

Prototipagem rápida no ensino de design
Additive manufacturing (AM) in design learning

Karina Bontempo, Mônica Moura, Denilson Santos, Gisele Saraiva, Raimundo Diniz & Rubenio Barros

design, ensino de design, prototipagem rápida, fabricação digital.

Atendendo as novas necessidades de projeto, mais precisos e complexos em formas e soluções, surgem diversas tecnologias inovadoras de fabricação, que vêm modificando a forma de projetar. A Prototipagem Rápida (PR) consiste em materializar de forma direta modelos digitais concebidos em *softwares* CAD (*Computer Aided Design*) de maneira rápida e precisa, viabilizando testes de funcionalidade com maior eficiência. Aplicada ao ensino do design, esta tecnologia impulsiona o aprendizado, bem como oferece maior liberdade ao estudante e ao pesquisador, permitindo identificar precocemente possíveis falhas e viabilizar o aperfeiçoamento constante. Esse estudo tem o objetivo de analisar os impactos da introdução da PR no Curso de Design da Universidade Federal do Maranhão - UFMA, como elemento auxiliador no processo de projeção, manufatura e inovação. O uso desta tecnologia tem contribuído e impulsionado o ensino e a pesquisa nesta instituição, sendo adotada em diversas disciplinas, projetos de pesquisa e Trabalhos de Conclusão de Curso - TCC.

design, design learning, additive manufacturing (am), digital manufacturing.

In now our days, there are several innovative manufacturing technologies in order to satisfy new design needs with more precise, rigorous and complex solutions, which have been changing the way of designing learning. Additive Manufacturing (AM) consists of materializing digital models directly from CAD software (Computer Aided Design) quickly and accurately, enabling functionality tests with greater efficiency. Once applied to the design learning, this technology can stimulate the studying of this subject, can allowed create freedom for the student and the researcher and also help to find mistakes easily, and as consequence, enabling constant and rapidly improvement. This study aimed at introducing AM in the Design Course of the Federal University of Maranhão UFMA, as an auxiliary element in the design, manufacturing and innovation process. The use of this technology has contributed and propelled the teaching and the research in the present time, being adopted in diverse disciplines, research projects and monography.

1 Introdução

Segundo o relatório 'O Futuro do Trabalho 2018', do Fórum Econômico Mundial, estamos vivendo a quarta revolução industrial. Novamente, e cada vez mais, o trabalho do homem vem sendo substituído por máquinas e sistemas. Setores de energia e bens de consumo, trabalho físico e manual, que já registram 38% e 30% respectivamente das tarefas realizadas por máquinas e algoritmos, em 2022, chegarão a 56% e 50%. A impressão 3D está entre as 15 tecnologias que irão transformar o emprego no mundo. 41% das empresas no mundo e 49% no Brasil, em diferentes áreas, pretendem investir na impressão 3D até 2022 (World Economic Forum [WEF], 2018, p.17).

Por outro lado, novas formas de trabalho e atividades estão surgindo. Portanto é crucial promover a formação no sentido de desenvolver novas competências nos futuros profissionais, não só no sentido de acompanhar as transformações tecnológicas, mas de intervir e propor inovações a partir do domínio destas.

Na área de design de produtos, as características das formas contemporâneas: fluidas, livres, com elevada complexidade estrutural, exigem ferramentas que viabilizem sua execução.

Anais do 9º CIDI e 9º CONGIC

Luciane Maria Fadel, Carla Spinillo, Anderson Horta, Cristina Portugal (orgs.)

Sociedade Brasileira de Design da Informação – SBDI

Belo Horizonte | Brasil | 2019

ISBN 978-85-212-1728-2

Proceedings of the 9th CIDI and 9th CONGIC

Luciane Maria Fadel, Carla Spinillo, Anderson Horta, Cristina Portugal (orgs.)

Sociedade Brasileira de Design da Informação – SBDI

Belo Horizonte | Brazil | 2019

ISBN 978-85-212-1728-2

Plásticas antes limitadas pelos processos produtivos, agora experimentam uma liberdade sem precedentes.

Na impressão 3D os modelos digitais são concebidos em softwares CAD (*Computer Aided Design*) e enviados para o equipamento que realiza a materialização após sucessivas camadas de material que são justapostas e fundidas. Essa tecnologia aplicada ao ensino do Design facilita ao aluno experimentar as alternativas de soluções durante o processo de projeto. Assim, 'novas abordagens devem ser pensadas e trazidas para os métodos de Design, e estes, necessitam ser revistos para representar as novas formas de projeto, bem como as novas possibilidades de atuação do designer' (Monteiro, 2015, p.123).

O uso desta tecnologia tem contribuído e impulsionado o ensino e pesquisa no Curso de Design da Universidade Federal do Maranhão, desde a sua introdução em 2015, sendo adotada em diversas situações.

O objetivo dessa pesquisa é identificar e analisar a adoção da impressão 3D no Curso de Design / UFMA, entre 2015 e 2018, como elemento auxiliador no processo de projeção, manufatura e inovação.

Para tal, foi necessário realizar revisão da literatura específica; estudo das principais possibilidades de aplicação da tecnologia; levantamento da utilização da impressão 3D no período dado; avaliação dos avanços e possíveis limitações da implementação da tecnologia no ensino do Design/UFMA.

A fim de sistematizar a análise, este trabalho destaca as seguintes situações de aplicação: disciplinas da graduação intituladas Computação Gráfica Tridimensional I e Embalagens; Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC); e Projeto de Pesquisa.

2 Revisão da literatura

Rowena Reed Kostellow, professora do Pratt Institute, Nova Iorque, entre as décadas de 30 e 80 do sec. XX foi uma das pioneiras no ensino do desenho industrial, criando e refinando uma metodologia para o ensino do que classificava como 'a estrutura das relações visuais'. Utilizava à época os materiais disponíveis: argila, papel, arame e cola. Reed abordava a importância da materialização das concepções em sala de aula considerando que essas possibilidades proporcionam 'sensação de liberdade e segurança' ao projetista (Hannah, 2015, p. 21).

O próprio termo Design, segundo Alexander Kostellow, também professor e membro fundador do Pratt Institute, é caracterizado como 'a arte de fundir uma ideia e um sentimento com materiais concretos, de modo que o conceito essencial seja inseparável de sua materialidade' (Kostellow, 1947, p. 4 - 5).

Ao longo dos anos, a necessidade de se trabalhar com a materialização de artefatos nas diferentes fases do desenvolvimento dos projetos nunca deixou de ser uma realidade, que precisou ainda, acompanhar as características dos produtos criados a partir de cálculos precisos, gerados por sistemas específicos, bem como anseios plásticos e emocionais dos usuários.

O avanço das ferramentas digitais de auxílio ao projeto vem sendo fundamental, não só para alcançar as soluções em formas desejadas, mas também para estimular novas possibilidades, dando liberdade à criação e alternativas de soluções.

A evolução dos sistemas CAD, iniciados ainda entre as décadas de 50 e 60, aliados à tecnologia da impressão 3D, que começa a surgir na década de 80, configura um cenário que vem modificando a forma de projetar. Considerando ainda que é um processo em plena transformação, estas mudanças ainda não se estabilizaram.

Apesar de registros de que Hideo Kodama do Instituto de Investigação Industrial de Nagoya, no Japão, ter realizado uma impressão 3D no início da década de 80, o processo de

patenteamento desta experiência não se completou (Wohlers & Gornet, 2011, Apud. Santos, 2016, p. 20)¹.

Foi em 1987 que a tecnologia começou a ser aplicada comercialmente, por meio do desenvolvimento da impressora SLA-1 pela empresa 3D Systems, com a patente do processo denominado Stereolithography (SL) em 1986 nos Estados Unidos. O sistema consiste em uma resina de fotopolímero líquido curada por um laser ultravioleta (UV). Os modelos digitais concebidos em softwares CAD são enviados para concretização da modelagem no equipamento (3D Systems, 2019).

Segundo Ferreira *et al.* (2001), basicamente existem dois tipos principais de maquinários: aqueles que fabricam por deposição de material, camada a camada (processo aditivo); e aqueles que fabricam por desbaste de um bloco (processo subtrativo).

No primeiro caso, o modelo físico é construído sequencialmente, uma camada sobre a outra, até formar uma cópia analógica do seu original digital. A segunda requer um processo no qual uma ferramenta 'subtrai' material, através da utilização de uma variedade de diferentes tipos de fresas, sendo gradualmente reduzido para formar a réplica física do modelo.

Conforme os diversos meios de classificação referente ao funcionamento das principais tecnologias de impressão 3D, temos a seguinte divisão baseada no tipo de material utilizado e a forma de processamento empregado: tecnologias à base de fusão e deposição (extrusão); à base de polímeros líquidos; à base de sólidos laminados; e à base de pó. (Cunico, 2015).

O processo aditivo, que é o mais comum, gerou diversas denominações, entre elas, as mais conhecidas são impressão 3D (3D *printing*) e Prototipagem Rápida (*rapid prototyping*). Contudo, este último, por evidenciar apenas a confecção de protótipos, já não é considerado o termo adequado, uma vez que constantemente a tecnologia é utilizada para produção de artefatos acabados, ou seja, fabricação de produtos finais (Monteiro, 2015).

Embora o termo que mais se popularizou tenha sido 'Impressão 3D', devido à relação direta com outras formas de impressão comum, o Comitê de Desenvolvimento e Entrega de Normas de Consenso Internacional da ASTM – '*American Society for Testing and Materials*'² ou Associação Americana para Testes e Materiais - chegou ao consenso da adoção da sigla AM '*Additive Manufacturing*' ou Manufatura Aditiva.

A vantagem deste sistema está em oferecer rápida materialização com precisão e acabamento, possibilitando testes de usabilidade durante o processo de projeto. Além disso o processo de impressão não necessita de supervisão, o que permite ao projetista dedicar-se a outras funções durante a fabricação.

Recentemente, esta tecnologia tornou-se financeiramente acessível, popularizando-se no trabalho e na academia. Em consequência, o uso pessoal criou uma tendência em expansão da autoprodução. Este fato abre muitas possibilidades e também evidencia a necessidade de se imaginar novas formas de atuação do designer (Monteiro, 2015).

3 Aspectos Metodológicos

Esse estudo tem abordagem qualitativa com aplicação de pesquisa bibliográfica, documental e se classifica como estudo de caso, adotando observação participante, pois houve participação ativa dos pesquisadores, previamente determinadas (Santos, 2018, p. 92).

Os resultados foram acompanhados e analisados de maneira qualitativa. Mediante a construção de uma fundamentação teórica de natureza técnica, histórica e pedagógica, foram

¹ Wohlers, T., Gornet, T. (2011). History of additive manufacturing Introduction of non-SL systems Introduction of low-cost 3D printers. Fort Collins: Wohlers Associates.

² ASTM é a sigla para *American Society for Testing and Materials* ou Associação Americana para testes e materiais, comitê de desenvolvimento e entrega de normas de consenso internacional (www.astm.org).

traçados os resultados esperados. Estes foram observados na prática, sendo documentados e analisados de forma crítica.

A impressora existente no Curso possui a tecnologia de adição de material, à base de fusão. Trata-se do modelo Ultimaker 2³, marca Ultimaker, com faixa de velocidade de impressão entre 30 a 300mm/seg. e capacidade de resolução de camada de 20 microns, possuindo volume de impressão de 10.194,44cm³, ou 223 x 223 x 205 mm.

Para modelagem digital foram utilizados os softwares: AutoCAD, 3D Studio Max, SketchUp e Rhinoceros 3D. Para conversão das representações tridimensionais virtuais do projeto no formato de operação da impressora foi utilizado o software de fatiamento CURA, versão 15.04.5, sendo que os materiais utilizados para a impressão dos modelos foram os polímeros Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) e o Poliacido Láctico (PLA).

A tecnologia de AM foi adotada no auxílio do desenvolvimento de projetos nas seguintes situações:

- Disciplina de Computação Gráfica Tridimensional I (turmas: 2015-2 com 23 alunos; 2016-1 com 24 alunos; 2016-2 com 9 alunos; e 2017-1 com 12 alunos). Envolveu 4 docentes, entre professores da própria disciplina e parceiros;
- Disciplina de Embalagens (turmas: 2016-1 com 13 alunos; 2016-2 com 13 alunos);
- Trabalhos de Conclusão de Curso, 5 alunos;
- Projetos de pesquisa ou extensão, 3 projetos diferentes envolvendo 8 professores e 8 alunos.

Um total de 107 alunos e 10 professores envolveram-se direta ou indiretamente nos projetos desenvolvidos, contudo, como forma de delimitação desta análise, foram escolhidas apenas algumas experiências para servir de amostragem, sendo: 4 trabalhos da disciplina de Computação Gráfica Tridimensional I; 2 de Embalagens; 1 TCC e 1 Projeto de Pesquisa.

O critério de escolha dos trabalhos se deu pela representação que os escolhidos apresentam, demonstrando variedade de produtos e situação de uso na aplicação da tecnologia. Além disso, foi ainda critério de escolha o fato dos exemplares terem concluído o ciclo de processos proposto, quando nem todos conseguiram êxito neste sentido.

4 Resultados

Disciplina Computação Gráfica Tridimensional I

A disciplina de Computação Gráfica Tridimensional I tem como objetivo habilitar o aluno a projetar e construir modelos virtuais utilizando programas de modelagem 3D; trabalhar a visão espacial; e desenvolver a criatividade na construção de formas tridimensionais.

Para atingir o objetivo da disciplina, servem de ferramentas todos os equipamentos e softwares disponíveis, que contribuem para trabalhar e apurar a visão tridimensional do aluno, eliminando possíveis barreiras à sua criatividade.

Ao longo do período analisado, os professores Bruno Serviliano, Karina Bontempo e Gisele Saraiva ministraram a disciplina. Para sistematizar o aprendizado, a disciplina foi dividida em três fases: Introdução; Quebra-cabeça 3D; e Projeto sob demanda.

- Introdução – são trabalhados princípios gerais de modelagem 3D por trás dos softwares, associado ao entendimento sobre ferramentas disponíveis. Os arquivos gerados foram STL (Stereolithography) e JBO (Object File Wavefront 3D);

³ Este equipamento foi adquirido através do projeto 'Materializando Ideias', fomentado pela FAPEMA, Edital FAPEMA No 001/2014 e Coordenado pelo Prof. Dr. Denilson Moreira Santos.

- Quebra-cabeça 3D – os alunos, individualmente, deveriam desenvolver um quebra-cabeça tridimensional de tema livre. Esta fase de experimentação tem o objetivo de explorar a visão tridimensional sem limitações, oferecer a oportunidade ao aluno de resolver problemas espaciais como encaixes, estabilidade, estruturas e formas, fazendo uso dos recursos digitais. Os alunos são orientados a atender características mínimas pré-determinadas, como requisitos de projeto: a composição deve ter entre 5 a 20 peças; no mínimo 50% das peças devem apresentar arcos ou circunferências; deve apresentar encaixes que, quando montada, seja auto suportada e estável.

Por ser livre o tema trabalhado na segunda fase, o aluno fica mais estimulado a experimentar os limites no uso das ferramentas. Esta experiência, supervisionada por professores e técnicos é enriquecedora para a formação do profissional no ambiente de ensino.

Para o desenvolvimento das formas, os alunos deveriam apresentar relatórios com justificativas de suas escolhas, processos criativos e detalhamentos das ferramentas de modelagem utilizadas.

Em laboratório, os alunos recebem orientações sobre características que seus modelos devem apresentar para viabilizar a impressão, o que não se refere a limitações da forma, mas sim a critérios dos processos construtivos digitais que possam atrapalhar ou impedir a perfeita execução dos modelos. Após a impressão os modelos são analisados para identificação de erros de projeto ou construção. Caso necessário são realizadas as correções e o modelo é reimpresso.

- Projeto sob demanda – os alunos, em equipe, trabalham um tema dado pelo professor, como forma de atender uma demanda real. A cada período foram abordados temas e problemáticas diferentes. Os temas abordados no intervalo analisado foram: desenvolvimento de elemento vazado para construção civil; joias; e artefato didático para educação de crianças com deficiência visual.

Nesta fase, também foram estabelecidas diretrizes pertinentes ao tipo de produto que seria desenvolvido, bem como orientações sobre o público ao qual seria destinado. Foram atendidas todas as características de um projeto executivo, incluindo relatório, desenhos técnicos e desenhos de apresentação (render).

Para representar os resultados da segunda fase foram selecionados os trabalhos: Maçã (Figura 1) da aluna Samara Lobo (2016-2) e Pirâmide de São Luís (Figura 2) do aluno Gabriel Mendes (2017-1).

No projeto Maçã, a aluna criou uma composição em forma de uma maçã composta de 8 peças (4 fatias, sendo 3 divididas em 2 partes; e 1 miolo) com o objetivo de auxiliar alunos no ensino da matemática em sala de aula da educação fundamental. A composição conta com um sistema de encaixe que garante estabilidade ao conjunto e pode ser erguida pela peça central (miolo) sem desmontar.

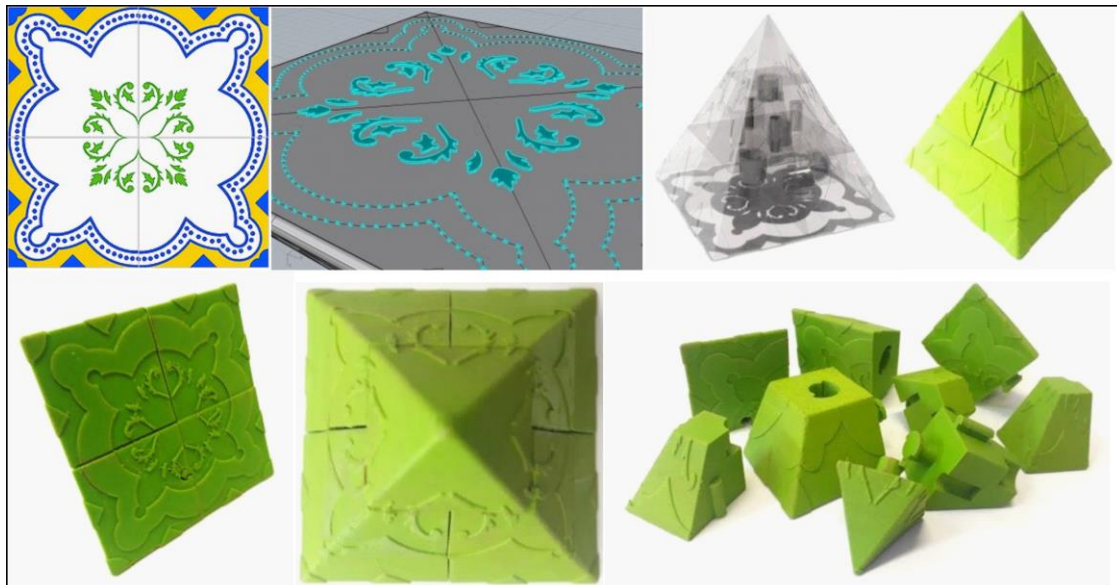
Figura 1: Quebra-cabeça Maçã – Modelo digital e protótipo em PLA.



A Pirâmide de São Luís (Figura 2) corresponde a uma composição de 9 peças, onde cada uma conta com um sistema de encaixe único, sendo que só há uma forma possível de

montagem. O formato do conjunto após montado é uma pirâmide de base quadrada, na qual há o desenho de um azulejo, fazendo referência a um símbolo cultural e histórico da Cidade de São Luís. A partir da vista de topo, é possível observar o azulejo. Todo o desenho é em alto relevo para ser percebido também por pessoas com deficiência visual, crianças ou adultos.

Figura 2: Quebra-cabeça Pirâmide de São Luís - modelo digital e protótipo em PLA (usado com permissão de Gabriel Mendes).



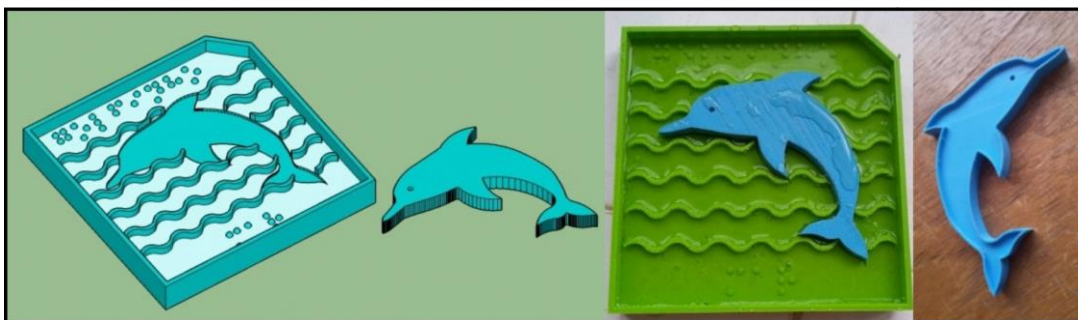
Na 3ª etapa, foi selecionado o tema: 'Artefato Tridimensional Didático para Auxílio na Educação de Crianças com Deficiência Visual de Forma Inclusiva' a partir do Projeto Experimentos Táteis: Design Aplicado em Imagens Sensoriais⁴, coordenado pelo Prof. Me. Marcio Guimarães, que prestou orientações específicas aos alunos sobre o projeto.

Os alunos desenvolveram artefatos pedagógicos para a alfabetização de crianças cegas. Foi estipulado em conjunto que os brinquedos didáticos seriam sobre animais. Para análise desta etapa, foram escolhidos os projetos 'Golfinho' dos alunos Amanda Gomes, Israel Silva e Layane Couto e 'Orni' dos alunos Ana Aurea Medeiros; Eudes Silva; Moisaníel Arruda Filho, ambos de 2016-2.

O artefato Golfinho (Figura 3) é a representação de um golfinho modelado em uma peça que se encaixa em uma base com texturas em alto-relevo simulando ondas. A base foi projetada de forma a armazenar água que seria outro elemento percebido pelo usuário por meio do estímulo tátil, fazendo relação com o habitat do animal. Informações como o nome e habitat foram gravadas em Braille na base. A peça em forma de golfinho também apresenta estrutura para servir de forma para massa de modelar.

⁴ Projeto de pesquisa 'Experimentos Táteis' com objetivo de realização de pesquisa em design aplicada ao projeto de ilustrações sensoriais (esquemas gráficos) para artefatos pedagógicos que auxiliem na cognição e comunicação de crianças com deficiência visual, foi desenvolvido pelo Núcleo de Pesquisa em Inovação, Design e Antropologia - NIDA, do Departamento de Desenho e Tecnologia - DEDET, da UFMA, coordenado pela Profa. Dra. Raquel Noronha.

Figura 3: Golfinho - Modelo digital e protótipo em PLA (usado com permissão de Amanda Gomes, Israel Silva e Layane Couto).



O artefato Orni (Figura 4), refere-se a um ornitorrinco formado por 3 peças – bico, cauda e corpo, que se encaixam em uma base que já conta com as patas fixas. No verso da base, há um alto-relevo para aplicação em massa de modelar. Como padrão, o nome do animal e o país de origem foram gravados em Braille.

O uso da AM possibilitou a rápida verificação de possíveis problemas de projeto, que ficaram claros após a materialização, podendo ser rapidamente corrigidos.

Figura 4: Orni - Modelo digital e protótipo em PLA (usado com permissão de Ana Aurea Medeiros; Eudes Silva; Moisaníel Arruda Filho).



Disciplina de Embalagem

Embalagem é uma disciplina optativa cujo conteúdo trabalhado culmina num modelo tridimensional, físico ou virtual, de uma embalagem, sendo utilizados produtos existentes no mercado. No ano de 2016, com a disciplina ministrada pela prof. Gisele Reis, em parceria com a disciplina computação gráfica tridimensional I, foram desenvolvidas embalagens utilizando os modelos criados pelos alunos da disciplina Computação Gráfica Tridimensional I construídos na impressora 3D.

Os alunos tiveram a oportunidade de desenvolver embalagens para produtos inéditos, o que proporcionou um estudo mais elaborado e específico para cada produto, desenvolvendo embalagens de acordo com nicho de mercado ao qual o produto é destinado e, com todas as informações necessárias, desde a criação de uma nova marca, levando em consideração os elementos da linguagem visual, até a disposição correta dos elementos obrigatórios de um rótulo.

Entre os trabalhos realizados, foram analisados os seguintes: embalagem para Maçã (Figura 5), desenvolvida por Thais Lima e Juliet Gomes; e embalagem para Orni (Figura 6), desenvolvida por Breno Sousa; Ceres Dias; Rodrigo da Luz; Flavio Lisboa (ambos 2016-2).

Com a experiência constatou-se que o uso da AM na disciplina permitiu aos alunos a oportunidade de materializar suas ideias e avaliar os projetos, compreendendo de forma global as embalagens.

Figura 5: Embalagem para Maçã e protótipo em PLA (usado com autorização de Thais Lima e Juliet Gomes).



Figura 6: Embalagem para artefato Orni e protótipo em PLA (usado com autorização de Breno Sousa, Ceres Dias, Rodrigo da Luz e Flavio Lisboa).



Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Tema Design de Joias

A joalheria é um dos ramos que utiliza a AM, tendo como principal motivo a modernização e otimização da criação e produção. Esta tecnologia é especialmente vantajosa quando o produto requer rápido desenvolvimento e altos níveis de personalização, como é o caso das joias.

Com a AM, obtém-se modelos com maior qualidade, precisão, rapidez e uniformidade, em relação aos métodos de produção tradicionais. As peças criadas com a impressora 3D servem como modelo para avaliação da forma e dimensionamento; para a realização de teste com o usuário; e também como 'peça modelo' para produção das peças finais, que na joalheria tradicionalmente é feito manualmente em cera específica, sendo um processo que demanda muito tempo.

Outras vantagens da AM à joalheria são a facilidade para especificação de peso, volume de material, espessuras, cálculo de custo entre outros detalhes, que no desenho 2D, muitas vezes, precisaria de várias pranchas para ser compreendido.

Para exemplificar a utilização da AM em TCCs, selecionou-se o Projeto O Folclore Maranhense Através da Joia (Figura 7) das alunas Raissa Coelho e Thaianne Dias, realizado em 2016. O projeto foi o desenvolvimento de um conjunto de joias, composto por dois colares, um brinco e um anel, que trazem referência do 'Bumba meu Boi', folgado de maior expressão cultural dentro do estado do Maranhão (Coelho & Dias, 2016).

As peças foram projetadas para serem produzidas em prata. Como alternativa para apresentação, foi utilizada a AM na produção do modelo em escala real. A modelagem digital foi desenvolvida no *software Rhinoceros* e impressa em PLA.

Nessa experiência pode-se confirmar que a AM foi precisa na execução das peças, que os *mock-ups* produzidos simularam com exatidão a peça real e puderam ser testados pelos usuários, comprovando sua usabilidade.

Figura 7: Modelos digitais e impressão 3D do colar e anel do projeto (usado com permissão de Raissa Coelho e Thaianne Dias).



Projeto de pesquisa

Para exemplificar a aplicação da AM no auxílio de pesquisas em Design, selecionou-se uma seção do projeto intitulado 'Design da embalagem para memórias de resultado (MRs) de urnas eletrônicas'⁵, que também foi tema do TCC de Rubenio Barros. A tecnologia foi aplicada no projeto de redesign das embalagens para Memórias de Resultado (MRs)⁶ de Urnas eletrônicas do Tribunal Regional Eleitoral do Maranhão (TRE-MA).

Para o desenvolvimento da nova embalagem, a AM foi incorporada como uma ferramenta dentro de uma metodologia específica para o design de embalagens, onde possibilitou a verificação de elementos do projeto.

O uso da tecnologia perpassou diversas etapas do processo de design, com a construção de modelos específicos para melhor compreensão das especificações de projeto e para a análise de funções estratégicas da proposta desenvolvida, como a impressão de módulos de retenção para a verificação da capacidade de acondicionamento e a praticidade na leitura do código de barras das MRs, bem como a impressão do sistema de abertura e fechamento para checagem de resistência das estruturas e mecanismos. Assim foi possível constatar a eficiência das funcionalidades pensadas. Os modelos permitiram ainda a percepção da necessidade de melhorias, como a ampliação das medidas da área de acondicionamento das MRs e a eliminação de extremidades pontiagudas.

Os modelos foram corrigidos e reimpressos para realização de análises pelos os próprios usuários finais, contribuindo para uma abordagem participativa de projeção. Além de realização de testes de usabilidade, funcionalidade das estruturas internas e a avaliação das configurações por especialistas em ergonomia (Figura 8).

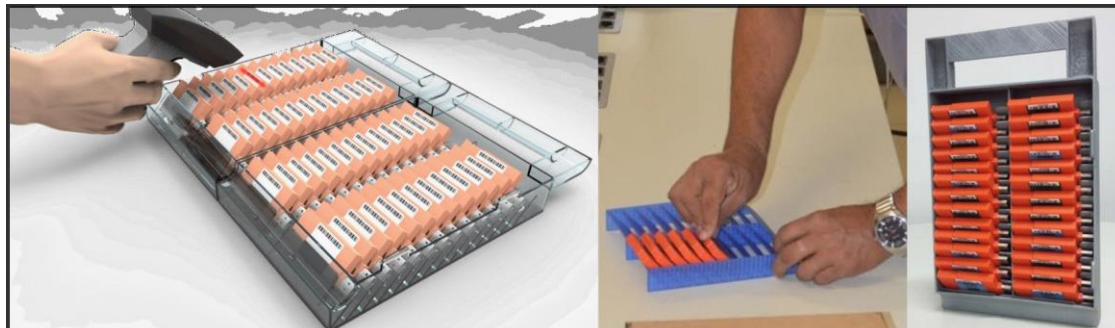
O uso da AM nessa etapa foi de particular importância porque as funcionalidades investigadas nos testes requeriam fidelidade dimensional milimétrica, o que seria inviável por meio de *mock-ups* e protótipos desenvolvidos manualmente.

⁵ Projeto aprovado (Resolução CONSEPE n°1500, de 18 de outubro de 2016) Núcleo de Ergonomia em Processos e Produtos – NEPP, em parceria do Tribunal Regional Eleitoral do Maranhão e a Fundação Sousa Andrada, fomentado pelo TRE-MA. Todas as informações aqui divulgadas referentes ao TRE-MA possuem autorização prévia para sua publicação. Fomentado pela FAPEMA, Edital FAPEMA No ED. 10/2015 BEPP Bolsa de Produtividade Sênior.

⁶ MRs são dispositivos de armazenamento em memória *flash* de uso exclusivo do Tribunal Superior Eleitoral que servem para registro dos resultados das votações em urna eletrônica (Barros & Diniz, 2017, 2018; Tribunal Superior Eleitoral [TSE], 2010).

Devido a limitação espacial da área de impressão do equipamento foi necessária a divisão da proposta em peças menores (Figura 8). Contudo, essa limitação não se configurou problema, pois os objetivos principais dos testes foram alcançados. Os testes geraram *feedbacks* que resultaram em novas alterações para refinamento. Feitas todas as alterações, foi iniciada a construção do protótipo em AM.

Figura 8: modelo digital, teste de usabilidade e protótipo em PLA.



Conclui-se que a AM contribuiu significativamente para o êxito da embalagem, tendo auxiliado com agilidade na checagem das proposições, no desenvolvimento dos testes de usabilidade, numa maior aproximação com os usuários finais, na precisão durante a avaliação da eficiência das funcionalidades, e na identificação de fragilidades estruturais.

O refinamento proporcionado com o auxílio da tecnologia contribuiu para a construção de um produto que de fato atende as necessidades dos usuários e que apresenta um caráter inovador (na forma de acondicionamento e na possibilidade de leitura do código de barras dentro da embalagem), gerando resultados que permitiram a solicitação de uma patente⁷ na modalidade modelo de utilidade (BR2020170245530).

5 Considerações finais

O uso da AM tem contribuído e impulsionado o ensino e pesquisa no Curso de Design da UFMA, desde a sua aquisição e operação, em 2015, sendo adotada no suporte de diversas disciplinas.

A Manufatura Aditiva (MA) é uma forte aliada na análise pós-materialização e experimentação, promovendo o aperfeiçoamento do produto. Este processo posiciona o aluno em ambiente semelhante a uma situação do mercado, pois uma vez conhecendo o produto em forma física, pode fazer todas as análises reais, proporcionando uma experiência fundamental ao seu desenvolvimento profissional.

A tecnologia proporcionou melhor compreensão do projeto pela própria equipe envolvida e por indivíduos externos, permitindo que todos tivessem uma percepção mais precisa do produto, transmitindo informações e proposições de forma mais eficiente e contribuindo para as discussões de melhorias de uma forma que dificilmente seria alcançada apenas com o uso das representações tridimensionais virtuais.

Nas experiências do estudo de caso nem todos os projetos elaborados possuíam características plásticas muito complexas, como possibilita a AM. Contudo, outros aspectos foram abordados e constatados como de relevante contribuição para o desenvolvimento das atividades do Curso, conforme relatado, alcançando assim os resultados esperados.

⁷ Barros, R. S., Diniz, R. L., Arruda Filho, M. P., Santos, D. M., Oliveira, C. F. (2017). Número do registro de patente: BR20201702455 (Modelo de Utilidade) - Embalagem para Memórias de Resultado (MRs) de Urnas Eletrônicas. Brasil: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

Considerando que esta foi a primeira experiência da instituição com a tecnologia, acredita-se que o amadurecimento e a maior familiaridade da equipe docente e alunos com equipamentos e tecnologias complementares representarão constantes aperfeiçoamentos e liberdade na criação de soluções no desenvolvimento de projetos e pesquisas.

Agradecimento

O presente trabalho é parte das atividades do Projeto DINTER – CAPES (Edital 12/2016 – processo 04206/2016) UFMA/UNESP e foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

Agradecemos aos alunos, docentes e técnicos que contribuíram para realização dessa experiência.

Referências

- 3D Systems. (2019). *Overview*. Recuperado em 9 julho, 2019, de <https://br.3dsystems.com/on-demand-manufacturing/stereolithography-sla>.
- Barros, R. S., & Diniz, R. L. (2017). Problematização do processo de embalagem de Memórias De Resultado (MRs) de urnas eletrônicas. *Anais Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de Interface Humano Tecnológica: Produto, Informações, Ambientes Construídos e Transportes*, Florianópolis, SC, Brasil, 16. p. 1056-1071. DOI 10.5151/16ergodesign-0101.
- Barros, R. S., & Diniz, R. L. (2018). Projeto Conceitual de Embalagem para Memórias de Resultado de Urnas Eletrônicas sob a Abordagem do Design Colaborativo. *Anais do Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design*, Joinville, SC, Brasil, 13.
- Barros, R. S. (2017). Redesign de embalagem com um enfoque participativo: projeto para Memórias de Resultado MRs. *Monografia (Graduação)*, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, MA, Brasil.
- Coelho, R. R. S., & Dias, T. V. P. S. (2016). O folclore maranhense através da joia. *Monografia (graduação)*, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, MA, Brasil.
- Cunico, M. W. M. (2014). *Impressoras 3D: o novo meio produtivo*. Curitiba: Científica Ltda.
- Ferreira, J. M. G. C., Alves, N. M. F., Mateus, A. J. S., & Custódio, P. M. C. (2001). Desenvolvimento integrado de produtos e ferramentas por metodologias de engenharia inversa e prototipagem rápida. *Anais do Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto*, Florianópolis, SC, Brasil, 3.
- Hannah, G. G. (2015). *Elementos do Design Tridimensional: Rowena Reed Kostellow e a Estrutura das Relações Visuais*. São Paulo: Cosac Naify.
- Kostellow, A. J. (1947). *Industrial Design at Pratt Institute*. New York: Pratt Institute. Recuperado em 12 abril, 2019, de <http://www.rowenafund.org/images/article-interiors-1947.pdf>.
- Monteiro, M. T. F. (2015). A impressão 3D no meio produtivo e o design: um estudo na fabricação de joias. *Dissertação (mestrado)*, Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.
- Santos, A. (2018). *Seleção do Método de Pesquisa: Guia para pós-graduando em design e áreas afins*. Curitiba: Insight.

Santos, R. (2013). *Jóias: fundamentos, processos e técnicas*. Rio de Janeiro: Senac.

Santos, S. L. B. dos. (2016). *Impressão 3D: Perspectivas de Adoção na Indústria Portuguesa*. Dissertação (mestrado), Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.

Tribunal Superior Eleitoral. (2010). *Por dentro da urna* (2a Ed.). Brasília: TSE.

Ultimaker. (2017). *Professional 3D printing made accessible*. Recuperado em 20 jun. 2019. Disponível em: <https://ultimaker.com>.

World Economic Forum. (2018). *Source: Future of Jobs Survey 2018*. Recuperado em 6 jul. 2019. Disponível em: http://abet-trabalho.org.br/wp-content/uploads/2018/12/WEF_Future_of_Jobs_2018.pdf.

Sobre os autores

Karina Bontempo, Doutoranda, PPG Design UNESP/UFMA, Brasil <karina.pb@ufma.br>.

Monica Moura, Dra., UNESP Bauru, Brasil <monicamoura@faac.unesp.br>.

Denilson Santos, Dr., UFMA, Brasil <denilson.santos@ufma.br>.

Gisele Reis, Doutoranda, PPG Design UNESP/UFMA, Brasil <gisele.reis@ufma.br>.

Raimundo Diniz, Dr., UFMA, Brasil <rl.diniz@ufma.br>.

Rubenio Barros, Mestrando em Design, UFSC, Brasil <rubeniobarros@gmail.com>.