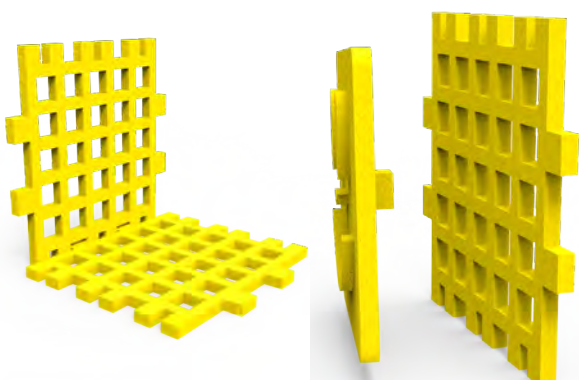
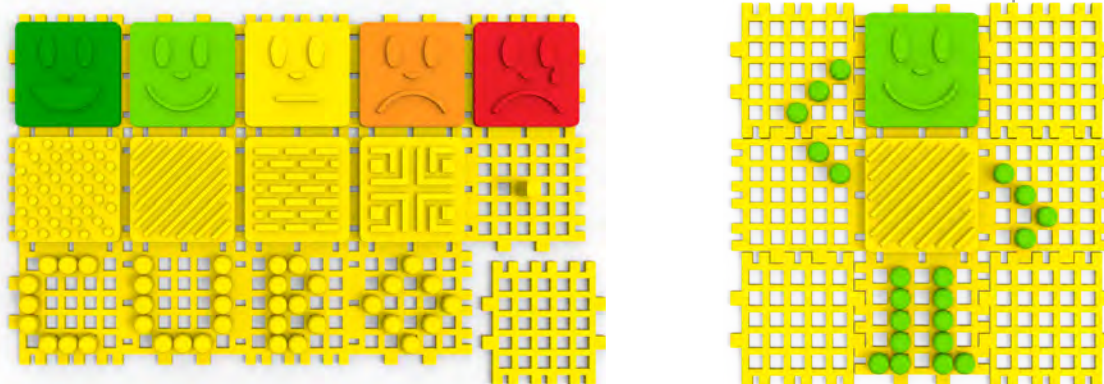


Figura 14: Encaixes possíveis (Fonte: FREITAS et al., 2019).

Com base nas informações coletadas sobre materiais adequados à fabricação de brinquedos para o contexto hospitalar, definiu-se o Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) como material utilizado, e a moldagem por injeção como processo produtivo, por ser rápido e de baixo custo.

Para viabilizar a realização de testes de usabilidade do produto, foi desenvolvido um protótipo funcional em escala real no laboratório de impressão 3D da FEUP, em uma impressora 3D de baixo custo Hello Bee Prusa (BEE *Very Creative*, Aveiro, Portugal) (Figura 15). Todos os componentes foram modelados em 3D, utilizando-se

o *software* SolidWorks 2016–17 e exportados para arquivos STL. Em seguida, esses arquivos foram convertidos em um arquivo *G-code*, que reúne toda a informação necessária ao processo de impressão, como temperatura, posicionamento, trajetórias, etc. Foram utilizados na impressão materiais rígidos como o PLA (Poliácido láctico) e flexíveis como o TPU (Poliuretano termoplástico) e FLEX (Termoplástico elastômero). A impressão de cada peça levou, em média, 50 minutos.

Na primeira fase foram impressas 6 peças, suficientes para a montagem de um cubo completo, a fim de se testar a volumetria e o funcionamento dos encaixes (Figura 16). Este primeiro teste mostrou que o material PLA não era o material adequado, pois apresentava rigidez superior à requerida, o que dificultou os encaixes e poderia ferir as crianças durante a manipulação.

O segundo passo foi imprimir as mesmas peças em um filamento flexível (TPU) para testar as conexões e a flexibilidade. Alguns ajustes de tamanho e espessura foram realizados a fim de garantir o funcionamento do sistema, e o resultado final foi satisfatório, permitindo a produção do protótipo funcional final, composto por 20 peças (Figura 17). As conexões dos rostos e texturas foram impressas em PLA transparente e depois coladas a essas peças.

A produção de um protótipo funcional através da impressão 3D permitiu a apresentação do produto às equipes pediátricas, testes de usabilidade com as crianças e seus pais (Figura 18), e aplicação do brinquedo em sessões de fonoaudiologia e psicologia. Questionários de satisfação foram realizados em cada fase. O projeto também foi apresentado no evento CMIN SUMMIT'17 UP, Portugal, em formato de poster, como meio de disseminação para a comunidade médica (FREITAS et al., 2017).

Figura 15: Impressora 3D de baixo custo Hello Bee Prus (Fonte: FREITAS et al., 2019).

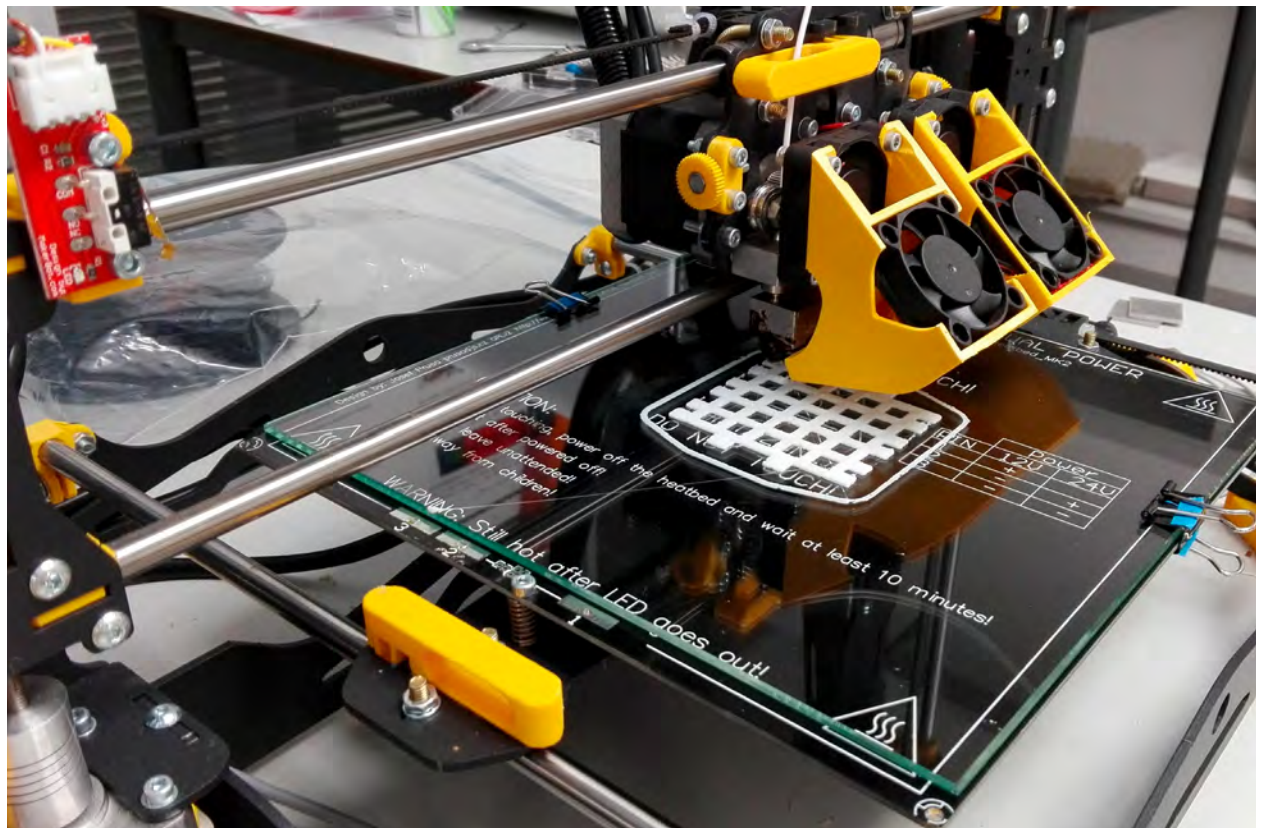


Figura 16: Testes de impressão
(Fonte: FREITAS et al., 2019).

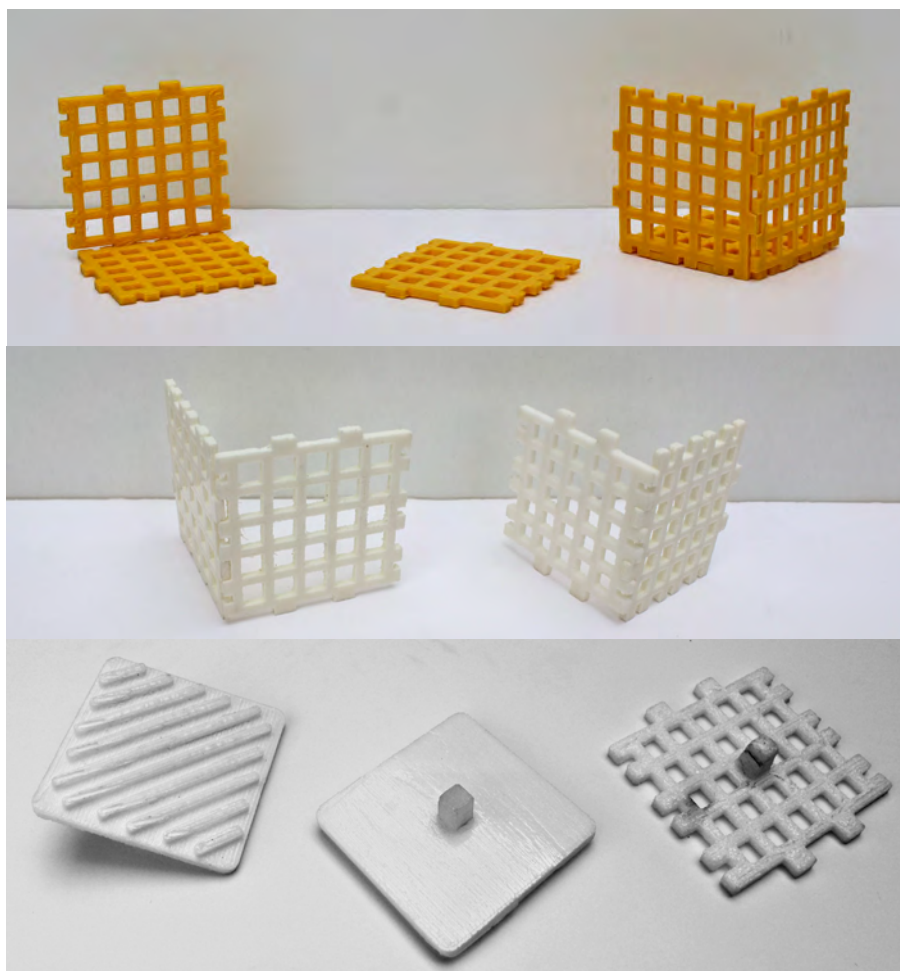


Figura 17: Protótipo final. Fonte:
FREITAS et al., 2019.



Figura 18A e B: Testes de usabilidade. Fonte: FREITAS et al., 2019.





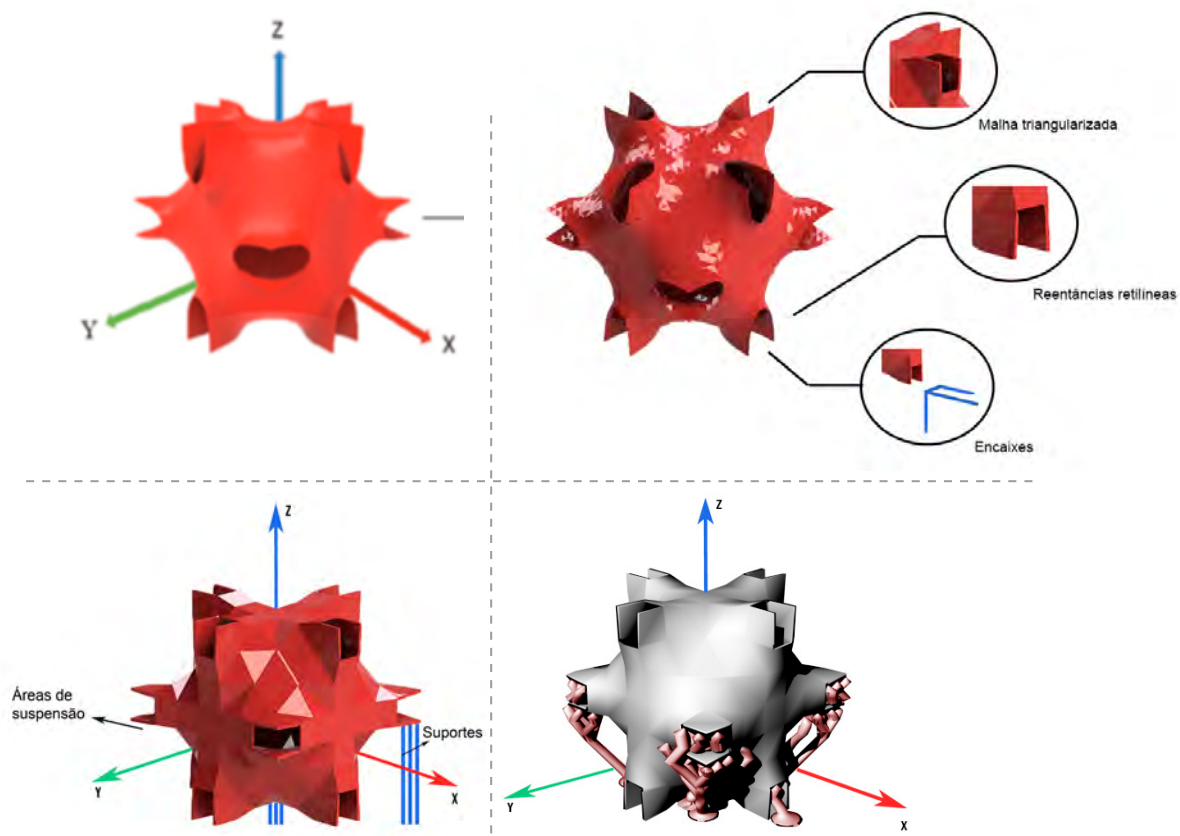
Figura 18C: Testes de usabilidade.
Fonte: FREITAS et al., 2019.

Somente possível devido ao processo de impressão 3D, a produção do protótipo funcional e a realização de testes com o público alvo foi uma fase fundamental no desenvolvimento do produto. Permitiu observar novas formas de utilização atribuídas pelas crianças (utilização das peças como um carimbo, por exemplo, assim como novas possibilidades sugeridas pelos profissionais da área médica (utilização do produto em processos de terapia), melhorando a qualidade final do produto desenvolvido.

4.2. A IMPRESSÃO 3D COMO PROCESSO DE FABRICAÇÃO

O segundo estudo de caso aborda as potencialidades da impressão 3D de baixo custo para a produção de produtos multifuncionais obtidos a partir de modelos matemáticos. Partindo de um exercício de observação, propõe-se uma metodologia de projeto baseada na utilização de modelos matemáticos tridimensionais como base para a produção de peças utilizáveis como componentes para montagem de peças de mobiliário (GUERRA et al., 2018).

A visualização do modelo é o primeiro passo da metodologia, e consiste na seleção de uma forma matemática 3D. A seleção pode ser feita através do software livre K3DSurf, que dispõe de uma grande biblioteca de modelos complexos. Na segunda etapa, o processo criativo ocorre por meio de *sketches*, esboços e representações virtuais, onde o *designer* busca relacionar a forma do modelo selecionado a uma atribuição funcional. O terceiro estágio fundamenta-se no tratamento dos modelos obtidos em *software* matemático, uma vez que estes caracterizam-se por superfícies, isto é, elementos sem espessuras e que, portanto, precisam de ser transformados num arquivo (tipo STL, por exemplo) capaz de ser fatiado pelas plataformas de planejamento do processo de impressão 3D.



Neste projeto, a geometria 3D baseada no modelo matemático Holes (Figura 19), foi utilizada para o desenvolvimento de elementos a serem utilizados como conexão entre partes. Características naturais do modelo, como furos, reentrâncias, e a simetria ao longo dos três eixos principais (X, Y e Z), foram fatores determinantes para a opção por este conceito na aplicação estudada.

Foram realizadas alterações no modelo ao longo dos eixos X, Y e Z, buscando melhor adequação da forma à funcionalidade proposta, facilitando a fixação de outros componentes (Figura 20). Outra alteração importante foi a geometrização da forma, através da edição do modelo e criação de uma malha triangular (Figuras 21 e 22) na qual as formas curvas dos encaixes assumiram uma forma retilínea, facilitando a fixação a outros elementos.

As peças foram fabricadas em PLA, com um filamento de 1,75mm de diâmetro, numa impressora 3D *MakerBot Replicator 2x*. Foram impressas 13 peças, sendo o tempo de impressão de cada uma aproximadamente 2 horas e 4 minutos, utilizando-se aproximadamente 13g de PLA por peça.

Após a definição dos módulos, foram estudados os pormenores de fixação às placas de madeira (Figura 23), no intuito de se obter uma estante modular. Foram fabricadas peças em contraplacado com encaixes adequados às dimensões dos modelos produzidos (Figuras 24 e 25).

O protótipo foi construído utilizando-se doze peças de conectores e sete peças de contraplacado, sendo três para as prateleiras e quatro para as laterais. Após a construção foram realizados testes de usabilidade, onde a rigidez estrutural da estante foi avaliada. Foram distribuídos objetos sobre as prateleiras, aumentando-se o peso

Figura 19: Representação da forma "Holes". Fonte: GUERRA et al., 2018.

Figura 20: Modelo matemático original e alterações introduzidas na sua geometria, para obter uma malha triangularizada e reentrâncias retilíneas, que favorecem o encaixe de outros elementos. Fonte: GUERRA et al., 2018.

Figura 21: Modelo 3D com a indicação das áreas de suspensão e pontes presentes na geometria da peça. Fonte: GUERRA et al., 2018.

Figura 22: Orientação e construção dos suportes. Fonte: GUERRA et al., 2018.

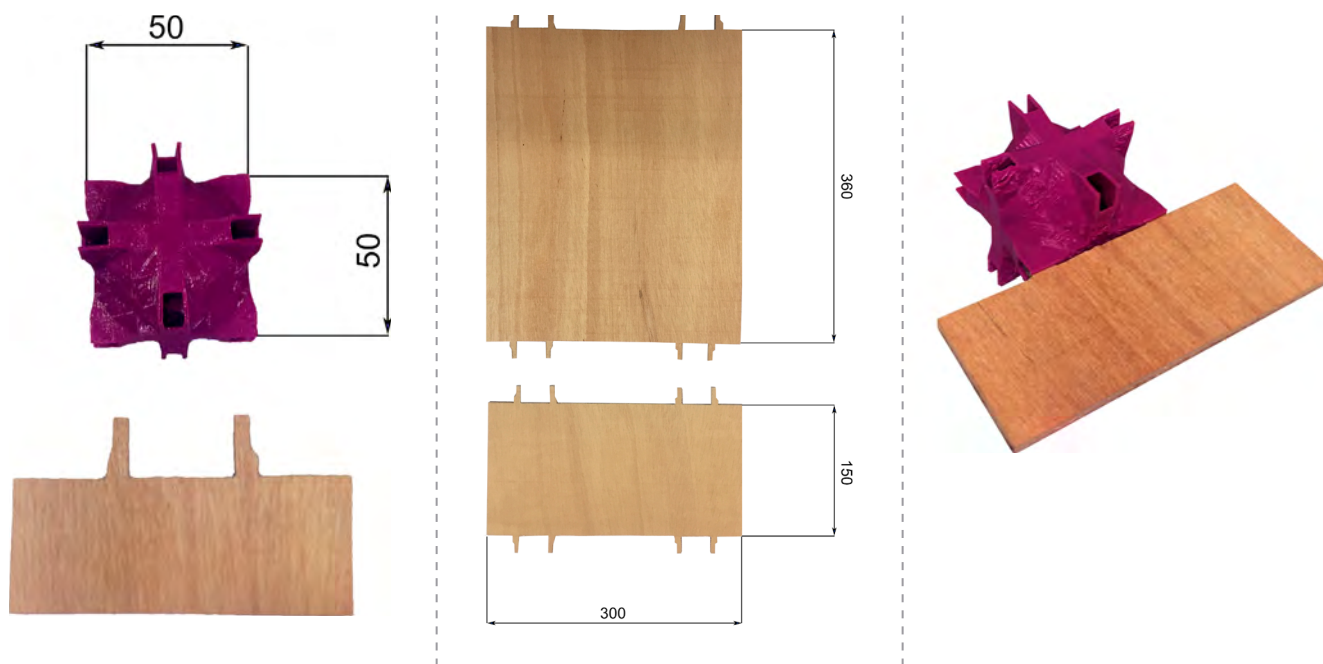


Figura 23: Componentes em madeira da estante (Fonte: GUERRA et al., 2018).

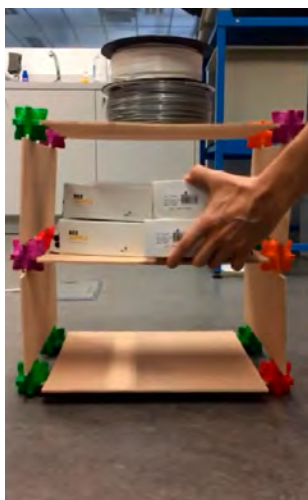
Figura 24: Componentes em madeira da estante (Fonte: GUERRA et al., 2018).

Figura 25: Detalhe do encaixe entre o módulo e a peça em madeira (Fonte: GUERRA et al., 2018).

Figura 26: Teste da estante até o colapso (Fonte: GUERRA et al., 2018).

gradualmente. À medida que a carga aumentou, registrou-se a deformação das placas de madeira. O mobiliário resistiu até uma carga aproximada de 5 kg, colapsando com 8 kg (Figura 26).

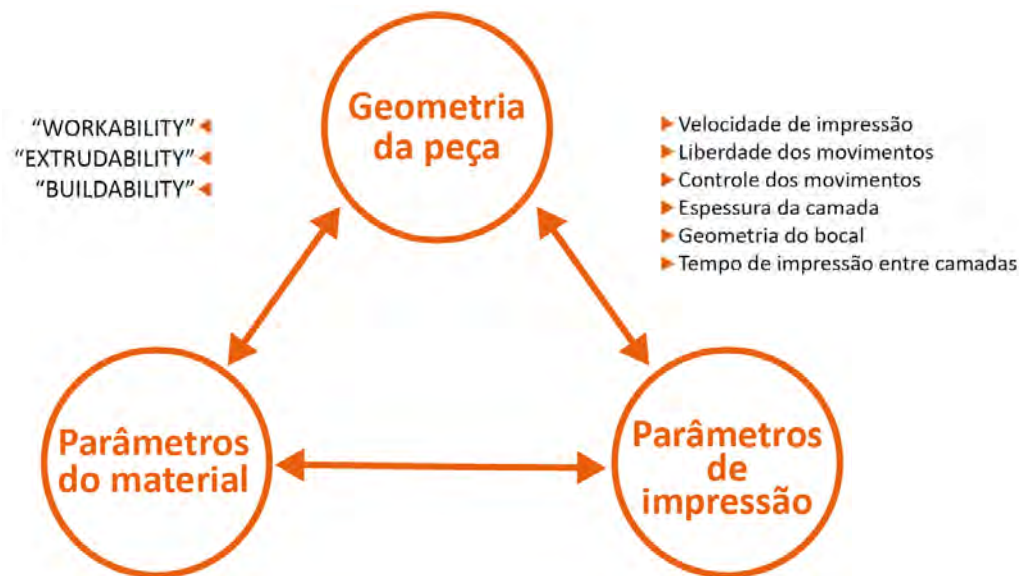
Este projeto pretendeu testar a tecnologia da impressão 3D como processo de fabricação de elementos originados a partir de equações matemáticas e *softwares* de acesso livre, para serem aplicados como elementos conectores em um sistema modular e flexível. A partir dos testes realizados foi possível identificar limitações que devem ser aperfeiçoadas a fim de garantir a viabilidade do produto. Porém, os resultados obtidos indicam que o trabalho realizado é promissor, uma vez que ficou evidenciado que o exercício de imaginação, a utilização de fórmulas matemáticas e o processo de impressão 3D de baixo custo permitem desenvolver sistemas funcionais para aplicações variadas.



A IMPRESSÃO 3D COMO PRINCÍPIO

O terceiro estudo de caso apresenta a criação de um sistema de extrusão com o objetivo de aplicar o princípio da impressão 3D na construção em concreto, eliminando a necessidade de uso de moldes e promovendo conceitos de sustentabilidade, assim como de liberdade formal (TEIXEIRA et al, 2018).

Os parâmetros que influenciam a qualidade da impressão (Figura 27) estão relacionados à geometria da peça, características do material e da impressão, e foram considerados no desenvolvimento deste projeto para a definição da estrutura do extrusor, a composição da argamassa e o funcionamento do equipamento.



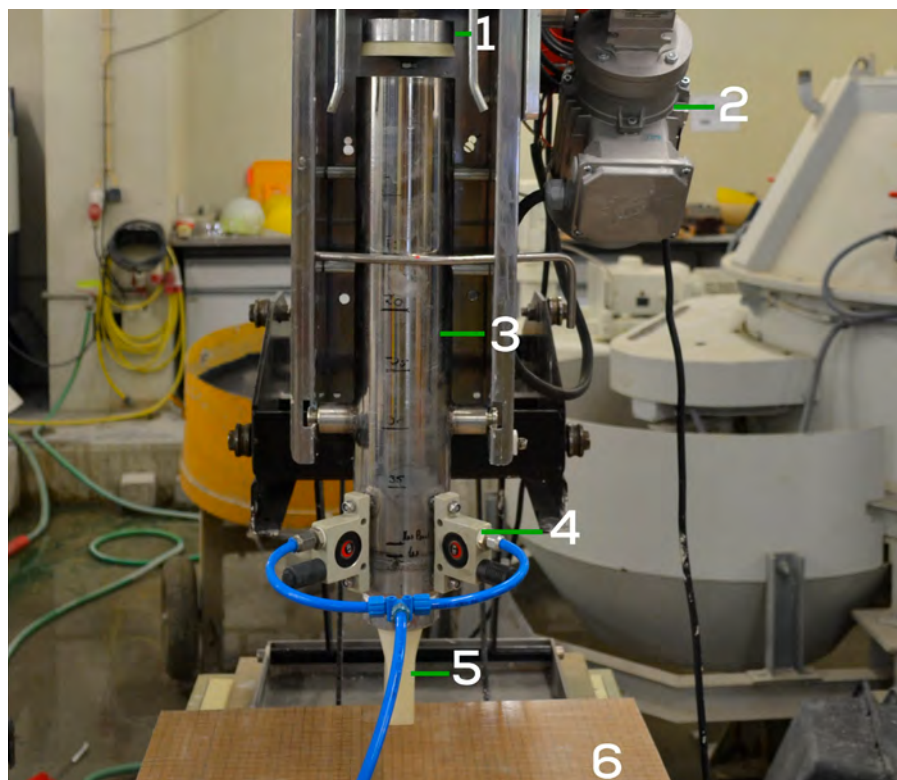
O sistema criado apresenta um princípio de funcionamento semelhante a uma seringa, com capacidade para cerca de 5kg de material. O material depositado num cilindro é forçado a sair de forma mecânica através do acionamento de um pistão (Figura 28). O equipamento possui junto ao bocal dois atuadores pneumáticos, que vibram o material no momento da saída. O acoplamento dos bocais ao extrusor é feito através de uma rosca que permite a troca com facilidade. Diferentes bocais podem ser utilizados, variando-se o resultado formal da extrusão proporcionada.

Figura 27: Fatores que influenciam a impressão. Fonte: TEIXEIRA et al, 2018).

Quanto ao material, estudos foram realizados em busca dos melhores requisitos para o cimento a fim de garantir uma extrusão de qualidade. Tendo em vista que na impressão 3D a construção do objeto é feita através da deposição de camadas, o material necessita apresentar características de trabalhabilidade para garantir o fluxo interno no equipamento e o endurecimento logo após a extrusão, possibilitando a deposição de camadas sucessivas e a construção de formas. Os requisitos habitualmente associados à "printability" do material são: "workability", "buildability", "extrudability" (Tabela 1).

Para a definição da composição da argamassa utilizada, foram consideradas fórmulas já existentes encontradas na literatura sobre o tema, geralmente uma mistura de cimento e outras adições pozolânicas, além do frequente uso de superplastificantes e adjuvantes retardadores. A fim de testar as propriedades desejadas, foram realizados ensaios de espalhamento e impressão de filamentos ao longo do tempo.

Figura 28: Principais componentes do sistema de impressão. Fonte: TEIXEIRA et al, 2018.



1 - Pistão
2 - Motor
3 - Corpo

4 - Atuador Pneumático
5 - Bocal
6 - Mesa de Impressão

“PRINTABILITY”

“WORKABILITY”



Trabalhabilidade do material após o fim da amassadura, propriedade que afeta diretamente seu transporte ao longo do processo de impressão. Essa propriedade varia ao longo do tempo e é afetada por fatores ambientais como temperatura e umidade.

“BUILDABILITY”



Desenvolvimento da microestrutura do material e ganho de resistência ao longo das primeiras idades, que assegura o empilhamento sucessivo de camadas sem deformação excessiva. Quanto melhor a “Buildabilidade” do material, menor o risco de construções mais altas colapsarem.

“EXTRUDABILITY”

Características que asseguram a deposição de filamentos contínuos e estáveis, através de um bocal. Materiais com má “Extrudabilidade” originam bloqueios no sistema ou interrupções no filamento.

Tabela 1: Requisitos para impressão 3D com materiais cimentícios. (Fonte: adaptado de TEIXEIRA et al, 2018).

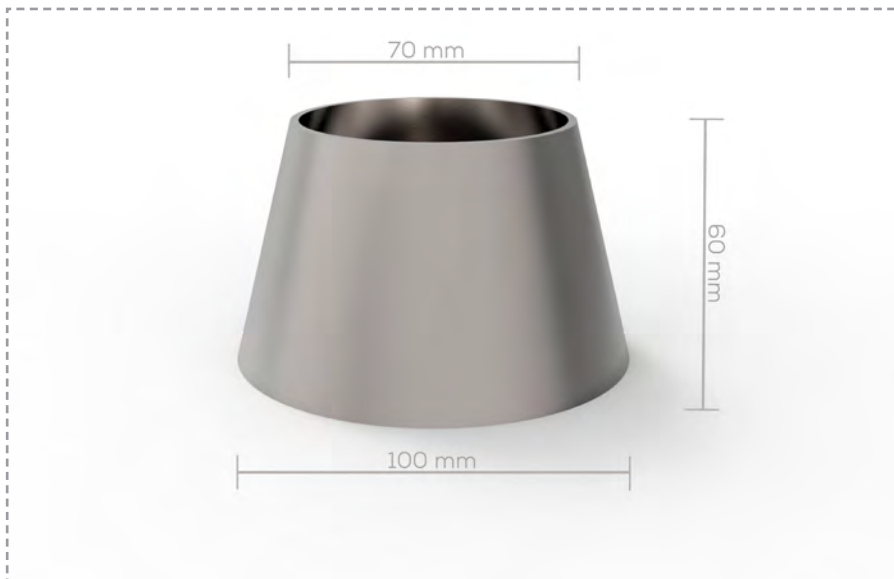


Figura 29: Molde cônico e teste de espalhamento sendo realizado. (Fonte: TEIXEIRA et al., 2018)



O ensaio de espalhamento consiste no enchimento de um molde cônico (Figura 29) com o material a ser testado que em seguida é levantado perpendicularmente à superfície em que se encontra apoiado. O material será então liberado, espalhando-se na superfície. Quando o movimento parar é medido o espalhamento provocado, encontrando-se o índice de deformabilidade da argamassa.

Os resultados obtidos levaram à conclusão de que ao longo do tempo existe perda de fluidez, sendo que o material deixa de ser capaz de se deformar sem a ajuda de energia externa ao fim de cerca de 25 min.

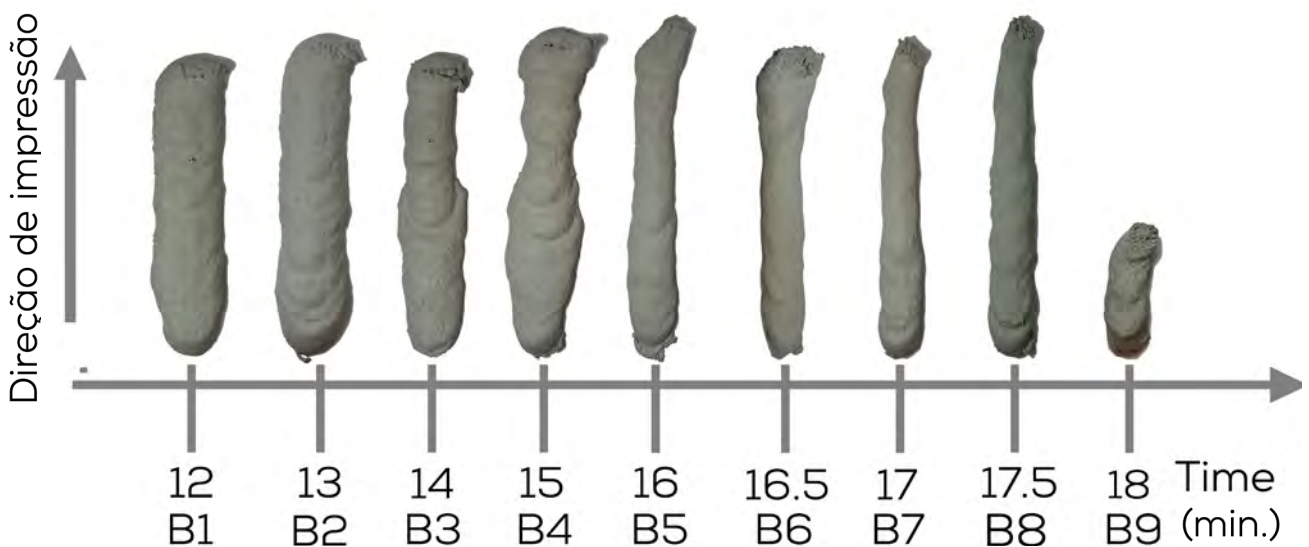
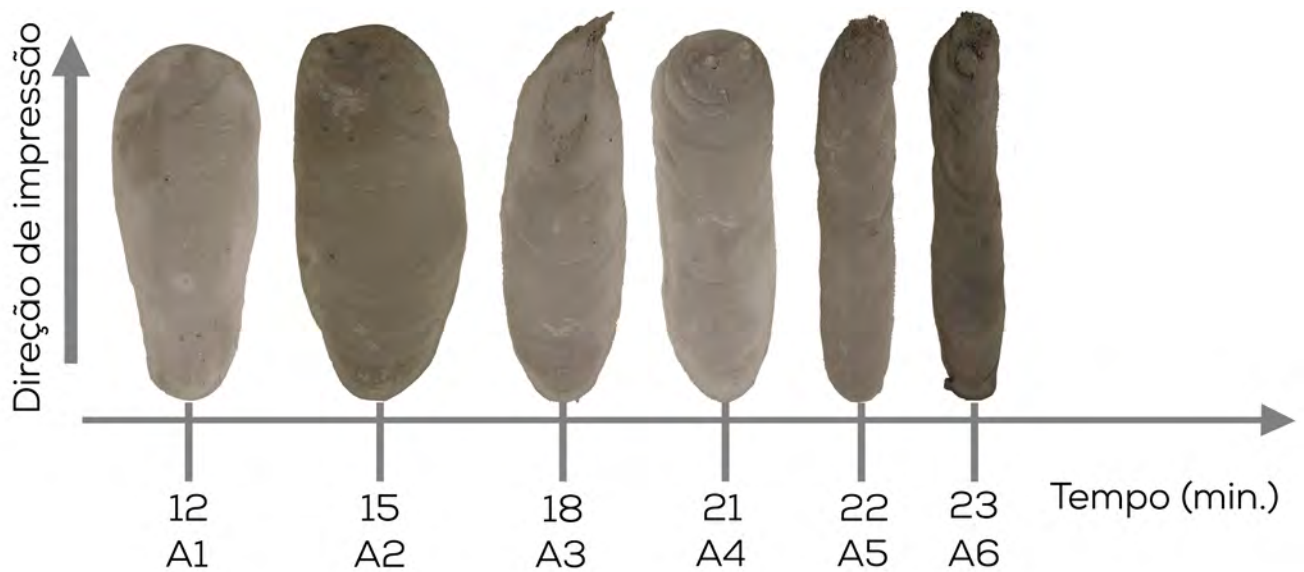
O segundo teste, de impressão de filamentos ao longo do tempo, foi realizado com dois tipos de argamassa (A e B), que apresentam a mesma composição, porém, na argamassa B foram acrescentados 2% de fibras metálicas do tipo Krampharex, comprimento 6 mm, diâmetro 0,175 mm, peso específico 7850 kg/m³ e resistência a tração 2100 MPa.

Figura 30: Teste com a argamassa A. (Fonte: TEIXEIRA et al, 2018).

Os resultados do teste (Figuras 30 e 31) demonstram que a argamassa B tem menor fluidez que a argamassa A no mesmo período. É possível então concluir que a inclusão das fibras aumenta a "buildability" do material.

Figura 31: Teste com a argamassa B (2% acrescentados de fibras metálicas de 6mm). (Fonte: TEIXEIRA et al, 2018).

Após a realização dos testes avaliando a composição da argamassa, foi avaliada a "printability" da argamassa B, através da impressão de um produto (vaso) (Figura 32). Para o teste (Figura 33) foi adaptado ao sistema uma mesa giratória, que permitiu a impressão do vaso no formato cilíndrico, através da movimentação da superfície. O produto final foi construído com 12 camadas, altura final de 110 mm, diâmetro 160 mm, representando uma primeira etapa para futuro desenvolvimento desta tecnologia, com um sistema mais automatizado.



Os resultados obtidos demonstram que as propriedades do material conferem ao produto final grande resistência a impactos e desgastes naturais. O processo de impressão 3D apresenta muitas vantagens do ponto de vista ecológico e econômico, como a possibilidade de impressão de formas livres e orgânicas sem a necessidade de moldes, o que pode reduzir drasticamente o preço final da construção assim como o desperdício de materiais.

Figura 32: Produto final. (Fonte: TEIXEIRA et al, 2018).

Figura 33: Processo de impressão do vaso utilizando a argamassa B. (Fonte: TEIXEIRA et al, 2018)



CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Movimento *Maker*, a fabricação digital (representada pela tecnologia de impressão 3D) e o ensino de projetos por meio da metodologia de PBL, acabam se conectando e se encadeando num processo onde cada um assume um papel importantíssimo nessa (r)evolução: movimento *maker* = forma de pensar e agir, fabricação digital = forma de fazer e construir e o PBL = forma de ensinar e aprender.

O Projeto Integrado é uma abordagem metodológica com vantagens consideráveis no desenvolvimento de produtos, favorecendo um ambiente integrado em que indivíduos de diferentes áreas do conhecimento contribuem em conjunto para uma solução de produto válida, justificada por vários critérios transversais a várias áreas. É impensável a dissociação entre *design*, engenharia, ergonomia e outras áreas do saber no desenvolvimento de produtos. Na verdade, o mercado exige que as empresas têm que se adaptar a essas novas demandas: produtos melhores e personalizados, pequenas séries, melhor qualidade, melhor desempenho, preços mais baixos e menores prazos de entrega.

A aplicação do PBL no ambiente acadêmico, particularmente em cursos *design* industrial e de produtos, é uma tendência positiva que permite ao processo de aprendizagem uma maior profundidade. Em particular, uma resposta mais eficiente no desenvolvimento de produtos e, conseqüentemente, uma maior preparação dos estudantes para os novos requisitos do mercado.

Como demonstrado nos estudos de caso, a impressão 3D é uma ferramenta fundamental como recurso de projeto contribuindo de forma eficiente em diferentes momentos, desde apoio na prototipagem, testes de usabilidade ou como processo produtivo. Tal capacidade de flexibilização de aplicações enriquece o desenvolvimento à medida em que permite ao estudante ter acesso ao resultado final de sua proposta, permitindo uma maior e mais profunda reflexão acerca dos resultados.

As ferramentas acompanham o desenho que marca o *design* de cada época numa visceral cumplicidade. E nas escolas de *design*, engenharia e arquitetura, é importante que esta cumplicidade entre tecnologia e *design* seja o reflexo, não só do conhecimento científico, mas também dos avanços tecnológicos da indústria, para que os estudantes, ao ingressarem no mundo profissional estejam munidos das ferramentas mais atualizadas. Se durante a sua experiência acadêmica tiverem uma grande aproximação com os vários instrumentos de concepção e comunicação disponíveis, poderão, quando começarem a sua carreira, os ter perfeitamente dominados e interiorizados. Tal como Glen Gould ensaiou incansavelmente as Variações de Goldberg, para que o piano revelasse a mestria e o virtuosismo da sua interpretação.

É possível concluir, assim, que a integração de uma metodologia interdisciplinar de *design* no desenvolvimento de novos produtos, permite alcançar soluções inovadoras e funcionais, criando uma relação de partilha, tanto de conhecimento como de metodologias, entre *design* e engenharia. Ao fornecer ao *designer* um maior número de informações, a sua criatividade é aprimorada, resolvendo assim os problemas de forma inovadora e completa.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio dos seguintes programas: Financiamento de Base - UIDB/04708/2020; Financiamento Programático - UIDP/04708/2020 do CONSTRUCT - Instituto de I&D em Estruturas e Construções; Financiamento de Base - UIDB/00145/2020 do CEAU - Centro de Estudos de Arquitectura e Urbanismo - ambos financiados por fundos nacionais portugueses através da FCT/MCTES (PIDDAC); e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Os autores agradecem a todos os estudantes do Mestrado de Design Industrial e de Produto da Universidade do Porto, em particular ao João Teixeira, à Teresa Freitas e ao Raphael Guerra.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, Chris. **Makers: The New Industrial Revolution**. Crown Business, 2012. 262 p.

ASEE - *American Society for Engineering Education*. **Envisioning the Future of the Maker Movement: Summit Report**. Washington, DC. 2016.

ISO / ASTM 52900-15. Standard Terminology for Additive Manufacturing – General Principles – Terminology. **ASTM International**, West Conshohocken, PA, 2015.

BLIKSTEIN, Paulo. Digital Fabrication and 'Making' in Education: The Democratization of Invention. In: J. Walter-Herrmann & C. Büching (Eds.), **FabLabs: Of Machines, Makers and Inventors**. Bielefeld: Transcript Publishers, 2013.

CAMARGO, Lídia; ROLO, Nuno R.; LINO ALVES, Jorge. Design Generativo e Impressão 3D Aplicados ao Desenvolvimento de Mobiliário, **Revista Robótica**, n. 115, 2º trimestre, 2019.

COLLABO. **A Indústria 4.0 e a Revolução Digital**. E-book. 2019.

COUTINHO, Filipe R.; LINO ALVES, Jorge; FARO, Tiago Brito e. Fabrico Aditivo Metálico – Desenvolvimento de uma Solução Industrial para Peças de Grandes Dimensões, **Tecnometal 227**, pp.10-17, novembro/dezembro de 2016.

DIAS, Valéria. Automação rompe limites entre digital, físico e biológico. **Jornal da USP – Tecnologia**. 2018.

DUARTE, Teresa. Desenvolvimento de uma Impressora 3D Híbrida para Gesso, Areia e Resinas Termoendurecíveis, **Tecnometal 230**, pp. 8-16, maio/junho de 2017.

DYM, Clyde L.; AGOGINO, Alice M.; ERIS, Ozgur; FREY, Daniel D.; LEIFER, Larry J. Engineering design thinking, teaching, and learning. In: **Journal of Engineering Education**, 2005. P. 103–120.

EDUTOPIA. **Project-Based Learning**. 2019.

FERREIRA, Daniel; DUARTE, Teresa, LINO ALVES; Jorge, FERREIRA; Isaac, Development of Low-Cost Customized Hand Prostheses by Additive Manufacturing, In: **Plastics, Rubber and Composites: Macromolecular Engineering**, Vol. 47 [1], pp. 25-34, 2018.

FERREIRA, Isaac A.; LINO ALVES, Jorge. Impressão 3D de Baixo Custo Aplicada à Pasta de Açúcar, **Revista Robótica**, 102, 1º trimestre, pp. 30-32, 2016.

FREITAS T., RANGEL B., ALVES J.L. The Toy as a Factor of Better Children's Integration in Hospitalization Context. In: SILVA L. (eds). **Materials Design and Applications II**. Advanced Structured Materials, vol 98. Springer, Cham, 2019.

GERSHENFELD, Neil. How to Make Almost Anything. The Digital Fabrication Revolution. In: **Foreign Affairs**. Vol. 91, No 6. 2012.

GERSHENFELD, Neil; GERSHENFELD, Alan e CUTCHER-GERSHENFELD, Joel. **Designing Reality: How to Survive and Thrive in the Third Digital Revolution**. Basic Books, 2017. 304 p.

GOMES, Ângela; RANGEL, Bárbara; CARNEIRO, Vitor e LINO, Jorge. Learning by Doing Integrated Project Design in a Master Program on Product and Industrial Design. pp 105-134. NASCIMENTO, M. ALVES, G. MORAIS, E. (eds.). In: **Contributions to Higher Engineering Education**. Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2018.

GRAAFF, Erik de; ANETTE Kolmos. Characteristics of Problem-Based Learning. In: **International Journal of Engineering Education** 19 (5):657-662. 2003.

GUERRA, Raphael; SANTANA, Leonardo; LINO, Jorge. Aplicação de modelos matemáticos no fabrico aditivo de componentes para mobiliário. **Tecnometal**, nº 240 (Jan/Fev 2019). AIMMAP - Associação dos Industriais Metalúrgicos, Metalomecânicos e Afins de Portugal. Pág.12-20. Porto, 2019.

HATCH, Mark. **The Maker Movement Manifesto: Rules for Innovation in the New World of Crafters, Hackers, and Tinkerers**. Mcgraw-Hill, 2013.

HIPPEL, Eric von. **Democratizing Innovation**. Cambridge, Massachusetts / London, England: The MIT Press, 2005.

JORGE NETO, Rui; CASTELLANOS, Santiago; PEREIRA, João P.; LINO ALVES, Jorge; KEARNEY Inc., A. T. **3D Printing: A Manufacturing Revolution**. 2015.

KEATING, Steven. **Beyond 3D Printing: The New Dimensions of Additive Fabrication**. In: FOLLETT, Jonathan (Ed.), *Designing for Emerging Technologies: UX for Genomics, Robotics, and the Internet of Things* (379-405). O'Reilly Media, 2014.

KRUCKEN, Lia. Competências para o *design* na sociedade contemporânea. In: **Cadernos de Estudo Avançados em Design**, Caderno 2, v. 1 (jul. 2008). Editora Santa Clara: Belo Horizonte, 2008.

LINO ALVES, Fernando J.; BRAGA, Fernando J. S.; SIMÃO, Manuel S.; LEMOS NETO, Rui Jorge de; DUARTE, Teresa M. G. P. **PROTOCLICK - Prototipagem Rápida**. Porto: Protoclick, INEGI, fevereiro de 2001.

MARTIN, Lee. The Promise of the Maker Movement for Education". *In: Journal of Pre-College Engineering Education Research (JPEER)*: Vol. 5: Iss. 1, Article 4. 2015.

OTÁÑEZ, Alex. **Understanding the Impacts of the Fourth Industrial Revolution**. Shockoe. 2017.

PASCOAL, Arlindo; LINO ALVES, Jorge. Suporte de Telemóvel para Bicicleta com Power Bank, **Revista Robótica**, n. 113, 4º trimestre, pp. 30-32, 2018.

RELVAS, Carlos. **O Mundo da Impressão 3D e o Fabrico Digital**. Quântica Editora. Engebook, 2018.

SANTANA, Leonardo; LINO ALVES, Jorge; SABINO NETTO, Aurélio da C. Impressão 3D: Os Desafios da Utilização de Máquinas de Baixo Custo no Fabrico de Conexões Snap-Fit, **Revista Robótica**, n. 107, 2º trimestre, pp. 22-25, 2017.

SCHÖN, Sandra. The Maker Movement. Implications of new digital gadgets, fabrication tools and spaces for creative learning and teaching. *In: eLearning Papers*, nº 39. 2014.

TEIXEIRA, João; et al. "Impressão 3D com extrusão de material cimentício. *In: Construção*, 2018.

ULTIMAKER. **All stories**. 2019.

VOLPATO, NERI (org.). **Manufatura Aditiva: Tecnologias e Aplicações da Impressão 3D**. São Paulo: Blucher, 2017. 400 p.

WOHLERS ASSOCIATES. Wohlers Report 2018. 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry. **Annual Worldwide Progress Report**. 2018.

WOOL, Maggie (ed.). **Impact of the Maker Movement**. *Deloitte Center for the Edge and Maker Media from the Maker Impact Summit*, Dec. 2013/2014.

