

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS DE PROJETOS DE INSTRUMENTOS DE SOPRO POR MEIO DE IMPRESSÃO 3D

STUDY OF TECHNICAL VIABILITY AND PARAMETER DEFINITION FOR WIND INSTRUMENTS PROJECTS MADE WITH 3D PRINTING

MENDES, Lucas Façanha; Bacharelado; Universidade Federal de Juiz de Fora
lucas.facanha@estudante.ufjf.br

QUINTANA, Caio Costa; Bacharelado; Universidade Federal de Juiz de Fora
quintana.caio@estudante.ufjf.br

SANTOS, Ivan Mota; Doutorado; Universidade Federal de Juiz de Fora
ivan.santos@ufjf.br

Resumo

Este artigo apresenta os resultados de pesquisa sobre manufatura aditiva utilizada para a produção de instrumentos musicais, mais especificamente, de sopro, visando a viabilidade de se projetar e imprimir uma trompa brasileira funcional. A pesquisa busca validar a possibilidade de uso da tecnologia no desenvolvimento deste nicho específico. Focando em projetos existentes distribuídos de forma gratuita online, suas particularidades e parâmetros para garantir a melhor qualidade de som e impressão dos instrumentos, incluindo testes e análises de impressão baseados nos parâmetros fornecidos, para compreender e determinar os melhores a serem utilizados no projeto final. Foi possível concluir ao final dos testes diversos parâmetros que buscam simplificar o processo de impressão, especialmente de instrumentos musicais para os usuários mais casuais dessa tecnologia, assim abrindo espaço para que mais pessoas possam ter acesso a esse tipo de produto.

Palavras Chave: manufatura aditiva; instrumentos de sopro; viabilidade técnica.

Abstract

This article presents the results of a research about additive manufacturing utilized for the production of musical instruments, more specifically, wind instruments, looking for the possibility of producing and printing a functioning Brazilian horn. The research aims to validate the possibility of the use of this kind of technology on the development of this specific niche. Focusing on existing projects distributed for free online, its particularities and parameters to guarantee the best sound quality and instrument printing, including tests and printing analysis based on the provided parameters, to comprehend and determine the best ones to be utilized on the final project. It was able to conclude at the end of tests different parameters that aim to simplify the printing process, specifically for musical instruments for the more casual users of this kind of technology, in that way, making way so that more people can have access to these products.

Keywords: additive manufacturing; musical instruments; technical viability.

1 Introdução

O processo de impressão 3D ganha mais espaço anualmente com o avanço das tecnologias aplicadas, e apresenta a possibilidade de permitir que o acesso a itens com processos de fabricação complexos e caros seja facilitado para inúmeras pessoas com o quão comum essa tecnologia vem se tornando. Assim, o foco deste trabalho é validar a capacidade do uso da manufatura aditiva para a reprodução de instrumentos musicais, mas especificamente dos tipos de sopro.

O desenvolvimento de modelos de instrumentos para a impressão 3D hoje em dia apresenta uma vasta gama de projetos de instrumentos de corda, principalmente os menores como ukuleles e violinos, entre os de sopro se destacam flautas doces, flautas tradicionais como shakuhachi (figura 1), kazoos, gaitas, é possível encontrar modelos prontos para esses instrumentos em sites de distribuição de projetos.

Figura 1 - Shakuhachi impressa em 3D



Fonte: SIMIAN (2023)

Segundo Simian (2023), o futuro da manufatura aditiva (MA) para a produção de instrumentos musicais encontra dois caminhos principais, o seu uso para a criação de um instrumento completamente novo, que deveria se manter exclusivo para o processo de produção por MA, ou então encontrar um nicho de mercado onde esse método possa ser aplicado de forma que seja mais vantajoso para um usuário a utilização desse produto ao invés de um instrumento feito por um luthier com técnicas tradicionais de produção.¹

Existem diversos projetos no meio acadêmico sobre o estudo de produção de boquilhas com tecnologia de manufatura aditiva, porém projetos focados em instrumentos da família dos

¹ No original: The first one would be to innovate and develop an entirely new, AM-native instrument (which could only be manufactured through AM) successfully. [...] The second possible line for an AM musical instrument to be successful would be through a fitting market niche, similar to the one AM hearing aids and dental implants have found [...] AM can open new possibilities for musical instrument development and production, although finding fitting niches for these new alternatives can be challenging. [...] The natural sweet spot of AM is somewhere in between those extremes in a yet-to-be-developed middle-range market space. (SIMIAN, 2023)

metais são os mais escassos, Olaf Diegel projetou um saxofone funcional em 2014, feito com pó de nylon, material utilizado em tecnologias de sinterização (SLS).

Em um estudo realizado por Damodaran (2021), apresenta-se que 40% das impressoras utilizadas eram por tecnologia de *Fused Deposition Modelling* (FDM), e esse número pode ser maior hoje em dia, uma vez que sua patente foi liberada publicamente em 2012, responsável pelo seu crescimento nos últimos anos.

Dessa forma, o foco dessa pesquisa é coletar e reunir informações para a implementação dessas técnicas em impressões 3D com FDM junto com processos de finalização, estudando os avanços na tecnologia utilizadas desde o projeto de flauta transversal (figura 2) de Amit Zoran de 2011, ampliando também as técnicas para a aplicação desses métodos em outros instrumentos de sopro produzidos à partir da impressão 3D.

Figura 2 - Peças do projeto de flauta transversal



Fonte: Zoran (2011)

Usando como base as pesquisas de Ricardo Simian sobre impressão 3D de instrumentos de sopro e o uso de tecnologias de MA neste nicho e os projetos voltados para a família dos metais de Amit Zoran e Olaf Diegel, esse projeto almeja gerar conteúdo para o desenvolvimento de mais instrumentos similares com técnicas tradicionais aplicadas a manufatura aditiva.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Essa pesquisa almeja determinar a viabilidade do uso de manufatura aditiva para projetar instrumentos de sopro, utilizando técnicas desta tecnologia e explorando as possibilidades permitidas para o melhor desenvolvimento de um projeto futuro de reprodução de uma trompa brasileira.

2.2 Objetivos Específicos

- Definir e registrar parâmetros para impressão 3D de instrumentos de sopro da família dos metais;

- Traçar parâmetros importantes para técnicas de finalização dos modelos impressos, especialmente para impressão por Fused Deposition Modeling (FDM);

3 Método

A pesquisa desse projeto foi estruturada com base nos modelos metodológicos propostos por Munari (1981) e Moraes (2010) sendo dividida em 4 etapas:

Etapa 1 - Definições Iniciais: Consistindo na definição dos objetivos do projeto e da metodologia a ser utilizada, e a seleção dos estudos de caso mais relevantes para o desenvolvimento da pesquisa e entendimento do escopo projetual possível.

Etapa 2 - Aprofundamento de Pesquisa: A partir da seleção dos principais projetos dentro do nicho escolhido, é necessário construir uma base de dados

Etapa 3 - Estudo dos Projetos: Essa etapa consiste em estudar, analisar e comparar parâmetros propostos de impressão a partir dos dados coletados e assim podendo compreender melhor os aspectos projetuais e de produção a serem focados nas etapas futuras do projeto.

Etapa 4 - Construção de Hipóteses: Com todos os dados registrados e estudados, essa etapa tem como objetivo definir os parâmetros de modelagem e impressão, a partir dos projetos selecionados, que serão utilizados na etapa projetual.

3.1 Pesquisa

Existe uma extensa literatura envolvendo o uso de manufatura aditiva para facilitar processos de fabricação em busca de ampliar o acesso e reduzir custos de produção, consequentemente reproduzir instrumentos musicais de diversos tipos, que historicamente possuem preços altos e métodos produtivos complexos. A intenção principal da pesquisa é validar o enquadramento deste projeto dentro de um nicho específico do mercado, viabilizando seu desenvolvimento utilizando a manufatura aditiva e suas principais características que a diferenciam dos métodos de produção tradicionais.

3.2 Benchmarking

Essa etapa do projeto consistia em coletar projetos que possuíam quaisquer parâmetros de impressão disponíveis em suas páginas que pudessem servir de referência para a criação do benchmark. Também é incluído nessa etapa, o estudo de materiais que poderiam ser utilizados no projeto final, podendo a partir da análise de todos os dados coletados chegar a uma conclusão dos elementos essenciais para o projeto.

Os instrumentos selecionados foram exclusivamente de sopro, por conta de suas particularidades de produção que são determinantes para o bom desenvolvimento da trompa, uma vez que projetos de instrumentos de corda e percussão para impressão 3D tem suas próprias características que não são relevantes para os de sopro. Dentre eles foram selecionados: gaita, ocarina, flauta doce, shakuhachi, saxofone, trompa francesa e flauta transversal.

O foco principal desta coleta foi registrar os parâmetros sugeridos pelos desenvolvedores destes projetos, sendo de primordial importância o uso ou não de suportes, a ordem de impressão das paredes e suas espessuras. A partir dos projetos selecionados foi possível observar a necessidade de análises dos instrumentos de forma que pudessem ser comprovadas as indicações de impressão.

3.3 Resultados Esperados

Espera-se a partir da pesquisa realizada, construir um painel de atributos que possa contribuir para o desenvolvimento do projeto de modelagem e impressão do instrumento, a partir de selecionar os parâmetros mais adequados para cada especificidade encontrada no desenvolvimento projetual. Dessa forma, permitindo não só o desenvolvimento da trompa brasileira como também podendo ser utilizado em outros projetos similares para outros instrumentos.

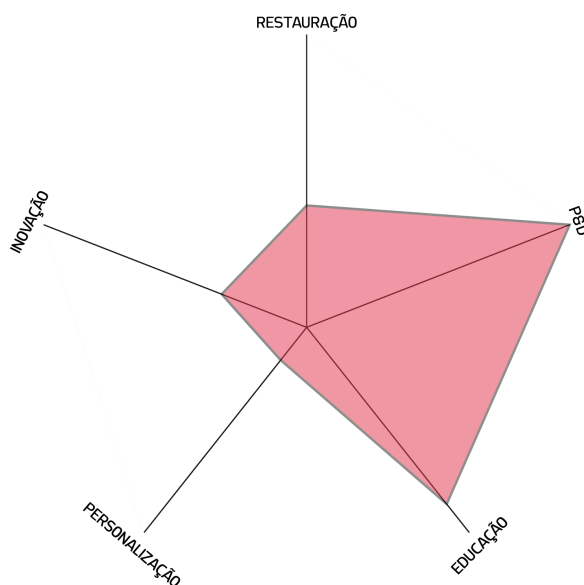
4 Resultados

4.1 Validação do processo

A partir da pesquisa realizada foi possível caracterizar o futuro projeto da trompa brasileira dentro de valores apresentados por Damodaran; Sugavaneswaran; Lessard (2021), fatores para aplicação de MA pertinentes para instrumentos de sopro, sendo eles: restauração, pesquisa e desenvolvimento, educação e treinamento, personalização e inovação. Na pesquisa realizada foi apontado uma grande desproporção entre os projetos de restauração e os outros, representando 50% dos estudos, o que por um lado mostra como a tecnologia de impressão 3D auxilia no estudo de instrumentos antigos e ajuda a preservar culturas passadas, mas também demonstra um grande espaço nos outros nichos de utilização da MA como base para o aprimoramento do mercado de instrumentos musicais.

Esse fato é comprovado pelo estudo de Simian (2023), onde a partir do estudo de 5 casos distintos, observa-se muito espaços no mercado onde a utilização da MA pode ser relevante além da restauração e preservação de instrumentos como a shakuhachi e o faggotini citados, mas também a inovação, como proposto por Zoran (2011) ou reunir educação e desenvolvimento como a proposta da trompa brasileira. A partir desse estudo, é possível encaixar as características pretendidas para o desenvolvimento da trompa dentro deste espaço nas estrelas de valores propostas.

Figura 3 - Estrela de Valor proposta por Damodaran, Sugavaneswaran e Lessard (2021)



Fonte: o autor

O projeto se encaixa nos fatores propostos no estudo acima, principalmente nas categorias de educação e treinamento e pesquisa e desenvolvimento, representando o foco em desenvolver e expandir a capacidade de produzir diversos instrumentos de sopro, saindo de instrumentos pequenos como a gaita e as flautas, partindo para instrumentos maiores como a trompa em uma escala mais casual pela disponibilização virtual gratuita, ao contrário de apenas projetos acadêmicos e representando também o foco extensionista ligado ao projeto após a validação e execução do projeto futuro.

4.2 Análise dos Parâmetros

4.2.1 Suportes

A necessidade de suportes se torna uma questão delicada quanto a superfície interna das peças, para um instrumento de sopro, é extremamente necessário que todas as passagens de ar sejam livres e possam propagá-lo sem interferências, e a ausência ou presença dos suportes para impressão se tornam questionáveis quando são provavelmente necessários pelo formato de um instrumento e as limitações de impressão, no caso de uma ocarina (figura 4), indicada sem suporte, se torna necessário observar internamente se é prudente imprimir tal peça dessa forma visando a melhor superfície.

Figura 4 - Ocarina impressa em 3D



Fonte: <<https://www.printables.com/model/474058-ocarina-of-time-12-hole-alto-c-ocarina>>

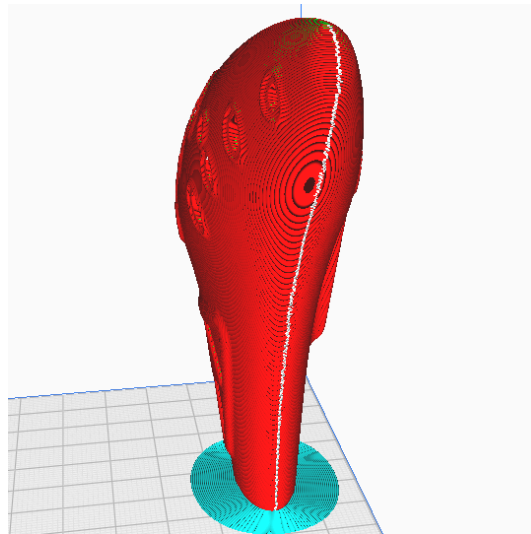
Outros projetos analisados foram os de saxofone de Olaf Diegel e a flauta transversal de Amit Zoran, as informações coletadas sobre os projetos traziam uma visão diferente, com os ambos os projetos fazendo uso dos suportes mostram uma outra perspectiva, onde apesar da necessidade das passagens limpas, os suportes garantem uma melhor construção das camadas deste projeto. Entre eles, o projeto de Zoran possuía a possibilidade de acessar o arquivo original do projeto de 2011, o que possibilita o estudo do projeto de maneira mais minuciosa e permite a comparação das análises feitas em seu artigo com as tecnologias disponíveis na época com os resultados que podem ser obtidos hoje.

4.2.2 Ordem de Impressão

Outra questão interessante encontrada no projeto da ocarina foi a referência a ordem de

impressão das paredes, sendo recomendado a impressão de fora para dentro, permitindo uma maior constância no interior do instrumento. Considerando que a superfície interna da peça terminar lisa e sem interferência é de extrema importância, essa característica é essencial para uma boa impressão que garanta a melhor qualidade sonora. Por conta do funcionamento das impressoras 3D e sua movimentação, algo muito comum em peças são as linhas de costura, que são os pontos onde uma camada termina e outra se inicia, formando pequenas bolhas de material que pelo contato com o bico aquecido formando superfícies menos lisas como apresentado na figura 5.

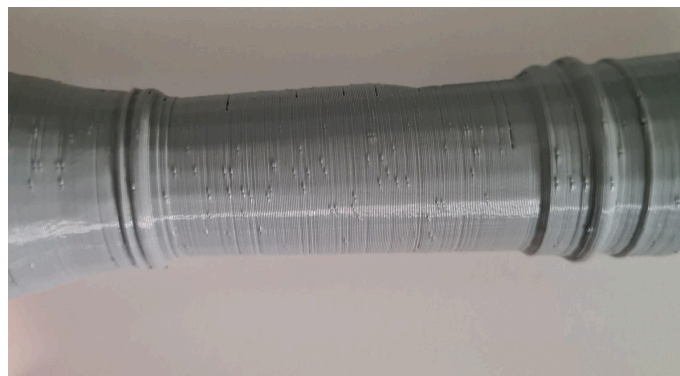
Figura 5 - Representação das linhas de costura pela cor branca



Fonte: o autor

Portanto, uma técnica muito utilizada por proprietários de impressoras é imprimir a peça de dentro para fora, assim, quando o código de impressão iniciar outra camada, as marcas de costura se encontrarão dentro da peça permitindo uma finalização mais limpa da peça, porém para os casos expostos no benchmark, é necessário eliminar essa opção e realizar a impressão de fora para dentro para garantir a melhor superfície interna. No entanto, é possível remediar o fator estético utilizando outra técnica que consiste em configurar a impressão para que o começo de cada ponto se inicie em uma posição aleatória, o que torna a superfície mais consistente, principalmente em peças cilíndricas, como representado na figura 6.

Figura 6 - Representação da técnica descrita



Fonte: o autor

4.2.3 Espessura das paredes

Dentre os parâmetros observados, a espessura das paredes foi um dos mais presentes, é geralmente o aspecto mais ajustado entre projetos variados pela sua capacidade de permitir uma gama de funções aos materiais quando unidas a outros fatores como o preenchimento de uma peça. Pela forma de construção de camadas da manufatura aditiva, mais especificamente por FDM, o processo de formação das paredes requer atenção especial, uma vez que muito finas, permitem a passagem do ar pela pressão interna de um sopro, o que diminui altamente a qualidade sonora emitida pelo instrumento impresso.

4.2.4 Preenchimento, resolução e materiais

Unindo os dados apresentado quanto a espessura das paredes à quantidade de preenchimento indicada é possível imprimir uma peça com paredes muito resistentes que permitem o ar passar pelo interior da peça sem perder sua pressão e chegar o mais perto possível do tom pretendido como apresentado por Damodaran, Sugavaneswaran e Lessard (2021).

É necessário levar em consideração os níveis de desgaste da peça quando relacionasse a porcentagem do *infill*², em um estudo realizado pelo Departamento de Engenharia Mecânica da *Petroleum-Gas University of Ploiesti* da Romênia, que comparava entre os materiais PLA e ABS relacionando a quantidade de preenchimento com a resolução da impressão, o resultado da pesquisa concluiu que entre 50% a 100%, o que apresentou melhor resultado foi o *infill* de 50% com as resoluções mais baixas entre 1 mm e 1.5 mm.

Quando se compara os resultados apresentados no estudo com os parâmetros sugeridos pelos projetistas, que variam entre 15% a 20%, é notável uma distância significativa, porém é necessário levar em consideração as atribuições desses projetos, uma vez que são disponibilizados para fins acadêmicos ou usos casuais. Assim, com o escopo do projeto sendo para ensino e aprendizado da trompa, o manuseio é mais intenso e com o preenchimento elevado que 20% e abaixo de 50% é possível que a resistência do instrumento seja melhor para que seja mais durável e possa ser utilizado mais vezes e por pessoas mais inexperientes e não acostumadas com um instrumento de tal tamanho.

4.2.5 Complexidade do modelo e montagem

Um aspecto observado nos projetos selecionados foi a quantidade de peças impressas e seu processo de montagem, com o foco na impressão casual foi importante registrar o quão comum são as impressões em diversas peças em relação a projetos “*print-in-place*”³. Entre os analisados, 2 a 4 peças se torna um padrão entre os instrumentos, o que pelo espaço das mesas de impressão mais comuns, perto dos 20 centímetros para cada lado, é uma visão justificável uma vez que se divide o tempo total de impressão e espaço necessário na mesa, garantindo que os riscos de uma falha durante a impressão ocorra e evitando desperdício de material e diminuindo o

² *Infill* é o nome em inglês que indica o preenchimento de uma impressão 3D.

³ Projetos *print-in-place* são projetos onde todas as peças são impressas juntas e já posicionadas, necessitando apenas que limpem os suportes usados e não necessita de nenhuma montagem extra, geralmente são projetos mais complexos e que dependem de uma impressora muito calibrada, material de qualidade e impressão de alta qualidade.

tempo de uso sequencial da máquina.

Porém, principalmente para instrumentos de sopro, um ponto importante a se considerar é a forma como essas peças se unem, uma vez que a pressão do ar é de extrema importância, qualquer espaço livre dentro do corpo pode ser um caminho de vazamentos que tornaria o instrumento desafinado ou provavelmente até inutilizável.

Entre algumas formas apresentadas para união das peças existem os encaixes simples, roscas e encaixes com supercola, todos tem seu valor para o processo mas carregam com si uma complexidade para a montagem e para a impressão.

Por um lado, as roscas simplificam a montagem do instrumento já que podem deixar todas as partes alinhadas sem necessidade de muita atenção do montador mas apresentam um desafio técnico de calibração, uma vez que requerem um nível de atenção especial nas suas tolerâncias de materiais diferentes podem apresentar valores distintos.

Já os encaixes simples são mais simples de encaixar e podem ser lixados se necessário, mas requerem uma atenção aos detalhes para alinhar bem e permitir o funcionamento correto do instrumento, o uso da super cola evita que existam passagens de ar que atrapalhem a afinação e controle do fluxo de ar dentro da peça.

4.3 Relatos de testes de impressão

Todos os testes de impressão descritos abaixo foram realizados em uma impressora “Ender 3 V3-SE” da marca “Creality” e material PLA da marca “Voolt” com as seguintes configurações a menos que requisitado um parâmetro diferente pelo projeto:

Tabela 1 – Configurações básicas da impressora utilizada

Parâmetro	Valor registrado
Velocidade do preenchimento	180 mm/s
Velocidade da primeira camada	30 mm/s
Temperatura	185 °C
Resolução	0.2 mm
Diâmetro do bico	0.4 mm
Espessura das paredes	0.8 mm

Fonte: o autor

4.3.1 Ocarina

O primeiro projeto selecionado para testar os parâmetros foi a ocarina, com a promessa de ser impressa sem suportes. Atentando-se às recomendações de impressão sem quaisquer alterações adicionais além das indicadas, as peças 1 e 2 (figura 7) apresentaram uma resistência muito baixa já nos primeiros 30 minutos de impressão, causada pela baixa área de contato da peça com a mesa, apresentando suas falhas quase na mesma altura de impressão.

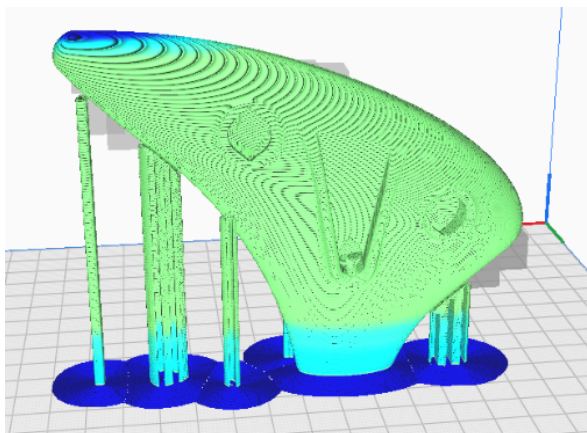
Figura 7 - Peças 1 e 2



Fonte: o autor

A partir dessas impressões, a necessidade de suportes se mostrou importante apesar das indicações, então, para evitar que esse recurso interferisse com o instrumento foram posicionados somente nas extremidades e ao redor das partes mais frágeis que se desprenderam nos testes iniciais, resultando na estrutura apresentada na figura 8.

Figura 8 - Estruturação para impressão



Fonte: o autor

Junto aos suportes, a área de aderência à mesa também foi aumentada com a intenção de permitir as melhores chances para a impressão, que resultaram em peças que apresentaram falhas mais cedo, a partir disso, as velocidades de impressão tanto dos *brims*⁴ quanto das paredes foram reduzidas para tentar remediar as falhas, porém, apesar de um resultado melhor que a peça 3, ainda continuam inferiores às peças 1 e 2, é possível observar a diferença entre as peças na figura

⁴ Brims são formados na primeira camada de impressão gerando uma maior área de contato com a mesa provendo uma maior estabilidade da peça durante a impressão.

9 e os parâmetros utilizados e alterados entre cada teste no quadro 1.

Figura 9 - Peças 1 a 4



Fonte: o autor

Por fim, o último teste foi realizado com uma velocidade menor e um *brim* muito mais largo que os últimos, menos preenchimento e sem os suportes, tentando manter a proposta original de impressão optando pela impressão mais lenta e com a base maior para buscar uma maior sustentação. A diminuição na quantidade de *infill* e especificamente o padrão giroide, para tentar evitar ao máximo o tráfego do bico no corpo do instrumento durante a impressão, para diminuir um possível impacto de algum resquício de material que poderia gerar uma mínima força fazendo a base menor se descolar da mesa, perdendo todo o progresso.

Figura 10 - Peça 5, resultado final



Fonte: o autor

A ocarina não apresentou muito *stringing*⁵ internamente, o que auxilia em todas as questões expostas previamente sobre as superfícies lisas no interior da peça permitindo que emita

⁵ Stringing é um verbo utilizado para indicar restos de material que são puxados da ponta da extrusora ao final de uma camada ou durante uma movimentação formando linhas muito finas, geralmente causadas pela presença de umidade no material ou temperaturas muito elevadas.

o som suficientemente bem, seriam necessários aparelhos de precisão para determinar a afinação precisa do instrumento mas funciona bem para uma impressão casual.

Abaixo estão descritos todos os parâmetros relevantes utilizados nos 5 testes de impressão realizados:

Tabela 2 – Configurações utilizadas para os testes de impressão da ocarina

Parâmetro	Peça 1	Peça 2	Peça 3	Peça 4	Peça 5
Velocidade do preenchimento	180 mm/s	180 mm/s	150 mm/s	150 mm/s	130 mm/s
Velocidade da primeira camada	30 mm/s	30 mm/s	30 mm/s	10 mm/s	10 mm/s
Suporte	Sem suporte	Sem suporte	Adaptados	Adaptados	Sem suporte
Largura do Brim	8 mm	8 mm	12 mm	16 mm	24 mm
Preenchimento	20%	20%	20%	20%	15%
Espessura das paredes	0.8mm	0.8mm	0.8mm	0.8mm	0.8mm
Tempo total	4h06min	4h06min	5h28min	5h45min	4h35min

Fonte: o autor

Ao alterar a velocidade do preenchimento, a redução permitiu que a peça não corresse tanto risco de movimentações bruscas e permitiu a estabilização mais forte sob a mesa. Enquanto a velocidade da primeira camada garantiu que o brim e a base se fixassem melhor na mesa e não corresse o risco de alguma linha não ser impressa propriamente.

A troca dos suportes adaptados para a retirada completa foi possível uma vez que a peça conseguiu alcançar uma estabilidade maior, também pelo aumento do brim, que permitiu sua impressão normalmente, tornando seu tempo de impressão menor e compensando a diminuição da velocidade.

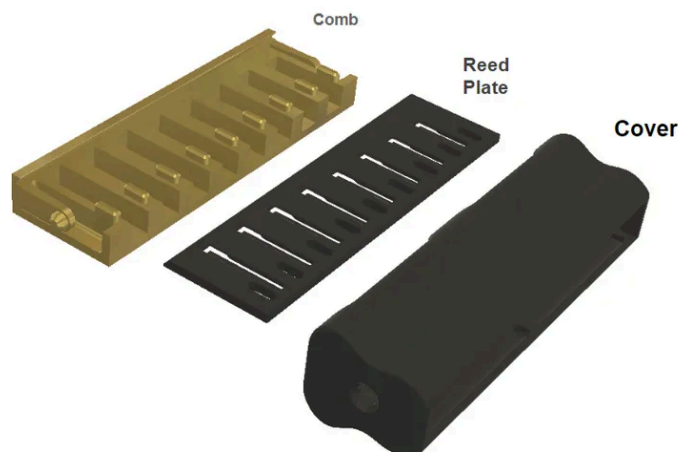
Também buscando diminuir o tempo de impressão e aumentar a estabilidade, uma leve diminuição na porcentagem de *infill* foi capaz de auxiliar nessas questões, totalizando uma impressão 29 minutos maior do que o proposto mas com parâmetros muito mais firmes e que ajudam na qualidade final da peça.

4.3.2 Gaita

O segundo projeto analisado foi a gaita “Prusa Mouth Organ”, alguns pontos principais que chamam a atenção nesse projeto são o requisito para a peça *Reed Plate* que necessita que a base da peça possua apenas uma camada antes de se iniciar o *infill*, é importante notar que para que a peça seja bem sucedida é necessário que ela seja impressa perfeitamente, uma vez que se houver um espaço mal feito durante o processo, o ar que entrará poderá ser mal dispersado e o som não se propagará como deveria em alguma nota. Esse foi o resultado da primeira impressão, onde por uma calibragem errada, a camada não teve o melhor resultado, causando problemas no encaixe e

no som final.

Figura 11 - Peças da gaita



Fonte: <https://www.printables.com/model/489359-the-prusa-mouth-organ-a-printable-harmonica>

Após ser reimpressa, apresentou um resultado satisfatório e que comprova a diferença nítida entre a calibração entre máquinas, também foi possível observar melhor como a camada única na parte inferior funciona como uma técnica e auxilia na modelagem, formando a fina linha que funciona como as finas tiras de metal das gaitas originais gerando as vibrações.

Figura 12 - Base da gaita com seus encaixes



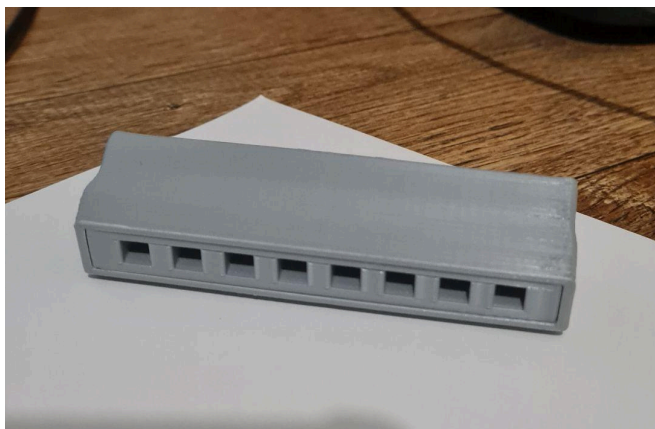
Fonte: o autor

As outras duas peças podem ser impressas sem parâmetros específicos, então possuem processos de impressão mais simples, os encaixes são simples e a tolerância é justa para garantir a estabilidade do instrumento. Porém, é importante notar que se fossem impressas seguindo os parâmetros da *reed plate* seriam peças frágeis e não teriam a qualidade necessária para realizarem suas funções de encaixe e sustentação.

O instrumento não precisou de diversos testes para a montagem final, a base reta da peça *comb* permitiu uma boa impressão e suas formas não são complexas então não tiveram muitos problemas. Já para a capa foi utilizado um brim interno que permitia uma maior estabilidade necessária por sua forma curva e a necessidade de ser impressa verticalmente. Por conta de uma falha técnica a impressão não foi concluída nos últimos 10 minutos mas não houve impacto no

resultado final, uma vez que são apenas detalhes estéticos.

Figura 13 - Gaita montada



Fonte: o autor

4.3.3 Flauta Doce

Outro projeto analisado foi a flauta doce simples, composta por 3 peças com encaixes simples que são presas por supercola, requerem uma impressão sem suporte de uma peça cilíndrica. Foi possível aplicar nela aspectos descritos anteriormente como os inícios aleatórios garantindo uma peça mais uniforme sem as marcas de costura.

A peça inicial se contrapôs em relação a ocarina, uma vez que também não apresentava a necessidade de suportes, a parte do bocal da flauta tinha sua área externa completamente suspensa gerando áreas de *overhang*⁶ que visivelmente não atrapalham no resultado visual final e ainda permitem o som, mas necessitam de uma avaliação profissional para verificar a afinação.

Ao final também preocupa a afinação dos espaços por onde o som sai, uma vez que também geraram *overhangs*, como é possível observar na figura abaixo, mas no geral foi uma impressão mais simples e que aponta preocupações específicas de um aspecto comum do projeto.

Figura 14 - Peça inicial da flauta doce



⁶ Overhangs são áreas suspensas que necessitam que a impressora libere o material sem nenhum suporte embaixo e requer uma calibração de velocidade e temperatura que permita que o não haja o derretimento muito rápido e a linha se estique demais antes de se firmar.

Fonte: o autor

5 Conclusões

A partir do estudo realizado foi possível observar as possibilidades que a manufatura aditiva pode proporcionar no nicho para instrumentos de sopro, a amplitude de produção pode permitir a reprodução de instrumentos de complexidade cada vez mais elevada. Foi possível observar uma grande presença de instrumentos de corda durante a pesquisa, que apresentam um nível de complexidade inferior ao se comparar com o proposto.

Concluindo todas as análises e pensando em utilizar esse parâmetros para simplificar o uso da impressão 3D para esses instrumentos serem impressos por hobbistas, foi possível chegar aos parâmetros mais adequados e que obtivessem os melhores resultados com o menor gasto de material desnecessário e uso de tempo de impressão mas focando na segurança de uma impressão limpa que não corra o risco de ser perdida por questões mais básicas de configuração.

Os suportes apesar de sua condição para a estabilidade e impressão de um objeto se mostraram como partes extras que podem ser contornadas focando em outros aspectos de impressão, evitando o desperdício do material, se for possível, é de grande importância e ajuda para o usuário manter os suportes em sua quantidade mínima. Com uma boa aderência na mesa, materiais de qualidade e as calibrações corretas foi possível imprimir a ocarina como foi pretendido e é possível replicar esses efeitos de modo a permitir os princípios definidos. Porém é importante notar que, o uso de suportes ainda é recomendado em casos de impressões acima do ângulo que a impressora é capaz de realizar, em situações com *overhangs* em partes extremamente necessárias, o suporte ainda é de extrema importância.

Quanto a aderência, foi possível observar o seu papel já extremamente importante para o processo ser capaz de substituir elementos intrínsecos da impressão 3D se bem trabalhados, o proposto seria buscar por aderência de *brims* acima de 12mm para garantir a melhor sustentação de peças com bases finas, em casos como a gaita o *brim* não se mostra necessário, do mesmo modo como suportes. O preenchimento se mostrou um aspecto de extrema importância que não apresenta tantos problemas no processo de impressão, mas pode alterar o resultado final total de uma peça em relação ao som e a forma como suas paredes funcionam e como isso afeta a resistência do material. Utilizando o estudo de Portoacã como base para os testes, é possível chegar a uma quantidade entre 20 a 40% como quantidade que permite à peça ter uma resistência adequada sem utilizar muito tempo de impressão.

Tabela 3 – Painel de parâmetros ideais

Parâmetro	Valor registrado
Suportes	Mínimo possível / Externos
Aderência	Brims de pelo menos 12 mm
Espessura das paredes verticais	0.8 mm
Espessura das paredes horizontais	0.8 mm
Resolução	0.2 mm
Preenchimento	20 a 40%

Fonte: o autor

Com esse escopo gerado é possível aplicar esse pensamento projetual para futuros instrumentos de sopro, considerando seus formatos, formas de montagem, materiais e onde é possível simplificar o processo para melhorar a qualidade e diminuir o tempo de impressão, assim permitindo que cada vez mais a impressão 3D seja um caminho viável como processo para reproduzir ou produzir algo.

Nota-se que todos os instrumentos imitaram sons semelhantes às suas contrapartes originais, uma possibilidade futura é realizar testes de impressão completos utilizando diferentes parâmetros para analisar o quanto o preenchimento, por exemplo, pode alterar as frequências tonais e o timbre dos instrumentos.

6 Referências

DAMODARAN, Ajith; SUGAVANESWARAN, M.; LESSARD, Larry. **An overview of additive manufacturing technologies for musical wind instruments**. SN Applied Sciences, Suíça, v. 3, 20 jan. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s42452-021-04170-x>>. Acesso em: 5 mai. 2024.

DABIN, Matthew; NARUSHIMA, Terumi; BEIRNE, Stephen T.; RITZ, Christian H.; GRADY, Kraig. **3D Modelling and Printing of Microtonal Flutes**. Proceedings of the 16th International Conference on New Interfaces for Musical Expression, Brisbane, Austrália, 13 fev. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1117/2.1201508.006082>> . Acesso em: 08 abr. 2024.

FANTA, Michal. The Recorder Flute. Printables, 2023. Disponível em: <<https://www.printables.com/model/94103-the-recorder-flute>>. Acesso em: 03 mai. 2024.

FEITOSA, Radegundis Aranha Tavares. **O ensino de trompa: um estudo dos materiais didáticos utilizados no processo de formação do trompista**. 2013. 118 f. Dissertação (Mestrado em Música) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

KANTAROS, Antreas; DIEGEL, Olaf. **3D printing technology in musical instrument research: Reviewing the potential**. Rapid Prototyping Journal, Reino Unido, 21 nov. 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1108/RPJ-05-2017-0095>>. Acesso em: 09 abr. 2024.

LORENZONI, Valerio; DOUBROVSKI, Zjenja; VERLINDEN, Jouke. **Embracing the Digital in Instrument Making: Towards a Musician-tailored Mouthpiece by 3D Printing**. Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference 2013, Estocolmo, Suécia, 30 jul. 2013. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/253238720>>. Acesso em: 30 mar. 2024

MORAES, Dijon de. **Metaprojeto: O Design do Design**. 1.ed. São Paulo: Blucher, 2010.

MUNARI, Bruno. **Das Coisas Nascem Coisas**. Portugal: Edições 70, 1981.

Ocarina of Time - 12 hole Alto C Ocarina. **Printables**, 2024. Disponível em: <<https://www.printables.com/model/474058-ocarina-of-time-12-hole-alto-c-ocarina>>. Acesso em: 03 mai. 2024.

PORTOACĂ, Alexandra Ileana; RIPEANU, Razvan George; DINITĂ, Alin; TĂNASE, Maria. **Optimization of 3D Printing Parameters for Enhanced Surface Quality and Wear Resistance**. *Polymers*, Suíça, v. 15, n. 3419, ed. 16, 16 ago. 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/polym15163419>> Acesso em: 10 mar. 2024.

Prusa Mouth Organ - A Printable Harmonica. **Printables**, 2023. Disponível em: <<https://www.printables.com/model/489359-the-prusa-mouth-organ-a-printable-harmonica-w-car>>. Acesso em: 03 mai. 2024.

SAVAN, Jamie; SIMIAN, Ricardo. **CAD modelling and 3D printing for musical instrument research: the Renaissance cornett as a case study**. Early Music, Reino Unido, v. 42, ed. 4, p. 537-544, 7 out. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/em/cau090>> Acesso em: 10 mar. 2024.

SIMIAN, Ricardo. **3D-Printed Musical Instruments: Lessons Learned from Five Case Studies**. Music & Science, Estados Unidos, v. 6, nov. 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/20592043231210653>> Acesso em: 10 mar. 2024.

SIMIAN, Ricardo. **[mensagem pessoal]**. Mensagem recebida por: <ocultado para banca> em 10 mar. 2024

TAMEKUNI, Kaori Ishihara. **METAPROJETO - o design em busca da inovação por meio da reflexão**, p. 2893-2904. In: Anais do 11º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design [= Blucher Design Proceedings, v. 1, n. 4]. São Paulo: Blucher, 2014. ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/designpro-ped-00899. Acesso em: 03 abr. 2024.

ZORAN, Amit. **The 3D Printed Flute: Digital Fabrication and Design of Musical Instruments**. Journal of New Music Research, v. 40, ed. 4, p.379-387, 14 dez. 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/09298215.2011.621541>>. Acesso em: 9 mar. 2024.