

APRENDIZADOS SOBRE MANUFATURA ADITIVA EM DESIGN: estudo de caso do Jogo da Flor

LEARNINGS ABOUT ADDITIVE MANUFACTURING IN DESIGN: case study of the Flower Game

SILVA, Arabella Natal Galvão da; Doutora; Universidade Federal do Paraná

arabellagalvao@ufpr.br

BRUM, Ana; Doutoranda; Universidade Federal do Paraná

anabrum@ufpr.br

PINHEIRO, Poliana Batista; Graduanda; Universidade Federal do Paraná

poliana.pinheiro@ufpr.br

Resumo

Este trabalho aborda a relação entre academia e mercado a partir do conhecimento sobre a Manufatura Aditiva e seu impacto no desenvolvimento de produtos quando o processo é feito por fabricação direta. A relação entre Manufatura Aditiva e Design, bem como aspectos relevantes desta tecnologia, foram tratados por meio da revisão bibliográfica. Adotou-se o método do Estudo de Caso para descrever os aprendizados da equipe durante o projeto do Jogo da Flor, artefato desenvolvido por um projeto de extensão para auxiliar o ensino de Braille para crianças cegas. Como resultado, o estudo evidenciou o quão relevante é o conhecimento sobre o software de fatiamento, além de destacar a importância da colaboração entre profissionais de diferentes áreas como uma alternativa para suprir a defasagem de conhecimento ofertado pela academia em relação ao conteúdo de Manufatura Aditiva.

Palavras Chave: impressão 3D; expressão gráfica; educação em design.

Abstract

This work addresses the relationship between academia and the market based on knowledge about Additive Manufacturing and its impact on product development when the process is carried out by direct manufacturing. The relationship between Additive Manufacturing and Design, as well as relevant aspects of this technology, were addressed through a literature review. The Case Study method was adopted to describe the team's learning during the Flower Game project, an artifact developed by an extension project to help teach Braille to blind children. As a result, the study highlighted how relevant knowledge about slicing software is, in addition to highlighting the importance of collaboration between professionals from different areas as an alternative to make up for the gap in knowledge offered by academia in relation to Additive Manufacturing content.

Keywords: 3D printing; graphic expression; design education.

1 Introdução

A formação superior em design sempre contempla conteúdos relacionados à materiais e processos, pois as Diretrizes Curriculares dos cursos de Design estabelecem que o designer deverá conhecer o setor produtivo, bem como materiais, processos produtivos e tecnologias para “mobiliário, confecção, calçados, joias, cerâmicas, embalagens, artefatos de qualquer natureza” (BRASIL, 2004, p.2). Contudo, a defasagem entre o conteúdo ofertado pela academia e as necessidades de mercado são conhecidas (NAVEIRO; PEREIRA, 2008; MARQUES, 2010).

O conteúdo oferecido pela academia sobre manufatura aditiva e outros tipos de fabricação digital é ainda menos aprofundado. Ainda que tecnologias de fabricação digital, como a Manufatura Aditiva, não sejam exatamente novas, a difusão e a crescente disponibilidade de acesso a estas tecnologias o são. Desta forma, o acesso a estas tecnologias tem transformado a ideia de fabricação e, conseqüentemente, o entendimento de que as práticas e a educação em design devem considerar as mudanças no cenário tecnológico (MINEIRO; MAGALHÃES, 2018).

Em se tratando de novos conteúdos e da conhecida defasagem entre a academia e a indústria, a colaboração entre profissionais de diferentes áreas se torna ainda mais essencial. A capacidade de trabalhar em equipes de modo colaborativo foi evidenciada como alternativa para a oferta de soluções viáveis, num cenário em que a atuação individual é cada vez mais difícil (HEEMANN; LIMA; CORRÊA, 2010).

Uma das vantagens de se usar a Manufatura Aditiva como meio de fabricação direta é a facilidade de customizar o produto de acordo com as necessidades do usuário (VOLPATO; SILVA, 2017). Por esta razão, o projeto de extensão LABINC - Laboratório de Inclusão, vinculado ao curso de Expressão Gráfica da Universidade Federal do Paraná, desenvolve materiais didáticos inclusivos utilizando a modelagem digital e a manufatura aditiva. O curso de Expressão Gráfica baseia-se nas diretrizes curriculares de Design, contudo a ênfase do ensino centra-se nas tecnologias de desenvolvimento de projetos para as áreas do design, arquitetura e engenharia. O projeto de extensão LABINC recebeu a demanda para o desenvolvimento de um jogo que auxiliasse o ensino de Braille para crianças cegas. Esse jogo será analisado neste artigo.

Assim, o objetivo deste artigo é descrever como o conhecimento sobre manufatura aditiva impacta o desenvolvimento de um produto quando opta-se por este processo para a fabricação direta. Para atingir este objetivo foi estabelecido o Estudo de Caso como método, tendo como fontes de evidências a modelagem digital do produto, as fotografias do produto durante o desenvolvimento, entrevistas com membros da equipe de desenvolvimento, entrevista com técnico especializado em impressão 3D que colaborou com o projeto e entrevista com o demandante. O artigo foi organizado da seguinte maneira: Introdução, seção na qual se contextualiza a pesquisa; Manufatura Aditiva no Design e Manufatura Aditiva: aspectos relevantes, seções que tratam da revisão bibliográfica que fundamenta a pesquisa; Método: estudo de caso, que trata da descrição do método adotado; Contexto: o Jogo da Flor, seção que introduz e contextualiza o desenvolvimento do artefato; Resultado: o desenvolvimento do Jogo da Flor, seção que descreve o resultado do estudo de caso; Avaliação do Jogo da Flor, seção que apresenta a percepção do demandante sobre o artefato proposto; Considerações Finais, seção que apresenta a conclusão do estudo.

2 Manufatura Aditiva no Design

O uso pelos designers da impressão 3D ou Manufatura Aditiva é descrito por Santos (2017), que demarca a década de 1990 como inicial para que designers começassem a explorar “as inúmeras possibilidades dessa tecnologia, como a liberdade geométrica de construção” (SANTOS, 2017, p. 31). Além da liberdade geométrica, destaca-se o uso desta tecnologia para a materialização física de geometrias complexas, uma vez que designers passam a ter a possibilidade de materializar seus próprios produtos (SANTOS, 2017). Para fins deste artigo, a tecnologia conhecida como impressão 3D será definida como Manufatura Aditiva, ou seja, “um processo de fabricação por meio da adição sucessiva de material na forma de camadas, com informações obtidas diretamente de uma representação geométrica computacional 3D do componente (VOLPATO; CARVALHO, 2017, p. 15).

Volpato e Silva (2017) mantém o uso do termo Manufatura Aditiva para a “aplicação direta de um processo na fabricação de peça ou produto totalmente funcional, que será utilizado pelo usuário final, atendendo aos requisitos de projeto durante o tempo que estiver em uso” (VOLPATO; SILVA, 2017, p. 326), ainda que outros autores utilizem nomenclatura diferenciada nesta situação.

As razões para o uso da Manufatura Aditiva como processo de fabricação direta são diversas. Dentre elas, destaca-se o potencial para competir com os processos tradicionais em setores que trabalham com lotes unitários ou pequenos e produtos que requerem customização para atender necessidades específicas dos usuários (VOLPATO; SILVA, 2017). Ambas estas razões justificam o uso da Manufatura Aditiva para o caso descrito neste artigo.

A formação do designer percorre, ou deveria percorrer várias instâncias de aprendizagem em relação aos diversos processos produtivos. Conhecer as possibilidades e os cenários onde o projeto será executado é uma das habilidades que o profissional deve desenvolver. Conforme descreve Carboni e Scheer (2023), os benefícios que a utilização da Manufatura Aditiva podem proporcionar ao processo de ensino-aprendizagem são descritos pela literatura em diversas áreas, inclusive no design. Ao mesmo tempo que as tecnologias de Manufatura Aditiva apresentam-se com rápido crescimento e potencial disruptivo, elas também exigem programas educacionais que forneçam seus fundamentos, além de permitir que os estudantes de design descubram suas capacidades (CARBONI; SCHEER, 2023).

Um ‘bom design’ deve ser bem-sucedido em múltiplas dimensões, que ao mesmo tempo incluem e transpassam as relações entre projeto e produção (HERTENSTEIN, PLATT e VERYZER, 2013). Estas múltiplas dimensões, ou domínios, são objeto de conjectura e apreciação nos processos mais essenciais das práticas de design (SCHÖN, 1983). Em meio a esta complexidade, a viabilidade técnica e econômica de proposições de design tem suas questões mais fundamentais na interface entre projeto e produção. Nos cursos de design de produto, os acertos muitas vezes difíceis entre boas ideias de design e as realidades do chão de fábrica são um tema recorrente de aprendizagem, pois um bom designer deve se assegurar que suas propostas sejam realmente factíveis, realizáveis pela produção (LIPSON; KURMAN, 2013). Nesse sentido, quando o designer utiliza a Manufatura Aditiva como processo produtivo direto, o conhecimento sobre os fundamentos da tecnologia se faz ainda mais necessário.

Contudo, ainda que o designer não tenha total domínio sobre o processo em questão, resta-lhe atuar em equipes colaborativas, cujas habilidades dos membros sejam complementares. Quando se fala em colaboração não deve-se supor que o entendimento sobre esta competência seja largamente estabelecido. Silva e Heemann (2020) demonstram que há diversos termos na literatura que são tratados como sinônimos de colaboração, ainda que não o sejam. Assim, estes

autores propõe o seguinte conceito:

Colaboração é o processo coletivo e de interação social para a criação de uma solução por indivíduos que contribuem solidariamente para sua concretização e que consideram tal objetivo significativo para si mesmos, bem como complexo ao ponto de exigir a solução coletiva ao invés da individual (SILVA; HEEMANN, 2020, p. 70).

Com base neste conceito, Silva e Heemann (2020) estabelecem oito fatores necessários para que a colaboração seja bem-sucedida: equipe, cooperação, coordenação, comunicação, incentivo, liderança, objetivo e meio. Dentro destes fatores, destaca-se alguns que favorecem o designer quando precisa aplicar no projeto um conhecimento que ainda lhe falta. O primeiro deles é a composição da equipe, que deve ser formada por integrantes com habilidades e conhecimentos complementares. Outro fator decisivo é o objetivo, que deve ser complexo suficiente para justificar a atuação da equipe ao invés da abordagem individual. Finalmente, o meio parece ser também um fator decisivo no contexto desta pesquisa, “pois facilita a interação, mantém o foco da conversa e auxilia na compreensão do assunto” (SILVA; HEEMANN, 2020, p. 73).

3 Manufatura Aditiva: aspectos relevantes

A Manufatura Aditiva é um processo bastante descrito na literatura, contudo considera-se necessário retomar alguns aspectos para que o objetivo deste artigo seja atingido.

O processo se inicia com a construção de um modelo tridimensional digital do produto que será impresso. Isso ocorre utilizando-se algum software de modelagem 3D, no qual será construída a forma geométrica de cada peça do produto. Independentemente de qual software seja utilizado, é necessário que o modelo seja gerado ou exportado em formato STL, que é a sigla de *stereolithography tessellation language*, “e representa um formato de arquivo que gera finitos triângulos. Esses triângulos representam toda a superfície do modelo, para que ele seja reconhecido, no software de fatiamento, por triângulos e fatiado em camadas de espessura fina” (LIRA, 2021, p. 29). Também destaca-se que o modelo gerado seja verificado para que não haja erros de modelagem, como o não fechamento dos planos que geram a superfície geométrica da peça. Alguns softwares fazem esse tipo de correção automaticamente, outros não.

Após a modelagem deve-se proceder o fatiamento do modelo em software específico para este fim. Existem diversos softwares de fatiamento no mercado, que seccionam a peça matematicamente, em camadas paralelas e horizontais ao longo do eixo Z (LIRA, 2021).

Os tipos de impressora e de matéria-prima utilizadas na manufatura aditiva variam e continuam em desenvolvimento. Lira (2021) classifica os tipos de processos de acordo com o estado físico do material que será utilizado: sólido ou líquido. Dentre os processos de estado sólido, foi empregado neste artigo o *Fused Deposition Modeling* (FDM), descrito da seguinte maneira:

Nesse caso, o material é confinado em um dispositivo que, ao ser aquecido, fluidifica o material, que é expulso de uma câmara por um bico injetor sobre a superfície de uma mesa móvel (direção Z). O material depositado construirá o perfil da fatia da peça ou do protótipo. Na sequência, a mesa se move na direção Z e o processo se repete até a conclusão da peça (LIRA, 2021, p. 71).

Considerando-se que os modelos são construídos por deposição de camadas, uma sobre a

outra, por meio da extrusão de material, alguns termoplásticos podem ser utilizados neste processo: ABS, PET, PLA, nylon, dentre outros. No caso específico deste artigo, foi utilizado o PLA, que é

um material biodegradável e originado do amido de milho ou outras fontes renováveis. (...) O filamento PLA para impressora 3D tem alta dureza e ótima qualidade superficial sem necessidade de acabamento. Sua resistência mecânica com carga estática é alta (3DLAB, 2024a, p.24).

A impressão em si requer a configuração de alguns parâmetros, no próprio software de fatiamento, que vão determinar o tempo necessário e a qualidade do produto final. Os mais importantes são: altura de camada, preenchimento, aderência da peça à mesa (uso do *raft*) e ação da gravidade (suporte) (PARANÁ, 2018).

A altura da camada determina a resolução de impressão, ou seja, trata-se do diâmetro do filamento derretido que será expelido pelo bico de impressão. Quanto maior a altura da camada, mais rápida é a impressão e menos qualidade superficial ela terá. Portanto, deve-se buscar a melhor relação entre tempo de impressão e qualidade final da peça (PARANÁ, 2018).

O preenchimento refere-se à maneira como será feita a parte interna da peça, que não precisa ser totalmente maciça, tanto para economizar material como para reduzir o tempo de impressão. As impressoras oferecem vários padrões de preenchimento, como formas hexagonais ou linhas verticais e horizontais. Um preenchimento com mais material torna a peça mais resistente, porém aumenta o tempo de impressão. Novamente, deve-se buscar a melhor relação entre preenchimento e tempo de impressão, de acordo com a finalidade do objeto a ser impresso (PARANÁ, 2018).

A peça a ser impressa deve ficar perfeitamente aderida à mesa de impressão, desde a primeira até a última camada. Isso, no vocabulário técnico de impressão 3D é chamado de *Raft* (jangada em inglês). Seria uma camada de contato entre a mesa e a peça, e é eliminado após a impressão, com o uso de espátula, estilete ou com as mãos mesmo (PARANÁ, 2018).

A ação da gravidade sobre a peça a ser impressa é considerada porque a impressão ocorre sempre no sentido da base para o topo. Desta forma, caso as camadas mais altas tenham geometria diferente das camadas mais baixas, de modo que alguma área delas não se apoie na camada imediatamente anterior, haverá um problema. Isso porque a camada não pode ser impressa 'no ar', pois o material aquecido está mole. Para resolver essa questão são utilizados suportes, ou seja, na camada de base algum tipo de haste é impresso junto com a peça, para sustentar a camada superior. Os suportes são impressos no mesmo material da peça, porém com uma densidade menor, o que facilita sua remoção após o término da impressão (PARANÁ, 2018).

Além dos parâmetros mencionados, outros precisam ser ajustados durante o processo de impressão 3D. Contudo, não há espaço para descrever cada um deles. Por outro lado, alguns erros são recorrentes durante o processo e alguns deles serão descritos com o intuito de subsidiar a descrição do caso deste artigo.

Um dos erros mais comuns é conhecido como *overhang*, que é quando a impressão acontece sem o apoio da camada inferior (3DLAB, 2024b; WÜTHRICH et al., 2021). Nesse caso, a primeira solução é o uso de suportes, pois o erro ocorre pelo efeito da gravidade. Para os casos em que o suporte não é possível ou desejável, pode-se proceder ajustes na temperatura de extrusão, instalação de um cooler para resfriamento mais rápido do polímero ou ajuste na velocidade de

impressão (3DLAB, 2024b).

Outro erro bastante recorrente é a falta de aderência da primeira camada na mesa de impressão. Esse erro faz com que a peça se solte durante o processo, fazendo com que o polímero extrudado não configure a forma desejada. A falta de aderência pode ocorrer porque o bico de impressão está muito longe da mesa, fazendo com que o polímero chegue na mesa mais frio do que deveria. Isso pode ser resolvido com a regulagem da mesa de impressão. Outra causa pode ser sujeira na mesa, que deve estar bem limpa. É comum que usuários de impressão 3D utilizem outros recursos para melhorar a aderência da peça à mesa, como passar spray de cabelo ou cola bastão sobre ela (3DLAB, 2024b).

Finalmente, um erro mais difícil de identificar a causa é o acabamento superficial ruim na peça. São muitas variáveis que impactam no acabamento da peça, desde velocidade de impressão, temperatura do bico, altura da camada, material e, até mesmo, fatores ambientais como temperatura ambiente. Nesse caso deve-se testar a modificação de parâmetros de cada variável isoladamente, de modo a descobrir a causa do problema e proceder a correção (3DLAB, 2024b).

4 **Método: estudo de caso**

Esta pesquisa caracteriza-se, de acordo com o seu objetivo, como sendo uma pesquisa descritiva, cujo fenômeno em análise ocorre com pouco controle do pesquisador sobre os eventos. O estudo de caso apresenta-se como o método mais indicado para atingir o objetivo desta pesquisa, qual seja descrever como o conhecimento sobre manufatura aditiva impacta o desenvolvimento de um produto quando opta-se por este processo para a fabricação direta. Além disso, conforme destaca Yin (2001), os limites entre o fenômeno e o contexto não são claramente definidos, pois o design do produto (o fenômeno) pode ser influenciado por diversas variáveis, como expertise dos membros da equipe, equipamentos utilizados na produção, ambiente institucional e necessidades do usuário (o contexto).

Gray (2012) afirma que um estudo de caso possui unidades de análise principal e subordinada. A unidade de análise principal deste estudo é o produto propriamente dito, que possui suas especificidades e a necessidade de permitir sua fabricação digital em impressora 3D. Desta forma, a unidade de análise principal centra-se no produto.

A unidade de análise subordinada refere-se ao conhecimento dos membros da equipe de desenvolvimento em fabricação digital. Esta é subordinada por interferir diretamente no desenvolvimento do produto, em aspectos relacionados à geometria e forma de uso do produto. É subordinada porque se trata de um meio para que o produto em desenvolvimento atinja seus objetivos enquanto artefato. Assim, a unidade de análise subordinada centra-se no aprendizado da equipe de desenvolvimento em relação ao processo de fabricação digital.

Yin (2001) também destaca que um dos principais aspectos do planejamento dos estudos de caso é a definição de questões que refletem a investigação real. Tais questões devem ser construídas para o próprio pesquisador, de modo a se configurar num checklist que oriente a condução dos trabalhos. Além disso, cada questão deve vir acompanhada de uma lista de prováveis fontes de evidência (YIN, 2001). Assim, as questões que orientam esta pesquisa, bem como as prováveis fontes de evidência que devem auxiliar na obtenção das respostas são descritas a seguir.

1. Qual é o objetivo do produto em desenvolvimento?

Fontes de evidência: artigo que descreve o início do projeto; percepção do demandante; documento de regras do jogo.

2. Por que o produto deve utilizar a fabricação digital em seu processo produtivo?

Fontes de evidência: documento de caracterização do projeto de extensão ao qual o desenvolvimento do produto é vinculado; entrevista com a demandante.

3. Qual o conhecimento inicial e final sobre manufatura aditiva dos membros da equipe de desenvolvimento?

Fontes de evidência: entrevista com membros da equipe de desenvolvimento.

4. Como a geometria do produto foi definida?

Fontes de evidência: entrevista com membros da equipe de desenvolvimento; arquivos da modelagem digital; fotografias do produto durante o processo; percepção de profissional especialista em impressão 3D.

5 Contexto: o Jogo da Flor

O Jogo da Flor está sendo desenvolvido pelo projeto de extensão LABINC - Laboratório de Inclusão e teve seu início relatado e apresentado no 4º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologia Assistiva - CBTA 2023 (SILVA et al., 2023). O projeto de extensão LABINC tem como objetivo geral

produzir materiais didáticos, a partir da Modelagem Tridimensional, da produção de Animação, da Realidade Virtual e da Prototipagem Rápida, voltados ao processo de ensino-aprendizagem de pessoas com deficiências por meio do Desenho Universal, a fim de promover a Inclusão (ANDRADE, 2019).

O demandante é o Centro Municipal de Atendimento Educacional Especializado (CEMAEE) Anne Sullivan, vinculado à Secretaria de Educação do município de São José dos Pinhais, no Paraná, e a demanda foi um jogo que auxiliasse o ensino de Braille para crianças cegas. O pedido justificase pois, de acordo com o demandante, o ensino de Braille é muito moroso tendo em vista a dificuldade das crianças em memorizar a posição dos pontos dentro da cela Braille e a correspondência com o som de cada letra. Após a primeira avaliação de algumas propostas, por meio de protótipos de baixa fidelidade, identificou-se a necessidade de considerar o método de ensino utilizado pela instituição como um critério de seleção das alternativas. Considerando o método de ensino, a equipe de projeto definiu a mecânica do Jogo da Força, tradicional jogo feito manualmente pelas crianças para adivinhar palavras. A partir desta mecânica foi definida a estrutura básica do Jogo da Flor, ou seja, seriam dois jogadores, sendo um conhecedor da palavra e outro que deveria adivinhar a palavra. Haveria um conjunto de bases, em número equivalente ao número de letras, as letras em Braille e em texto e um prêmio para cada letra acertada, que se constituiria no objetivo final do jogo, ou seja, as peças da flor.

Para materializar esta primeira versão e facilitar a comunicação entre os membros da equipe, foi construído um mock up em papel das peças principais, conforme apresentado na Figura

1. De acordo com Santos (2017, p.40) o mock up é “um modelo físico volumétrico construído em escala real ou reduzida, desenvolvido de forma a reduzir o produto às suas dimensões básicas de volumetria, permitindo sua visualização de ocupação no espaço”.

Figura 1 - Mock up do Jogo da Flor



Fonte: As autoras (2024)

Com o mock up em mãos, a equipe construiu as regras do jogo, considerando a necessidade de permitir o uso por pessoas com diversos níveis de conhecimento do sistema de leitura em Braille. Além disso, como o objetivo do projeto LABINC determina, o jogo deveria seguir os princípios do Desenho Universal, permitindo que uma pessoa cega e uma pessoa vidente jogassem juntas. O método de ensino utilizado pela demandante apresenta ao estudante as letras em Braille de maneira progressiva, de modo que a pessoa tenha tempo para memorizar algumas letras antes de aprender novas.

Assim, resumidamente, o jogo tem as seguintes regras:

1. O professor, que é um dos jogadores, define uma palavra de acordo com o conhecimento do estudante e monta as bases conforme o número de letras.
2. O aluno, que é o outro jogador, deverá tatear as letras apresentadas, que podem ser limitadas ao seu conhecimento ou todas do alfabeto. Deverá escolher uma letra e perguntar se pertence à palavra.
3. O professor informa se a letra pertence ou não à palavra. Se sim, o professor diz quantas letras iguais a palavra possui e indica suas posições. Se não, o professor indica que não tem essa letra e pede que o aluno a separe das demais.
4. Para cada letra acertada, o estudante ganha uma peça da flor. Montar a flor completa é o objetivo do jogo.

O Jogo da Flor tem como premissa a produção sob demanda por meio da manufatura aditiva, para que os modelos digitais criados possam ser disponibilizados para qualquer instituição de ensino de maneira gratuita, sendo este o principal objetivo do projeto de extensão LABINC.

A equipe de desenvolvimento constituiu-se, nesta fase do projeto, de duas integrantes, sendo uma professora e uma estudante do curso de Expressão Gráfica, caracterizadas conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Caracterização das integrantes da equipe

Integrante	Idade	Nível de ensino	Formação básica	Gênero	Nível de conhecimento em modelagem digital	Nível de conhecimento em manufatura aditiva
1	49 anos	Doutorado	Design	Feminino	Básico	Básico
2	21 anos	Graduanda	Expressão Gráfica	Feminino	Avançado	Intermediário

Fonte: as autoras (2024)

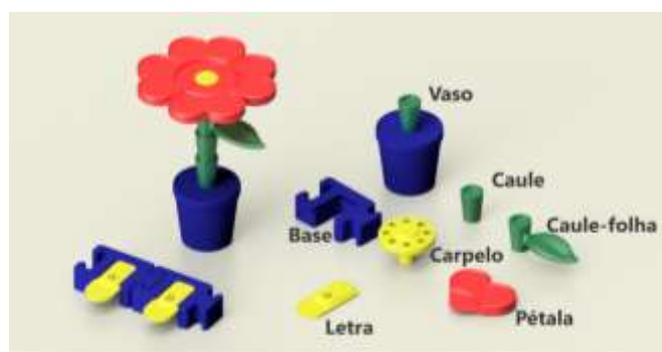
Observa-se no Quadro 1 que o nível de conhecimento da professora é básico em relação às tecnologias envolvidas. Contudo, sua experiência acadêmica e profissional equilibram esta defasagem no que se refere às necessidades do projeto. Por outro lado, o conhecimento da estudante em relação às tecnologias é maior, compensando sua falta de experiência e repertório para o projeto. Ainda assim, ambas não tinham vivenciado na prática o uso da manufatura aditiva, com todas as possibilidades e problemas que poderiam surgir. A estudante, mesmo participando de outros projetos que utilizam esta tecnologia, não tinha sido confrontada com situações de tomadas de decisão em relação ao processo.

Em relação aos aspectos técnicos, o Jogo da Flor foi modelado no software Inventor, da Autodesk, na versão 2022. Para o fatiamento foi utilizado o software Ultimaker Cura, na versão 5.6.0. A impressão foi realizada na impressora Creality CR-10.

6 Resultado: o desenvolvimento do Jogo da Flor

Com a definição inicial das regras do Jogo da Flor, a equipe de projeto mostrou o mock up para um técnico especializado em Manufatura Aditiva, com a intenção de coletar informações para iniciar a modelagem digital das peças. Desta forma, por orientação do técnico, evitou-se fazer o caule no formato cilíndrico e estreito como o do mock up, pois este ficaria muito frágil e poderia se quebrar durante o processo de impressão. Assim, desde a primeira modelagem, o caule deveria ser mais robusto. A Figura 2 mostra a modelagem digital da primeira versão.

Figura 2 - Modelagem digital da versão 1 do Jogo da Flor



Fonte: As autoras (2024)

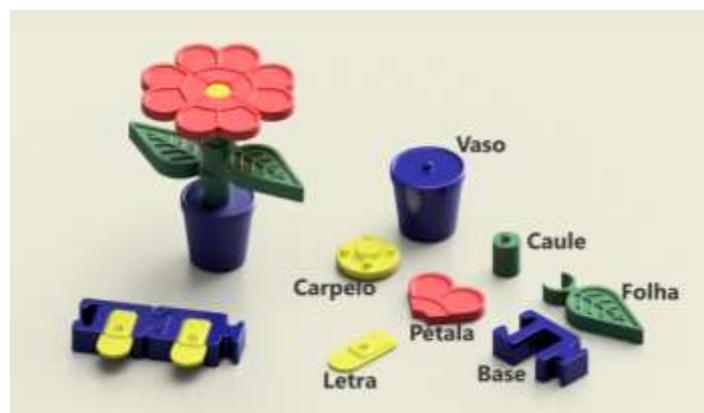
As peças da flor foram as que sofreram mais ajustes durante o desenvolvimento. Nesta imagem pode-se observar que a construção do caule é feita por peças cônicas que se encaixam

umas às outras e uma delas possui uma folha conectada. Essa estratégia, além de favorecer a impressão e a resistência mecânica da peça, também gerava um número maior de peças na flor, permitindo maior número de letras na palavra a ser adivinhada. O vaso possuía o primeiro cone conectado a ele, portanto a peça é única. O carpelo possuía o mesmo formato cônico para conectar-se ao caule e furos na parte superior, para receber os pinos das pétalas.

Esta versão foi submetida à apreciação do técnico novamente, que relatou outros problemas relacionados à geometria das peças. A peça do caule com a folha conectada deveria ser impressa com vários suportes na impressão, que dificultariam o acabamento pós produção. Da mesma forma, as pétalas com um pino na parte inferior teriam o mesmo problema. Foi sugerido que todas as peças tivessem ao menos uma face plana, para que esta ficasse em contato com a mesa de impressão. Além disso, foi sugerido que a folha fosse impressa separada do caule e que tivesse uma geometria mais favorável ao processo, pois o acabamento superficial das peças para o uso de pessoas cegas é um aspecto importante do produto. Peças muito orgânicas, como a folha modelada inicialmente, exigem muitos suportes que deverão ser retirados num trabalho de pós-produção mais cuidadoso. Esse aspecto foi considerado frente ao objetivo principal do projeto LABINC de disponibilizar os modelos digitais para qualquer instituição.

Assim, não foi impressa nenhuma das peças desta primeira versão. A segunda versão foi modelada e foram padronizados os encaixes por meio de pinos, de maneira que o relevo dos pinos sempre ficasse na parte superior da peça e o furo na parte inferior, favorecendo a colagem da peça na mesa de impressão. A geometrização da folha e a mudança no sistema de encaixe pareciam ser mais eficientes neste momento, mas não havia segurança da equipe em relação à essa eficiência. A Figura 3 mostra a modelagem desta versão.

Figura 3 - Modelagem digital da versão 2 do Jogo da Flor



Fonte: As autoras (2024)

Tendo submetido novamente a modelagem à apreciação do técnico, não houve novas solicitações de mudanças, passando-se à impressão das peças. Já na primeira tentativa a peça inicial não aderiu à mesa de impressão, exigindo sua regulagem e nivelamento. Esta regulagem foi assessorada pelo técnico que acompanhava a equipe. Antes de imprimir esta versão completa, foram feitos testes de impressão dos encaixes por pinos, para definir-se a melhor folga entre o furo e o pino. Este teste também permitiu verificar outros parâmetros de impressão, como espessura da primeira e última camada, padrão de preenchimento, temperatura, entre outros. A Figura 4 mostra este teste de impressão, que indicou a folga de 0,2mm como mais eficiente.

Figura 4 - Impressão dos pinos

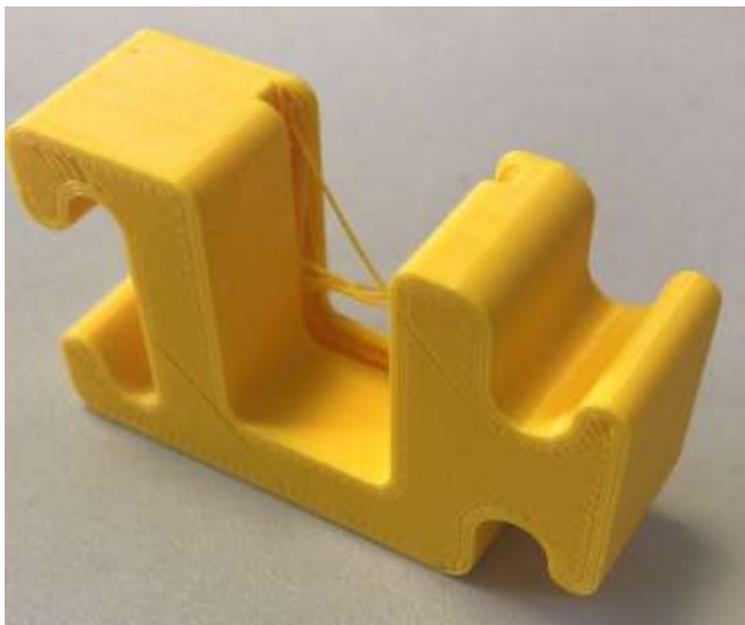


Fonte: As autoras (2024)

O acabamento superficial destes pinos não ficou satisfatório. Havia rugosidades e falhas. Neste momento, optou-se por trocar de impressora, utilizando-se a partir daí a Creality CR-10 que possui a mesa de impressão mais estável do que a primeira impressora empregada. Além disso, procedeu-se à troca do filamento de PLA, pois as impressões estavam sendo feitas num laboratório da universidade e o rolo de filamento em uso estava no final. Possivelmente havia ficado muito tempo exposto, deteriorando-se. Estas alterações foram suficientes para melhorar o acabamento superficial das peças.

A impressão das bases das letras apresentou problemas no encaixe para a letra, que constitui-se num canal. Nesta versão, que foi a primeira efetivamente impressa, foi feita a tentativa de não utilizar suportes. O resultado apresentou o *overhang*. O erro gerado pode ser observado na Figura 5 e dificulta a pós-produção, pois os filamentos soltos, que precisam ser retirados, tornam a superfície do canal bastante irregular, dificultando o encaixe da letra.

Figura 5 - Overhang na base



Fonte: As autoras (2024)

Todas as peças foram impressas e conectadas, conforme a Figura 6. Neste momento a

impressão foi feita toda com a mesma cor de filamento. Houveram algumas montagens e desmontagens deste conjunto e o pino de encaixe em uma das peças do caule quebrou-se. Isso evidenciou a fragilidade deste encaixe, exigindo um redimensionamento das peças para que os encaixes ficassem mais robustos. O encaixe da folha no caule funcionou perfeitamente, surpreendendo a equipe por ter acertado a folga na primeira tentativa.

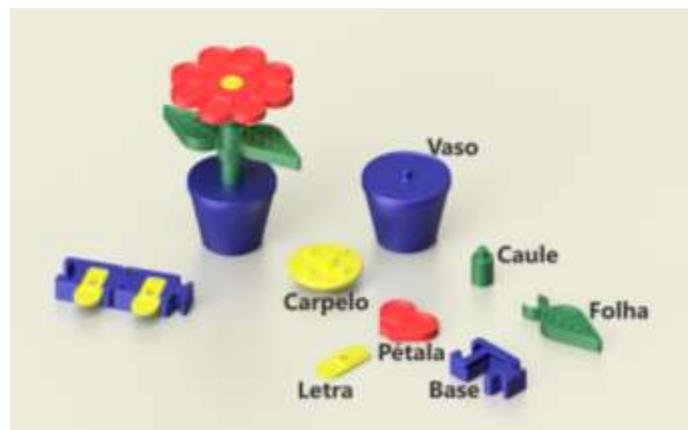
Figura 6 - Impressão da versão 2



Fonte: As autoras (2024)

Desta forma, a versão 3 do conjunto foi modelada, conforme a Figura 7. Os pinos aumentaram de 4mm para 7mm de diâmetro. Manteve-se a folga de 0,2mm entre o pino e o furo de encaixe. Contudo, este aumento gerou a necessidade de aumentar muito o diâmetro do carpelo, fazendo com que esta peça ficasse proporcionalmente desequilibrada em relação ao conjunto. Assim, utilizou-se uma curvatura para harmonizar a geometria desta peça, tomando-se o cuidado de gerar suportes no processo de fatiamento para evitar o efeito *overhang*. A intenção da equipe, além melhorar a peça esteticamente, era analisar como ficaria o acabamento superficial desta peça com a retirada dos suportes.

Figura 7 - Modelagem digital da versão 3

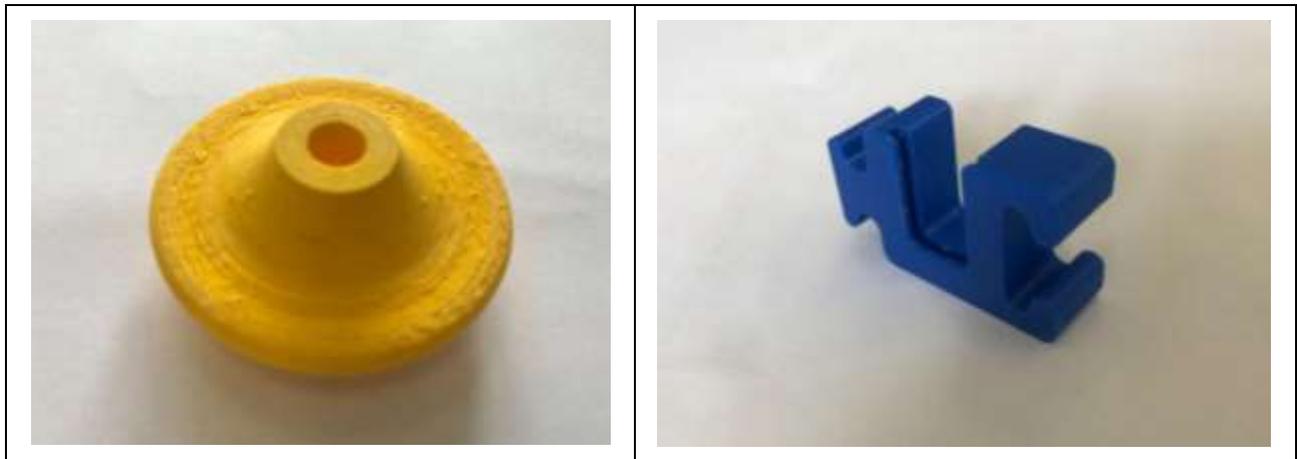


Fonte: As autoras (2024)

Feita a impressão desta versão, sem o acompanhamento direto do técnico a partir daqui, observou-se que o carpelo poderia ser impresso com suportes do tipo árvore e que, quando retirados, o acabamento superficial ficava satisfatório. Na base das letras, utilizou-se um suporte com geometria favorável à sustentação do canal, mas possível de ser retirado facilmente com o auxílio de um alicate. O acabamento superficial do canal ficou satisfatório. A Figura 8 apresenta

estas duas peças.

Figura 8 - Carpelos e base das letras após a retirada dos suportes



Fonte: As autoras (2024)

Contudo, o caule sendo composto por três cilindros conectados por pinos deixavam o conjunto instável. As pétalas, conforme vão sendo colocadas, desequilibram a flor com seu peso, fazendo com que o caule fique torto. Na Figura 9 pode-se observar esse efeito, com as pétalas parcialmente colocadas. O fato do caule ser subdividido em três partes favorece a dinâmica do jogo, pois as palavras podem ter mais letras. Contudo, a instabilidade do conjunto, especialmente para ser manuseada por uma pessoa cega, foi decisiva para a equipe tornar o caule uma peça única. Além disso, as instituições poderão imprimir mais folhas para incluir no conjunto, caso a palavra escolhida tenha mais letras do que o número de peças da flor.

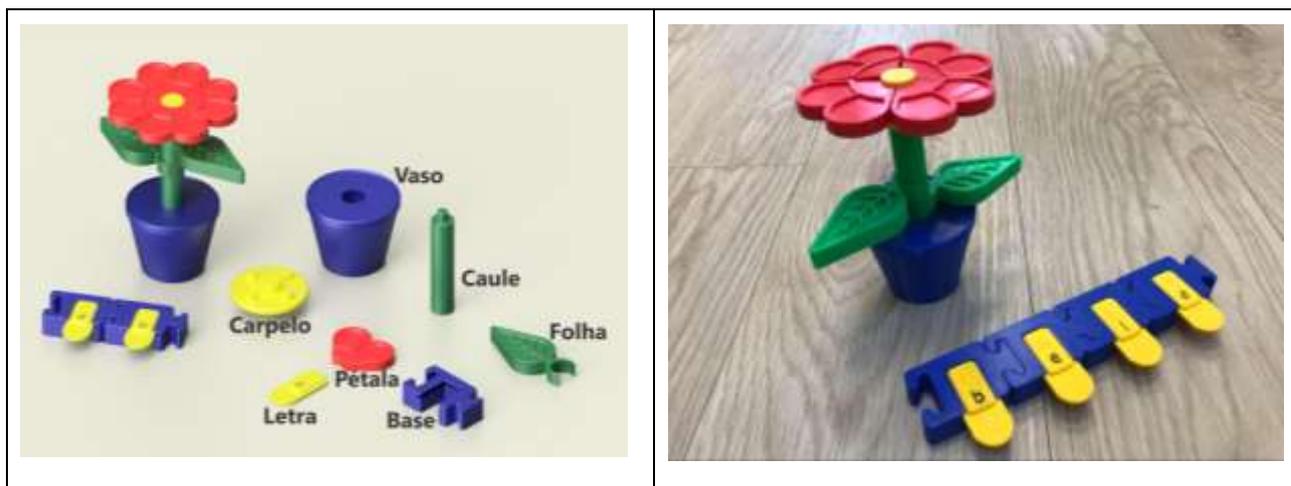
Figura 9 - Versão 3 da flor parcialmente montada



Fonte: As autoras (2024)

Com isso, a quarta e última versão do conjunto foi modelada e impressa, conforme a Figura 10. Para simplificar ainda mais os encaixes, a conexão entre o caule e o vaso foi feita apenas por meio de um furo no vaso onde o próprio caule pudesse ser encaixado, como se a flor fosse realmente “plantada”. Assim, obteve-se a estabilidade do conjunto e eliminou-se a necessidade de um pino.

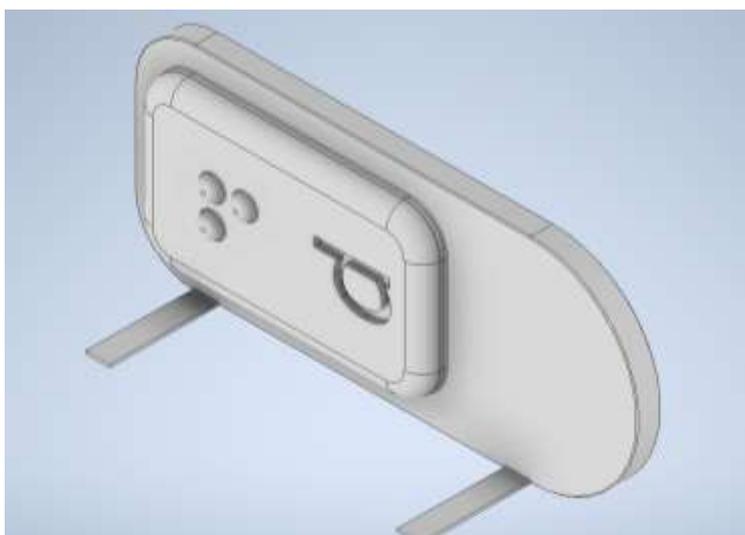
Figura 10 - Modelagem e impressão da versão 4 do Jogo da Flor



Fonte: As autoras (2024)

Um aprendizado importante e não destacado ainda é a maneira de imprimir peças que contenham letras em Braille. A equipe do projeto de extensão LABINC já havia identificado a necessidade de imprimir estas peças de modo que os pontos do Braille ficassem com sua base paralela ao eixo do bico de impressão (ANDRADE; AGUIAR; MARCHI, 2021). Isso é necessário devido ao dimensionamento dos pontos em relação à espessura das camadas de filamento. Cada ponto possui poucas camadas de altura, o que é insuficiente para configurar a superfície arredondada determinada pela NBR 9050 (ABNT, 2015). Desta forma, no Jogo da Flor, as peças que contém letras em Braille recebem um suporte que altera sua posição original em relação ao bico de impressão, conforme pode ser observado na Figura 11.

Figura 11 - Modelagem da letra D como será impressa



Fonte: As autoras (2024)

Os suportes das letras são extraídos após a impressão com o auxílio de estilete e o acabamento superficial da peça fica adequado.

O processo de desenvolvimento do Jogo da Flor poderia ter sido otimizado caso a equipe de

projetos tivesse mais experiência com o processo de Manufatura Aditiva. Desde a primeira versão, passaram-se seis meses entre idas e vindas, considerando a disponibilidade de tempo semanal da equipe e a disponibilidade das impressoras no laboratório. A cada nova versão, novas descobertas eram feitas de como o processo interferia na geometria das peças. A versão 4 foi levada à demandante e avaliada, conforme é apresentado na próxima seção.

Quanto aos aprendizados dessa experiência, destaca-se:

1. O conhecimento sobre o software de fatiamento, após a modelagem da peça, é um aspecto essencial para otimizar os recursos (tempo, materiais e pessoas) necessários à Manufatura Aditiva de qualquer produto. Compreender e testar a variedade de configurações dos parâmetros possíveis requer tempo e o acompanhamento de um profissional especializado, tendo em vista a diversidade de problemas que podem ocorrer.
2. Manusear os equipamentos com a segurança e o cuidado necessários também requer tempo. A troca de filamento é um procedimento simples, mas que requer atenção. O nivelamento da mesa de impressão é outro aspecto importante, pois causa impacto direto no resultado do trabalho. No contexto deste estudo, como foram usados equipamentos que são manuseados por diversas pessoas, esse procedimento acaba sendo frequentemente necessário.
3. Compreender a diferença entre as impressoras e o impacto desta diferença no resultado do projeto foi outro aprendizado importante. Inicialmente a impressão estava sendo feita numa impressora cuja mesa é apoiada em dois pontos. Conforme ocorre a movimentação da mesa no eixo Z, o lado sem apoio vibra quase de maneira imperceptível. Contudo, esta vibração impacta no acabamento superficial da peça. No caso em estudo, o público-alvo requer mais qualidade no acabamento superficial, o que pode não ser tão relevante para outros tipos de projeto.
4. A colaboração entre uma designer e uma estudante de Expressão Gráfica mostrou-se de grande valia para o projeto, pois os conhecimentos e habilidades se complementaram com eficiência. Quando o processo trazia um problema, a solução era construída de maneira conjunta, de modo que os aspectos técnicos, formais e ergonômicos do produto ficassem equilibrados. O meio utilizado para mediar o processo colaborativo foi a modelagem, realizada por ambas as integrantes da equipe em momentos diferentes do processo. Pode-se afirmar que, neste estudo de caso, o meio foi o ponto de apoio do processo colaborativo, cumprindo o objetivo indicado por Silva e Heemann (2020).

7 Avaliação do Jogo da Flor

A avaliação do Jogo da Flor foi realizada no Centro Municipal de Atendimento Educacional Especializado (CEMAEE) Anne Sullivan, vinculado à Secretaria de Educação do município de São José dos Pinhais, no Paraná. Esta avaliação foi realizada com três professoras, para a verificação de diversos aspectos do artefato, por meio de um questionário composto por quatro partes: (1) a caracterização do usuário, (2) a avaliação da geometria do artefato, (3) a avaliação das regras do jogo e (4) a avaliação dos aspectos pedagógicos. Neste artigo, será descrito o resultado das partes (1) e (2) apenas, por questões de espaço.

A caracterização dos usuários que avaliaram o jogo pode ser observada no Quadro 2.

Quadro 2 - Caracterização do usuário

Usuário	Idade	Nível de ensino	Gênero	Nível de conhecimento de Braille	Possui deficiência visual?
1	44 anos	Especialização	Feminino	Avançado	Sim, cegueira total
2	43 anos	Especialização	Feminino	Intermediário	Não
3	49 anos	Especialização	Feminino	Intermediário	Não

Fonte: as autoras (2024)

Conforme o Quadro 2, as três professoras possuem idade e formação semelhantes, diferenciando-se na sua experiência com o sistema de leitura Braille, pois uma delas possui deficiência visual. Além disso, as três fazem atendimento diário a crianças com deficiência visual de diversos tipos, sempre na forma de atendimento individualizado no contraturno das atividades escolares.

A primeira pergunta do questionário trata do dimensionamento de cada peça do jogo. Todas as peças foram consideradas adequadas pelas três professoras.

A segunda pergunta investiga sobre a forma de encaixe entre as peças. As professoras 2 e 3 avaliaram todos os encaixes como adequados. A professora 1 solicitou mais folga no encaixe entre o caule e o vaso. Além disso, ela pediu que a equipe pensasse numa forma de facilitar o encaixe entre as pétalas e o carpelo. Finalmente, pediu que o canal para o encaixe das letras fosse aumentado, para facilitar este encaixe. Ela comentou que este encaixe será particularmente difícil para os alunos cegos, porém é necessário treinar a coordenação motora fina e a sensibilidade tátil. Desta forma, a professora não indicou a necessidade de uma modificação na forma de encaixe, apenas um ajuste no dimensionamento que facilitasse o processo.

A terceira pergunta relaciona-se com as cores das peças, para pessoas com baixa visão. A professora 1 não respondeu esta pergunta. A professora 2 ponderou que alguns alunos com baixa visão confundem o verde e o azul, por isso ela sugeriu a cor branca para o vaso. A professora 3 avaliou as cores como adequadas.

A quarta pergunta trata do tamanho da letra em Braille, que foi construída no maior dimensionamento permitido pela NBR 9050 (ABNT, 2015). O dimensionamento foi considerado adequado pelas três professoras. Ainda sobre a letra em Braille, a quinta pergunta refere-se à necessidade de melhorar a identificação da cela Braille na peça, como um traço em relevo ou a cela toda mais alta em relação ao plano da letra em tinta. As professoras foram unânimes em dizer que não é necessário melhorar a identificação da cela Braille.

A sexta questão aborda a necessidade em manter a correlação entre a letra em Braille e a letra em texto, pois ambos os sistemas de leitura foram apresentados com letras minúsculas. A professora 1 não respondeu esta questão. As professoras 2 e 3 afirmaram que não é necessário manter esta correlação. As letras em Braille devem ser mantidas minúsculas, pois é desta forma que são apresentadas aos estudantes inicialmente. As letras em texto devem ser maiúsculas, pois facilitam a leitura por pessoas com baixa visão.

A sétima pergunta refere-se ao tamanho das letras em texto, que foi considerado adequado pelas duas professoras que não têm deficiência visual.

Com esta avaliação, o Jogo da Flor foi considerado aprovado pela equipe do projeto LABINC, sendo necessário realizar alguns ajustes dimensionais nas peças.

8 Considerações finais

A conexão entre a academia e o mercado permanece um desafio nos tempos atuais. Tais dinâmicas ainda se afastam em determinados processos de desenvolvimento, principalmente pelo fato do mercado exigir habilidades dos designers que, por ora, não fazem parte de sua formação. Uma destas habilidades é a experimentação em processos de Manufatura Aditiva. Assim, este artigo teve como objetivo descrever como o conhecimento sobre Manufatura Aditiva impacta o desenvolvimento de um produto quando opta-se por este processo para a fabricação direta. Para atingir este objetivo utilizou-se o Estudo de Caso como método de pesquisa.

O estudo descreveu como o conhecimento sobre Manufatura Aditiva influenciou o desenvolvimento do Jogo da Flor, um artefato concebido pelo projeto de extensão LABINC para a Secretaria Municipal de Educação do município de São José dos Pinhais, no Paraná. O jogo tem por objetivo auxiliar o aprendizado do sistema de leitura Braille para crianças cegas. O objetivo do projeto LABINC prevê que os materiais desenvolvidos terão seus modelos digitais disponibilizados de forma aberta e gratuita, para que qualquer pessoa ou instituição possa imprimir conforme sua própria demanda. Assim, o conhecimento sobre Manufatura Aditiva mostrou-se essencial para otimizar recursos no desenvolvimento deste tipo de artefato.

O objetivo deste artigo foi atingido na medida em que evidenciou aspectos do aprendizado sobre Manufatura Aditiva que mais impactaram no desenvolvimento do projeto. Foi possível descrever o quão relevante é o conhecimento sobre o software de fatiamento e as configurações possíveis para se realizar o processo de impressão. O conhecimento das características dos equipamentos, assim como a realização de procedimentos operacionais simples, como troca de filamento e nivelamento da mesa de impressão, se mostraram importantes tendo em vista o impacto que causam no processo de impressão em si e no produto final. Finalmente, a colaboração entre profissionais de diferentes formações, como Design e Expressão Gráfica, apresenta-se como uma alternativa eficaz para suprir a defasagem de conhecimento ofertado pela academia em relação ao conteúdo de Manufatura Aditiva. Contudo, integrar o ensino de Manufatura Aditiva nos cursos de design torna-se estratégico para preparar os estudantes para o mercado de trabalho atual. Ao fornecer um currículo que abrange estas tecnologias, juntamente com uma abordagem prática e colaborativa, as instituições de ensino podem capacitar os futuros designers com as habilidades necessárias para inovar e liderar na indústria.

Os resultados deste artigo não esgotam o tema do domínio do conteúdo sobre Manufatura Aditiva por designers. Pelo contrário, evidenciam a premência de continuidade de pesquisas que subsidiem a elaboração de currículos pelas instituições de ensino. Desta forma, sugere-se como estudo futuro a descrição e o comparativo entre disciplinas que abordem o conteúdo de Manufatura Aditiva em cursos de design e no curso de Expressão Gráfica. Outro estudo possível seria a análise do comportamento de equipes formadas apenas por estudantes, com e sem o domínio do conteúdo sobre Manufatura Aditiva, podendo ser estudantes de Design apenas ou ainda, estudantes de Design e de Expressão Gráfica, com vistas ao impacto da colaboração sobre o desenvolvimento do produto.

9 Referências

3DLAB - Soluções em Impressão 3D. **O que é impressão 3D?** Ebook. Disponível em: <https://conteudo.3dlab.com.br/c70e1c7b31b222b99385> Acesso em: 18 jun. 2024a.

_____. **20 principais erros de impressão e como resolvê-los. Guia completo.** Ebook. Disponível em: https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/40507/155057919820_erros.pdf Acesso em 19 jun. 2024b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9050:** Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ANDRADE, Andrea F. **Proposta de Projeto de Extensão Universitária. LABINC - Laboratório de Inclusão.** Curitiba: UFPR, 2019. (Não publicado)

ANDRADE, Andrea F.; AGUIAR, Bárbara de C. X. C.; MARCHI, Sandra R. **Tabela Periódica Tátil: um estudo a partir da Prototipagem Rápida no âmbito do Desenho Universal.** In: Tecnologia Assistiva: Projetos e Aplicações. Bauru: Canal 6, 2021.

BRASIL. **Resolução CNE/CES 5/2004** - Aprova as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Design e dá outras providências. MEC: Brasília/DF, 2004.

CARBONI, M. H. S.; SCHEER, S. **A manufatura aditiva como suporte à aprendizagem colaborativa e interdisciplinar em AEC: uma experiência integradora com o futuro profissional de expressão gráfica.** Gestão & Tecnologia de Projetos. São Carlos, v 18, n 1, 2023.

GRAY, David E. **Pesquisa no Mundo Real.** 2ed. Porto Alegre: Penso, 2012.

HEEMANN, Adriano; LIMA, Patrícia J. V.; CORRÊA, Jeandrey S. **Fundamentos para o alcance da colaboração em design.** Estudos em Design, v. 18, n. 2, p. 1338-1349, 2010.

Lira, Valdemir M. **Processos de fabricação por impressão 3D: Tecnologia, equipamentos, estudo de caso e projeto de impressora 3D.** Disponível em: Minha Biblioteca, Editora Blucher, 2021.

MARQUES, Carolina de O. **O ensino e o mercado de trabalho na área de design.** Dissertação (Mestrado em Design) - Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Bauru, p. 104. 2010.

MINEIRO, Ériko; MAGALHÃES, Cláudio. **Da Fabricação Digital para o Design: propriedades emergentes e implicações.** In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design - P&D Design 2018, Joinville, 5 a 8 nov. 2018. Anais... Joinville: Univille, 2018.

NAVEIRO, Ricardo M.; PEREIRA, Regina C. de S. **Viewpoint - Design education in Brazil.** Design Studies, n. 29, p. 304-312, 2008.

PARANÁ. Secretaria de Educação do Estado do Paraná. **Impressão 3D: imaginar, planejar e materializar.** Ebook. 2018. Disponível em: http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/seed_lab/caderno impressao 3d.pdf Acesso em: 19 jun. 2024.

SILVA, Arabella N. G.; HEEMANN, Adriano. **Os componentes da colaboração na educação em design.** In: Revista Plural Design. Joinville, v.3, n.1, 2020.

SILVA, Arabella N. G.; ANDRADE, Andrea F.; SILVA, Igor. T.; VALDIR, Luana Z.; ALMEIDA, Mariana R. P.; BARANIUK, Nicolas de M. **O uso do Design Thinking para desenvolver materiais didáticos**

inclusivos. In: 4º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologia Assistiva 2013, Florianópolis, 6 a 10 nov. 2023. Anais... Florianópolis: UDESC, 2023.

SANTOS, Jorge R. L. dos. **A manufatura aditiva em design de produtos.** In: VOLPATO, Neri. *Manufatura aditiva; Tecnologias e Aplicações da Impressão 3D*. Disponível em: Minha Biblioteca, Editora Blucher, 2017.

VOLPATO, Neri; CARVALHO, Jonas de. **Introdução à manufatura aditiva ou impressão 3D.** In: VOLPATO, Neri. *Manufatura aditiva; Tecnologias e Aplicações da Impressão 3D*. Disponível em: Minha Biblioteca, Editora Blucher, 2017.

VOLPATO, Neri; SILVA, Jorge V. L. da. **Aplicação direta da manufatura aditiva na fabricação digital.** In: VOLPATO, Neri. *Manufatura aditiva; Tecnologias e Aplicações da Impressão 3D*. Disponível em: Minha Biblioteca, Editora Blucher, 2017.

WÜTHRICH, M.; GUBSER, M.; ELSPASS, W.J.; JAEGER, C. **A Novel Slicing Strategy to Print Overhangs without Support Material.** Appl. Sci. 2021, nº 11, 8760, p. 1 - 21. <https://doi.org/10.3390/app11188760>.

YIN, Robert K. **Estudo de caso.** Planejamento e métodos. 2ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.