




ARTIGO ORIGINAL

Explorando o Potencial da Impressão 3D na Fabricação de Instrumentos Musicais: Revisão Sistemática

Gizele Iank Leite 

Luiz Alberto Pilatti 

Awdry Feisser Miquelin 

Matheus Pereira Postigo 

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, PPGECT | Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Resumo: O presente estudo tem como objetivo mapear as potencialidades e limitações da impressão 3D na fabricação de instrumentos musicais, com foco no ensino de música. Este estudo constitui uma revisão sistemática da literatura, conduzida utilizando a abordagem do Methodi Ordinatio. As buscas foram conduzidas em março de 2023 nas bases de dados Web of Science, ScienceDirect, Scopus e SciELO. Durante a pesquisa, foi empregada a combinação de termos-chave "Printed musical instruments", "Science and technology in 3D" e "music teaching" articulados pelo operador booleano AND. O corpo de pesquisa final compreendeu um total de 11 artigos. Constatou-se que é crescente o uso da impressão 3D na fabricação de instrumentos musicais. Os estudos analisados abordam aspectos como qualidade sonora, materiais e técnicas. Conclui-se que a impressão 3D tem potencial na fabricação de instrumentos, promovendo inovações em design, qualidade e acessibilidade, especialmente na música inclusiva, com oportunidades adicionais pela integração com eletrônica.

Palavras-chave: Impressão de instrumentos musicais, Ciência e tecnologia em 3D, Ensino de música.

Abstract: This study aims to map the potentialities and limitations of 3D printing in the manufacture of musical instruments, with a focus on music teaching. This study constitutes a systematic literature review, conducted using the Methodi Ordinatio approach. The searches were conducted in March 2023 in the Web of Science, ScienceDirect, Scopus and SciELO databases. During the search, the combination of key terms "Printed musical instruments", "Science and technology in 3D" and "music teaching" articulated by the Boolean operator AND was used. The final body of research comprised a total of 11 articles. It was found that the use of 3D printing in the manufacture of musical instruments is increasing. The studies analyzed address aspects such as sound quality, materials and techniques. It is concluded that 3D printing has potential in the manufacture of instruments, promoting innovations in design, quality and accessibility, especially in inclusive music, with additional opportunities through integration with electronics.

Keywords: Printing of musical instruments, 3D science and technology, Music teaching.

A impressão 3D é uma tecnologia que revolucionou a forma como objetos são fabricados atualmente. Segundo Pinheiro (2018), a impressora 3D permite criar peças personalizadas com alta precisão, utilizando uma ampla variedade de materiais que possibilitam diferentes aplicações, inclusive na área musical. Neste contexto, a confecção de instrumentos musicais através da impressão 3D tornou-se uma opção de grande interesse tanto no meio artístico quanto acadêmico.

Tradicionalmente, a fabricação de instrumentos de musical é um processo que requer habilidades manuais específicas e um longo tempo de produção (Diegel; Nordin; Motte, 2019). No entanto, com o advento da impressão 3D, tornou-se possível fabricar esses instrumentos de forma mais rápida e precisa, utilizando materiais como plásticos, metais e cerâmica. Essa técnica inovadora oferece grandes possibilidades para profissionais da música, estudantes e entusiastas, permitindo a criação de instrumentos personalizados que atendem às necessidades e preferências individuais dos músicos (Tossini, 2021).

Além da personalização, a impressão 3D permite a exploração de designs inovadores, experimentando variações de geometria que impactam diretamente no timbre e na resposta sonora dos instrumentos. Kantaros e Diegel (2018) destacam que, apesar das promessas e vantagens, ainda há desafios a serem superados, como a durabilidade e a qualidade sonora desses instrumentos, aspectos que requerem estudos e pesquisas mais aprofundados.

No campo educacional, a utilização de impressoras 3D tem se mostrado um recurso valioso para o aprendizado de estudantes, independentemente da faixa etária ou nível escolar (Medeiros, 2018). Essa tecnologia promove a produtividade gerada por novas tecnologias em ambientes educacionais, desde a produção de instrumentos musicais até ferramentas adaptadas para estudantes com deficiência, além de beneficiar estudos mais avançados como engenharias e programas de pós-graduação em física (Figueiredo, 2022; Lopes, 2016).

Esclapés, Gómez e Ibañez (2021) afirmam que a impressão 3D pode enriquecer o ensino da música, permitindo que alunos projetem e fabriquem seus próprios instrumentos, tornando a aprendizagem mais cativante e adaptada às suas preferências individuais. Além disso, a tecnologia facilita a visualização e compreensão das notas musicais, tornando a música mais acessível e

proporcionando oportunidades adicionais para o aprendizado e a criatividade musical (Acet *et al.*, 2022; Tossini, 2021).

Diante dessas possibilidades, o presente estudo tem como objetivo mapear as potencialidades e limitações da impressão 3D na fabricação de instrumentos musicais, com foco no ensino de música. Este estudo constitui uma revisão sistemática da literatura, conduzida utilizando a abordagem do *Methodi Ordinatio*, para identificar e analisar os principais avanços e desafios dessa tecnologia no campo musical.

2. Método

O presente estudo é caracterizado como uma revisão sistemática da literatura. Para a construção da pesquisa, foi utilizado o *Methodi Ordinatio* (Pagani *et al.*, 2023; Pagani; Kovaleski; Resende, 2015). A pesquisa foi realizada em nove etapas, a saber:

- Etapa 1 - Estabelecimento da intenção de pesquisa

Nesta etapa, foram identificados os descritores e as combinações mais adequados para responder à pergunta: quais são as potencialidades e limitações na confecção de instrumentos musicais na impressora 3D?

- Etapa 2 - Pesquisa exploratória com os descritores nas bases de dados

Os descritores e combinações identificados na etapa 1 foram testados nas bases ScienceDirect, Scopus, Web of Science e Scientific Electronic Library Online (SciELO).

- Etapa 3 - Definição da combinação de descritores e bases de dados a serem utilizadas

As bases testadas na Etapa 2 foram escolhidas por apresentarem um volume significativo de publicações com os descritores pesquisados e disponibilidade ampla de acesso aos materiais publicados. Na pesquisa, foi definida a combinação “Printed musical instruments” AND “Science and technology in 3D” AND “music teaching”. Não foi estabelecido um recorte temporal, no entanto, os estudos relacionando impressões em 3D com o ensino de música foram encontrados apenas após 2012.

- Etapa 4 - Pesquisa definitiva nas bases de dados

A busca definitiva dos artigos foi realizada nas bases: ScienceDirect, Scopus, SciELO e Web of Science, escolhidas por serem pertinentes para a área deste estudo e por fornecerem uma ampla quantidade de resultados nacionais e internacionais com as palavras-chaves utilizadas. Porém, a base Web of Science foi retirada devido a falta de artigos relevantes encontrados. Desta etapa, obteve-se 103 artigos na ScienceDirect, 30 na SciELO e 25 na Scopus, totalizando 158 artigos. Considerou-se o resultado satisfatório, não havendo necessidade de expansão para outras bases. O software Mendeley foi utilizado para gerenciar as referências, coletar e armazenar os dados.

- Etapa 5 - Procedimentos de filtragem

Nesta etapa, foram eliminados os trabalhos duplicados, aqueles que apresentaram valores negativos na equação InOrdinatio ou cujo título, e quando este não era suficientemente claro, o resumo, não se relacionaram com o tema do presente estudo.

- Etapa 6 - Identificação do fator de impacto, do ano de publicação e número de citações

Utilizando a planilha RankIn, disponibilizada pelos autores do Methodi Ordinatio, identificou-se o fator de impacto das publicações (last year JCR ou SJR). O número de citações foi obtido no Google Scholar (<http://scholar.google.com>) em 03 de março de 2023, por meio dos links disponibilizados na planilha RankIn.

- Etapa 7 - Ordenação dos artigos por meio do InOrdinatio

A ordenação dos estudos levantados foi realizada com o uso da equação InOrdinatio (Pagani; Kovalski; Resende, 2015), definida como:

$$\text{InOrdinatio} = (Fi / 1000) + (\alpha * (10 - (\text{AnoPesq} - \text{AnoPub}))) + (\sum Ci)$$

Sendo: Fi = Fator de impacto da revista; α^* = coeficiente atribuído pelo pesquisador à relevância do ano de publicação, variando de 1 a 10; AnoPesq – Ano de realização da busca nas bases de dados; AnoPub = ano de publicação do artigo; $\sum Ci$ = número de citações do artigo.

O valor atribuído a α foi 10, valorizando a atualidade dos artigos.

- Etapa 8 – Localização dos artigos em formato integral

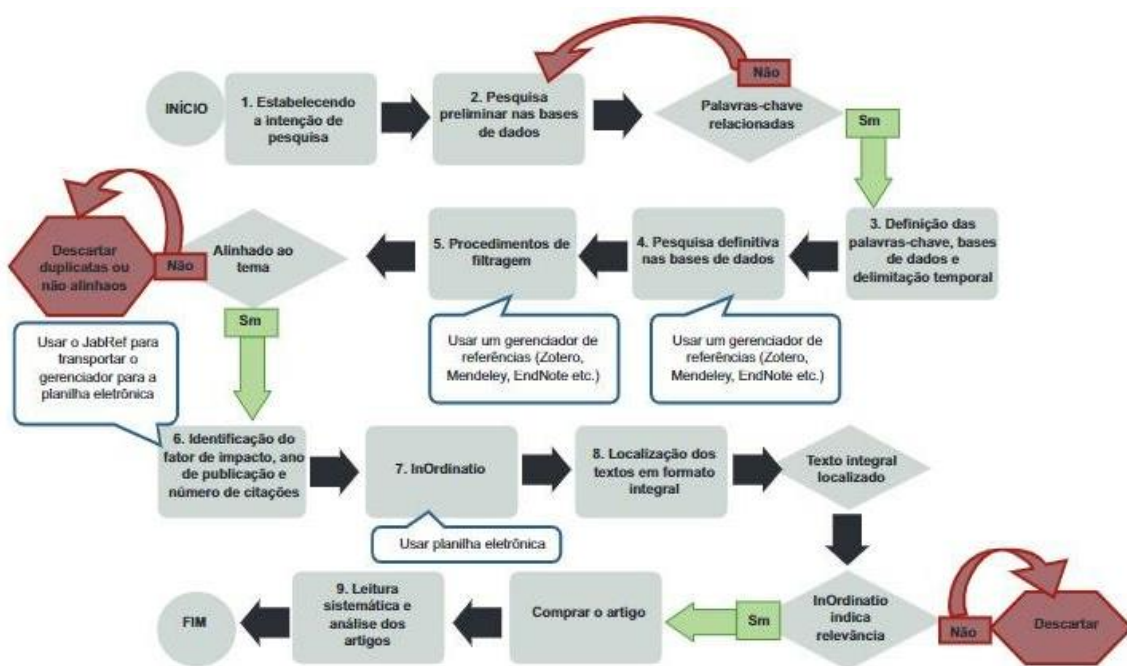
A localização dos trabalhos foi realizada diretamente no site da revista, através do Portal de Periódicos da CAPES, com o acesso CAFe.

- Etapa 9 - Leitura e análise sistemática dos artigos

Nesta etapa, foi realizada a leitura dos artigos selecionados. Foram excluídos após a leitura aqueles que não forneceram elementos para responder à pergunta de pesquisa. Para isso, foram utilizados os softwares Mendeley e JabRef em sequência, resultando em 11 artigos após a aplicação dos procedimentos de filtragem.

As etapas, de forma sinóptica, estão representadas na Figura 1.

FIGURA 1 – Etapas da Methodi Ordinatio e a utilização das TICs em cada etapa



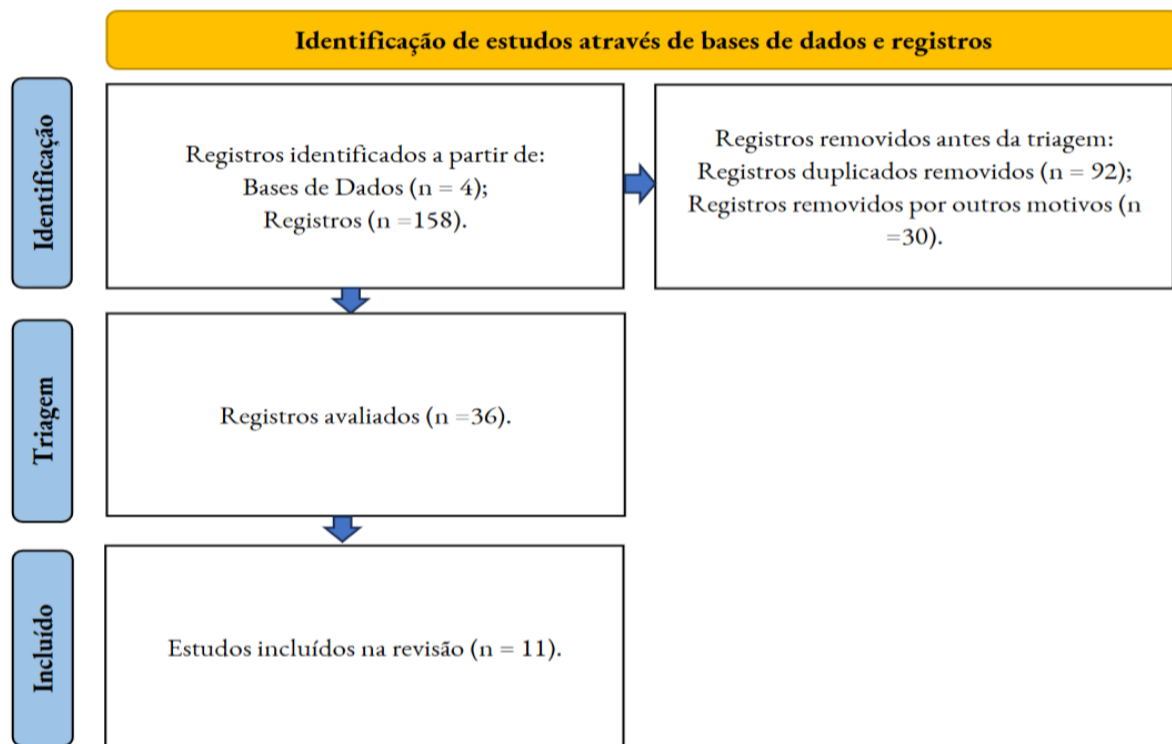
Fonte: Adaptado de Pagani, Kovaleski e Resende (2015).

3. Resultados

Nesta seção, é apresentado os resultados da revisão sistemática realizada sobre as potencialidades e limitações da impressão 3D na fabricação de instrumentos musicais, com foco no

ensino de música. As etapas do Methodi Ordinatio foram seguidas rigorosamente para garantir a seleção e análise criteriosa dos artigos mais relevantes. Os resultados são sintetizados a seguir, destacando os avanços, desafios e perspectivas futuras desta tecnologia no campo musical. A Figura 2 ilustra a composição do corpus de pesquisa.

FIGURA 2 – Composição do corpus de pesquisa



Fonte: Autoria própria.

O resultado da seleção de artigos sobre as potencialidades e limitações na confecção de instrumentos musicais na impressora 3D, após a ordenação dos artigos por meio do InOrdinatio, é apresentado na Tabela 1.

TABELA 1 – Resultados dos artigos selecionados com a equação InOrdinatio

	Autor(es)	FI	Year	Ci	InOrdinatio
1	Hughes, Maiolino e Iida (2018)	32,6	2018	58	436,7368421
2	Kantaros e Diegel (2018)	6,5	2018	29	117,7368421
3	Alexander <i>et al.</i> (2020)	3,1	2020	21	98,36842108
4	Riefer, Tai e Wang (2022)	8,8	2022	1	98,00000003
5	Iyer, Chan e Gollakota (2017)	0	2017	55	85,0877193
6	Katz (2017)	5	2017	17	71,754386
7	Damodaran, Sugavaneswaran e Lessard (2021)	2,7	2021	6	55,68421055
8	Esclapés, Gómez e Ibañez (2021)	4,5	2021	2	53,68421055
9	Zaczéski <i>et al.</i> (2018)	0,5	2018	8	15,73684214
10	Nunes <i>et al.</i> (2020)	0	2020	1	0,701754423
11	Acet <i>et al.</i> (2022)	0	2022	0	0,000000029

Fonte: Autoria própria.

O Quadro 1 oferece uma visão geral dos estudos que compõem o corpus de pesquisa.

QUADRO 1 – Objetivos e achados relevantes dos estudos do corpus de pesquisa

Autor(es) (ano)	Objetivo	Achados relevantes
Hughes, Maiolino e Iida (2018)	Apresentar a confecção de uma mão esquelética como uma abordagem para aprimorar a adaptabilidade, destreza e diversidade comportamental de manipuladores robóticos.	O uso de tecnologias de impressão tridimensional permite a criação de estruturas passivas complexas, oferecendo rigidez mecânica anisotrópica, com ênfase nas condições físicas e na atuação durante a impressão 3D.
Kantaros e Diegel (2018)	Discutir a Manufatura Aditiva (MA) no contexto de suas aplicações em instrumentos musicais.	Demonstração da aplicação bem-sucedida da Manufatura Aditiva (MA) na produção de instrumentos musicais inovadores, impossíveis de fabricar com métodos tradicionais.
Alexander <i>et al.</i> (2020)	Demonstrar, por meio de princípios físicos, como os sons de instrumentos musicais se relacionam com a tecnologia.	Identificação das oportunidades de convergência entre tecnologia de smartphones e instrumentação científica, incluindo a exploração da detecção de ondas gravitacionais.
Riefer, Tai e Wang (2022)	Comparar a qualidade sonora do ukulele em três diferentes tipos de filamentos.	Análise detalhada das variações no comportamento sonoro de instrumentos impressos em 3D, considerando as especificidades de diferentes tipos de filamentos.

Autor(es) (ano)	Objetivo	Achados relevantes
Iyer, Chan e Gollakota (2017)	Imprimir sensores sem fio em 3D e incorporar widgets e objetos que possam se comunicar com smartphones e outros dispositivos Wi-Fi, eliminando a necessidade de baterias ou componentes eletrônicos.	Apresentação de protótipos de aplicativos impressos em 3D, destacando botões, controles deslizantes e botões físicos para controle remoto de música e iluminação.
Katz (2017)	Discutir como o Maya Music Project está utilizando a fotogrametria para criar modelos 3D de instrumentos musicais, como parte de seu esforço para desenvolver esse banco de dados.	Utilização eficaz da fotogrametria na criação de modelos 3D precisos de instrumentos musicais.
Damodaran, Sugavaneswaran e Lessard (2021)	Fornecer uma base de dados fundamental para a compreensão das aplicações significativas das diversas tecnologias de Manufatura Aditiva (AM) em instrumentos musicais de sopro.	Comprovação das aplicações diversificadas das técnicas de impressão 3D na inovação de instrumentos de sopro, personalização e melhoria estética, bem como na adaptação a músicos profissionais.
Esclapés, Gómez e Ibañez (2021)	Documentar o desenvolvimento do Flow, um gravador portátil de baixo custo, e avaliar seu impacto psicossocial para os usuários.	Avaliação da adequação do Flow para adaptações em benefício de pessoas com deficiência, ressaltando os benefícios psicossociais positivos em crianças.
Zaczéski <i>et al.</i> (2018)	Discutir alguns dos principais aspectos de funcionamento do violão, incluindo um breve contexto histórico que mostra as transformações pelas quais o instrumento passou ao longo dos séculos, com insights do físico Michael Kasha.	Análise da acústica em instrumentos de corda, como o violão, e a utilização de captadores magnéticos para amplificação sonora e identificação de novos instrumentos, como guitarra e contrabaixo.
Nunes <i>et al.</i> (2020)	Analisar a percepção de pacientes hospitalizados em relação ao cuidado recebido por meio de visitas musicais extensionistas, sob a perspectiva da Teoria do Cuidado Humano.	Ênfase na importância das práticas musicais no cuidado humano e nas estratégias desenvolvidas para abordar esse público.
Acet <i>et al.</i> (2022)	Apresentar dois novos designs de braço de guitarra e discutir seus papéis na evolução da construção desse componente.	Destaque para a facilidade de uso, produção e acessibilidade de produtos musicais confeccionados com peças de Lego impressas em 3D, demonstrando versatilidade.

Fonte: Autoria própria.

4. Discussão

A impressão 3D tem mostrado um potencial significativo para a fabricação de instrumentos musicais, trazendo inúmeras vantagens e possibilidades de inovação no design e na performance desses instrumentos. Uma das principais vantagens é a capacidade de criar formas e estruturas complexas que seriam difíceis ou impossíveis de alcançar com métodos tradicionais. Segundo Acet *et*

al. (2022), a tecnologia permite a criação de novas características acústicas e melhorias na qualidade sonora. Além disso, a durabilidade dos materiais como PLA e PET-G e a possibilidade de personalização quase ilimitada do design permitem ajustes finos na estrutura interna e externa do instrumento.

A personalização é um dos aspectos mais destacados da impressão 3D. A personalização permite que instrumentos sejam adaptados às necessidades específicas dos músicos, oferecendo ajustes ergonômicos e acústicos que não seriam possíveis com métodos de fabricação convencionais. Kantaros e Diegel (2018) destacam que a tecnologia facilita a criação de formas complexas, permitindo a produção de novos sons e a experimentação com a acústica e ergonomia dos instrumentos. A flexibilidade de design é especialmente útil para criar instrumentos com características únicas, como flautas microtonais e bocais personalizados, que podem melhorar a performance musical e o conforto do músico.

Outro ponto forte da impressão 3D é a redução de custos e tempo de produção. Segundo Esclapés, Gómez e Ibañez (2021), a técnica pode produzir instrumentos a um custo relativamente baixo e com rapidez, promovendo a acessibilidade e a democratização do acesso à música. A capacidade de produzir protótipos rapidamente permite a experimentação contínua com novos designs e materiais, o que é fundamental para inovar. Alexander *et al.* (2020) apontam que essa rapidez na produção de protótipos facilita a experimentação econômica com novos designs e materiais, algo inviável com métodos tradicionais de fabricação.

A impressão 3D oferece, ainda, a oportunidade de utilizar uma variedade de materiais, desde polímeros como PLA e PET-G até materiais avançados como ligas de titânio e resinas fotopolimerizáveis. Damodaran, Sugavaneswaran e Lessard (2021) destacam que o uso de materiais avançados permite a fabricação de instrumentos com propriedades acústicas superiores e maior durabilidade. Essa diversidade de materiais possibilita a criação de instrumentos com diferentes propriedades acústicas e mecânicas, aumentando a durabilidade e a resiliência dos instrumentos impressos.

Além das vantagens já mencionadas, a impressão 3D oferece outras potencialidades importantes para a fabricação de instrumentos musicais. A tecnologia possibilita a criação de designs

internos complexos que podem melhorar significativamente a acústica dos instrumentos. A técnica de deposição camada por camada permite o controle preciso da espessura das paredes internas, criando câmaras acústicas otimizadas que melhoram a projeção e a qualidade do som. Acet *et al.* (2022) destacam que essa capacidade de ajustar minuciosamente as características internas dos instrumentos pode levar a uma acústica superior que não seria alcançável com métodos tradicionais.

A impressão 3D também promove a sustentabilidade na fabricação de instrumentos musicais. O processo aditivo minimiza o desperdício de material, já que apenas a quantidade necessária é utilizada para criar cada peça. Isso contrasta com métodos tradicionais de fabricação que muitas vezes geram resíduos significativos. A sustentabilidade é um fator cada vez mais importante na produção industrial e a impressão 3D alinha-se com esses princípios ao reduzir o impacto ambiental.

Outra potencialidade significativa é a acessibilidade da tecnologia. A impressão 3D democratiza a fabricação de instrumentos ao permitir que pequenas oficinas e até mesmo indivíduos possam produzir instrumentos complexos com um investimento relativamente baixo em equipamentos. Isso é particularmente relevante para músicos e educadores em regiões com recursos limitados, oferecendo a possibilidade de fabricar instrumentos personalizados a baixo custo. Esclapés, Gómez e Ibañez (2021) destacam que essa democratização pode promover a inclusão social e o acesso à educação musical em comunidades desfavorecidas.

A impressão 3D também facilita a manutenção e reparo dos instrumentos. A capacidade de imprimir peças sobressalentes sob demanda significa que músicos podem rapidamente substituir componentes danificados sem a necessidade de longos períodos de espera por peças de reposição. Isso é especialmente útil para músicos profissionais que dependem de seus instrumentos para apresentações regulares e não podem se dar ao luxo de longas interrupções.

Outra possibilidade ofertada pela impressão 3D é a preservação e reprodução de instrumentos históricos. Museus e colecionadores podem usar a tecnologia para criar réplicas exatas de instrumentos antigos, preservando o patrimônio cultural e permitindo que mais pessoas tenham acesso a essas peças históricas. Katz (2017) destaca que essa capacidade de criar réplicas funcionais pode contribuir significativamente para a pesquisa e a preservação de patrimônios musicais.

Vários exemplos práticos ilustram as potencialidades da impressão 3D na fabricação de instrumentos musicais. Um caso notável é o do saxofone impresso em 3D, que apresenta uma qualidade sonora comparável a instrumentos tradicionais e permite ajustes personalizados para melhorar a ergonomia e o conforto do músico. A capacidade de personalizar o design do bocal, por exemplo, pode melhorar significativamente a experiência do músico e a qualidade do som produzido (Hughes; Maiolino; Iida, 2018).

Outro exemplo é a fabricação de flautas microtonais, que são instrumentos projetados para tocar intervalos menores do que os semitons encontrados na música ocidental tradicional. A impressão 3D permite a criação de flautas com orifícios de tamanho e posicionamento precisos, proporcionando um controle acústico detalhado e permitindo a exploração de novas possibilidades musicais (Hughes; Maiolino; Iida, 2018).

Em acréscimo, a tecnologia tem sido utilizada para criar trompetes com múltiplos tubos e câmaras acústicas, permitindo a produção de novos timbres e a experimentação com diferentes configurações acústicas. Esses avanços ilustram como a impressão 3D pode expandir os limites do design de instrumentos musicais, oferecendo novas ferramentas para músicos e compositores explorarem (Esclapés; Gómez; Ibañez, 2021).

Em termos de materiais, a utilização de resinas fotopolimerizáveis em estereolitografia (SLA) tem mostrado resultados promissores. Esses materiais oferecem uma alta precisão de impressão e propriedades mecânicas que podem rivalizar com os materiais tradicionais, como metais e madeiras. A Tough 2000, por exemplo, é uma resina que proporciona alta resistência ao impacto e durabilidade, tornando-se uma opção viável para a fabricação de instrumentos de uso diário (Esclapés; Gómez; Ibañez, 2021).

A impressão 3D também tem um impacto significativo na educação musical e na pesquisa. A capacidade de criar instrumentos personalizados permite que educadores adaptem instrumentos para estudantes com necessidades especiais, promovendo a inclusão na educação musical. Instrumentos customizados podem ser criados para acomodar crianças com deficiências físicas, facilitando sua participação em atividades musicais e proporcionando uma experiência de aprendizado mais enriquecedora (Esclapés; Gómez; Ibañez, 2021).

Na pesquisa musical, a impressão 3D oferece uma ferramenta poderosa para a experimentação. Pesquisadores podem criar e testar rapidamente novos designs de instrumentos, ajustando parâmetros acústicos e estruturais para explorar suas implicações na performance musical. O processo acelera o ciclo de inovação e permite a exploração de conceitos que seriam impraticáveis com métodos tradicionais de fabricação (Hughes; Maiolino; Iida, 2018).

A tecnologia também permite a criação de instrumentos educacionais a baixo custo, tornando a educação musical mais acessível. Esclapés, Gómez e Ibañez (2021) destacam que a impressão 3D pode ser utilizada para produzir kits de montagem de instrumentos, que podem ser usados em aulas de música para ensinar os princípios de acústica e fabricação de instrumentos. Esses kits não apenas promovem a educação musical, mas também incentivam o interesse por ciência, tecnologia, engenharia e matemática (STEM) entre os estudantes (Esclapés; Gómez; Ibañez, 2021).

Riefer, Tai e Wang (2022) destacam que a impressão 3D pode levar à criação de designs personalizados e complexos que não seriam possíveis com métodos tradicionais, otimizando a produção de som e a ergonomia dos instrumentos. Além disso, a impressão 3D pode reduzir significativamente os custos de produção, tornando os instrumentos mais acessíveis e facilitando a produção rápida e econômica de protótipos, permitindo ajustes frequentes e personalizados para músicos e fabricantes. A plataforma de impressão 3D também promove a inovação contínua, permitindo a criação de novos instrumentos com características sonoras únicas e experimentação com diferentes materiais, abrindo novas possibilidades para a evolução dos instrumentos musicais.

Iyer, Chan e Gollakota (2017) destaca ainda que a impressão 3D permite a personalização dos instrumentos para atender às necessidades específicas dos músicos, possibilitando a modificação de parâmetros de design para otimização do som e conforto. Técnicas como a estereolitografia (SLA) e a modelagem por deposição fundida (FDM) facilitam a criação de componentes complexos e personalizados, como boquilhas de saxofone e trombone, que podem ser adaptadas às preferências individuais dos músicos. Além disso, a impressão 3D abre novas possibilidades para a criação de instrumentos com formas inovadoras e funcionalidades aprimoradas, como trompetes com múltiplos tubos e câmaras acústicas múltiplas.

Nunes *et al.* (2020) destacam que a impressão 3D na fabricação de instrumentos de sopro oferece a possibilidade de personalização de instrumentos adaptando-se às necessidades específicas dos músicos e melhorando a ergonomia e o desempenho acústico. A exploração de diferentes materiais e técnicas de impressão permite a criação de instrumentos com novas propriedades acústicas, abrindo novas possibilidades para a inovação no design de instrumentos musicais.

Apesar das inúmeras vantagens, a impressão 3D enfrenta vários desafios na fabricação de instrumentos musicais. Um dos principais desafios é a qualidade sonora dos instrumentos impressos, que pode ser inferior à dos instrumentos tradicionais feitos de madeira ou metais. Acet *et al.* (2022) destacam que as propriedades acústicas dos materiais plásticos podem resultar em uma qualidade sonora inferior. A absorção de ondas acústicas por alguns materiais plásticos pode resultar em perda de harmônicos e qualidade sonora inferior (Damodaran; Sugavaneswaran; Lessard, 2021).

A qualidade sonora é um aspecto crítico na fabricação de instrumentos musicais. Os materiais utilizados na impressão 3D, como PLA, PET-G e ABS, têm propriedades acústicas diferentes dos materiais tradicionais como madeiras e metais. Esses materiais plásticos podem não replicar adequadamente a complexidade sonora dos instrumentos tradicionais, resultando em uma reprodução sonora que pode ser considerada "plástica" ou menos rica em timbre. A absorção de ondas acústicas por esses materiais pode levar a uma perda significativa de harmônicos, o que afeta diretamente a riqueza e a profundidade do som produzido (Acet *et al.*, 2022; Damodaran; Sugavaneswaran; Lessard, 2021).

A variação na densidade e na composição dos materiais plásticos também pode resultar em inconsistências na qualidade sonora entre diferentes lotes de produção. Isso significa que dois instrumentos impressos com o mesmo design podem ter variações perceptíveis no som devido às diferenças nos materiais utilizados. Esse desafio é exacerbado pela necessidade de manter tolerâncias precisas durante o processo de impressão, onde pequenas imperfeições podem causar ressonâncias indesejadas ou interferências acústicas (Katz, 2017).

A durabilidade dos materiais utilizados na impressão 3D é outra preocupação significativa. Muitos dos polímeros comuns, como PLA e ABS, não possuem a mesma resistência ao desgaste, impacto e condições ambientais adversas comparados aos metais e madeiras tradicionais. Katz (2017)

destaca que esses materiais podem sofrer degradação ao longo do tempo, especialmente quando expostos à luz UV, umidade e variações de temperatura, o que afeta a durabilidade e a estabilidade dos instrumentos.

Instrumentos musicais são frequentemente sujeitos a manuseio rigoroso, transporte e exposição a diferentes ambientes de performance. Os materiais de impressão 3D podem não suportar bem essas condições, levando a fissuras, deformações e outras formas de degradação estrutural. A longevidade reduzida dos materiais plásticos pode representar um problema significativo para músicos profissionais que dependem da durabilidade de seus instrumentos para performances confiáveis e consistentes (Katz, 2017).

A precisão das técnicas de impressão é outro fator crítico. A tecnologia de impressão 3D, embora avançada, ainda enfrenta limitações em termos de resolução e precisão. Pequenas imperfeições na impressão, como irregularidades superficiais, porosidade e camadas visíveis, podem comprometer a performance acústica e a resistência estrutural do instrumento (Hughes; Maiolino; Iida, 2018). A uniformidade e a consistência na espessura das paredes internas dos instrumentos são essenciais para garantir uma boa qualidade sonora, e qualquer variação pode afetar negativamente o desempenho do instrumento.

Além disso, a complexidade de certos designs de instrumentos de sopro, que podem incluir detalhes finos e componentes internos intrincados, pode ser difícil de replicar com a precisão necessária utilizando técnicas de impressão 3D disponíveis comercialmente. A necessidade de suportes durante a impressão para estruturas complexas pode introduzir mais imperfeições e aumentar o tempo e o custo de produção devido à necessidade de remoção e acabamento desses suportes (Damodaran; Sugavaneswaran; Lessard, 2021).

A necessidade de pós-processamento é outro desafio significativo. Hughes, Maiolino e Iida (2018) apontam que os instrumentos impressos em 3D frequentemente requerem polimento e ajustes manuais para atingir a qualidade desejada, o que pode ser demorado e exigir habilidades especializadas. O pós-processamento inclui etapas como lixamento, polimento, aplicação de revestimentos e tratamentos térmicos para melhorar a qualidade superficial e a durabilidade do instrumento.

Esse pós-processamento aumenta o tempo e os custos de produção, limitando algumas das vantagens econômicas da impressão 3D. Além disso, a necessidade de mão-de-obra especializada para realizar esses acabamentos pode ser um obstáculo para pequenos fabricantes ou indivíduos que desejam produzir instrumentos de alta qualidade. O tempo adicional e o custo associados ao pós-processamento podem tornar a impressão 3D menos competitiva em comparação com métodos tradicionais de fabricação, especialmente para instrumentos que requerem acabamentos de alta precisão e qualidade superficial impecável (Hughes; Maiolino; Iida, 2018).

A compatibilidade de materiais utilizados na impressão 3D, especialmente aqueles que entram em contato direto com a boca do músico, é crucial para garantir a segurança e a funcionalidade do instrumento. Muitos polímeros e resinas utilizados na impressão 3D não são adequados para contato prolongado com a pele ou mucosas, o que pode limitar as opções de materiais para certas partes do instrumento, como bocais. A necessidade de utilizar materiais biocompatíveis ou de grau alimentício pode restringir ainda mais a escolha de materiais disponíveis e aumentar os custos de produção (Damodaran; Sugavaneswaran; Lessard, 2021).

Para além dos desafios, a impressão 3D oferece uma plataforma robusta para a inovação e o desenvolvimento de novos instrumentos musicais. A capacidade de experimentar rapidamente com diferentes formas e materiais pode levar a avanços significativos na acústica e na usabilidade dos instrumentos. Acet *et al.* (2022) afirmam que a tecnologia permite a criação de designs personalizados que melhoram a ergonomia e a qualidade sonora sem a necessidade de moldes caros e demorados.

A impressão 3D facilita a inclusão de componentes eletrônicos diretamente na estrutura do instrumento, permitindo novas funcionalidades e características sonoras. Zaczéski *et al.* (2018) destacam que a integração de componentes eletrônicos pode levar ao desenvolvimento de instrumentos com novas funcionalidades e possibilidades musicais. Essa capacidade de inovação pode revolucionar a maneira como os instrumentos musicais são projetados e fabricados, contribuindo para um novo patamar de inovação na música.

A personalização é outra área onde a impressão 3D tem destaque. A tecnologia permite que músicos ajustem instrumentos às suas necessidades específicas, incluindo a resistência do sopro, a distribuição de peso e o alcance tonal. Esclapés, Gómez e Ibañez (2021) destacam que essa

personalização pode promover a inclusão de pessoas com deficiência, oferecendo instrumentos adaptados às suas necessidades. A democratização do acesso à música, facilitada pela impressão 3D, pode beneficiar tanto músicos profissionais quanto amadores, promovendo uma maior diversidade e qualidade nos instrumentos musicais disponíveis.

Adicionalmente, a impressão 3D permite a experimentação com novos conceitos de design, como instrumentos com múltiplas câmaras acústicas ou formas não convencionais. Hughes, Maiolino e Iida (2018) sugerem que esses novos conceitos podem levar ao desenvolvimento de novas classes de instrumentos de sopro, promovendo uma maior diversidade e qualidade nos instrumentos musicais disponíveis. A capacidade de criar instrumentos completamente novos que aproveitam as vantagens únicas da impressão 3D incentiva a inovação contínua na indústria de instrumentos musicais.

A inclusão de componentes eletrônicos diretamente nos instrumentos é uma das inovações mais promissoras trazidas pela impressão 3D. Esses componentes podem incluir sensores que monitoram a pressão do sopro, a temperatura do instrumento e a umidade, fornecendo dados em tempo real que podem ser utilizados para ajustar a performance ou para fins educacionais. Zaczéski *et al.* (2018) observam que essa integração pode resultar em instrumentos que não apenas produzem som, mas também interagem de maneira dinâmica com o músico e o ambiente.

Por exemplo, a integração de sensores de pressão pode ajudar músicos iniciantes a desenvolver melhor controle do sopro, enquanto sensores de umidade e temperatura podem ajudar a manter a qualidade sonora em diferentes condições ambientais. Essa capacidade de monitoramento em tempo real pode ser particularmente útil em ambientes educacionais, onde feedback imediato pode acelerar o aprendizado e melhorar a técnica dos estudantes.

A customização é um dos aspectos mais transformadores da impressão 3D para a fabricação de instrumentos musicais. Instrumentos podem ser projetados para se ajustarem perfeitamente às preferências e necessidades específicas de cada músico. Isso inclui a modificação do peso do instrumento para melhorar o equilíbrio e o conforto durante a performance, ajustes na resistência do sopro para melhor controle de notas e dinamismo, e personalizações estéticas que refletem a personalidade do músico (Esclapés; Gómez; Ibañez, 2021).

Esclapés, Gómez e Ibañez (2021) destacam que essa personalização pode ser especialmente benéfica para músicos com deficiências. Instrumentos adaptados podem permitir que esses músicos participem plenamente em atividades musicais, superando barreiras que de outra forma poderiam impedi-los de tocar. Isso promove uma inclusão mais ampla na música, oferecendo oportunidades para todos os músicos, independentemente de suas capacidades físicas.

A impressão 3D abre possibilidades para experimentar com novos designs que seriam impraticáveis ou impossíveis de realizar com métodos de fabricação tradicionais. Hughes, Maiolino e Iida (2018) sugerem que a capacidade de criar instrumentos com múltiplas câmaras acústicas ou formas inovadoras pode resultar em novos timbres e possibilidades sonoras. Isso não só expande o repertório de sons disponíveis para músicos e compositores, mas também permite a exploração de novas formas de expressão musical.

A experimentação com novos designs pode incluir a criação de instrumentos híbridos que combinam elementos de diferentes tipos de instrumentos musicais, ou a utilização de materiais com propriedades acústicas únicas para criar sons novos e inesperados. Por exemplo, a criação de um saxofone com câmaras acústicas adicionais pode permitir uma maior variação de timbres e tonalidades, enquanto o uso de resinas fotopolimerizáveis pode resultar em um som mais brilhante e claro (Hughes; Maiolino; Iida, 2018).

A rápida prototipagem facilitada pela impressão 3D é um grande avanço para a pesquisa e desenvolvimento de novos instrumentos. Pesquisadores podem testar rapidamente novas ideias, ajustar parâmetros e criar múltiplas iterações de um design em um curto período. Isso acelera significativamente o ciclo de inovação e permite uma exploração mais aprofundada das propriedades acústicas e mecânicas dos instrumentos (Hughes; Maiolino; Iida, 2018).

Com efeito, a capacidade de produzir protótipos funcionais a um custo relativamente baixo permite que pesquisadores e fabricantes testem novos conceitos sem o risco financeiro associado aos métodos tradicionais de fabricação. Isso incentiva a experimentação e a inovação, resultando em uma variedade maior de instrumentos e melhorias contínuas na qualidade e na performance dos instrumentos musicais (Esclapés; Gómez; Ibañez, 2021).

Conclusão

A impressão 3D tem demonstrado um enorme potencial para revolucionar a fabricação de instrumentos musicais, oferecendo uma vasta gama de vantagens que incluem a capacidade de criar formas e estruturas complexas, personalização quase ilimitada e redução significativa de custos e tempo de produção. A tecnologia permite não apenas a fabricação de instrumentos com propriedades acústicas inovadoras, mas também promove a sustentabilidade ao minimizar o desperdício de material. A acessibilidade proporcionada pela impressão 3D democratiza a fabricação de instrumentos, beneficiando músicos e educadores em regiões com recursos limitados e promovendo a inclusão social.

No entanto, a impressão 3D enfrenta desafios significativos que precisam ser superados para que sua aplicação na fabricação de instrumentos musicais atinja seu pleno potencial. A qualidade sonora dos materiais plásticos, a durabilidade dos polímeros, a precisão das técnicas de impressão e a necessidade de pós-processamento são barreiras que ainda requerem soluções eficazes. A compatibilidade dos materiais com o contato prolongado com a pele e mucosas também é uma preocupação que deve ser abordada para garantir a segurança e funcionalidade dos instrumentos.

Apesar desses desafios, a impressão 3D oferece uma plataforma robusta para a inovação contínua. A possibilidade de experimentar rapidamente com diferentes formas e materiais, a integração de componentes eletrônicos e a capacidade de personalizar instrumentos para atender às necessidades específicas dos músicos são avanços que podem transformar a indústria de instrumentos musicais. A inclusão de sensores e outros componentes eletrônicos nos instrumentos permite novas funcionalidades e possibilidades musicais, promovendo um novo patamar de inovação na música.

A impressão 3D também tem um impacto significativo na educação musical e na pesquisa, permitindo a criação de instrumentos personalizados para estudantes com necessidades especiais e facilitando a experimentação com novos designs de instrumentos. A capacidade de produzir instrumentos educacionais a baixo custo torna a educação musical mais acessível e incentiva o interesse por ciência, tecnologia, engenharia e matemática (STEM) entre os estudantes.

A impressão 3D promete transformar a maneira como os instrumentos musicais são projetados, fabricados e utilizados. Com o avanço contínuo nas técnicas de impressão e nos materiais, é provável que muitas das atuais limitações sejam superadas, permitindo que a impressão 3D desempenhe um papel cada vez mais significativo na fabricação de instrumentos musicais. O futuro da música será, sem dúvida, influenciado por essa tecnologia inovadora, promovendo maior diversidade, qualidade e inclusão na música.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio com as pesquisas realizadas por nós e desenvolvimento de novos trabalhos para o ensino da música através de novas tecnologias.

REFERÊNCIAS

ACET, Ruşen Can *et al.* New additions to the guitar family: Lego and automatic microtonal guitars. *Musicologist*, v. 6, n. 1, p. 26-41, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33906/musicologist.1079674>.

ALEXANDER, Gerianne *et al.* The sounds of science – a symphony for many instruments and voices. *Physica Scripta*, v. 95, n. 6, p. 1-64, 2020. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1907.05367>.

DAMODARAN, Ajith; SUGAVANESWARAN, Manivannan; LESARD, Larry. An overview of additive manufacturing technologies for musical wind instruments. *SN Applied Sciences*, v. 3, n. 162, p. 1-12, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04170-x>.

DIEGEL, Olaf; NORDIN, Axel; MOTTE, Damien. *A practical guide to design for additive manufacturing*. Cham: Springer, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-13-8281-9>. Acesso em: 14 jun. 2024.

ESCLAPÉS, Javier; GÓMEZ, Almudena; IBÁÑEZ, Ana. Fluxo. Flow. A Socially Responsible 3D Printed One-Handed Recorder. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 18, n. 22, 12200, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph182212200>.

FIGUEIREDO, Beatriz Beca; CESAR, Francisco Ignácio Giocondo. Um estudo da utilização da impressora 3D na Engenharia e na Medicina. *Recisatec - Revista Científica Saúde e Tecnologia*, v. 2, n. 1, e2170-e2170, 2022. DOI: <https://doi.org/10.53612/recisatec.v2i1.70>.

HUGHES, Josie; MAIOLINO, Perla; IIDA, Fumiya. An anthropomorphic soft skeleton hand exploiting conditional models for piano playing. *Science Robotics*, v. 3, n. 25, eaau30982018, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1126/scirobotics.aau3098>.

IYER, Vikram; CHAN, Justin; GOLLAKOTA, Shyamnath. 3D printing wireless connected objects. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, v. 36, n. 6, p. 1-13, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1145/3130800.3130822>.

KANTAROS, Antreas; DIEGEL, Olaf. 3D printing technology in musical instrument research: reviewing the potential. *Rapid Prototyping Journal*, v. 24, n. 9, p. 1511-1523, 2018. <https://doi.org/10.1108/RPJ-05-2017-0095>.

KATZ, Jared. Digitized Maya music: The creation of a 3D database of Maya musical artifacts. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, v. 6, p. 29-37, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.daach.2017.08.004>.

LOPES, Gonçalo Teixeira Ferreira. *Exploração das possibilidades da impressão 3D na construção*. Dissertação de mestrado (Mestrado Integrado em Engenharia Civil). Universidade do Porto, Porto, 2016. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/82802/2/119532.pdf>. Acesso em: 16 set. 2023.

MEDEIROS, Juliana. *Movimento Maker na educação: creative learning, Fab Labs e a construção de objetos para apoio a atividades educacionais de ciências e tecnologias, no ensino fundamental 2 (séries finais)*. 2018. Dissertação de mestrado (Mestrado Profissional em Informática). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://dspace.ifrs.edu.br/xmlui/handle/123456789/108>. Acesso em: 16 set. 2023.

NUNES, Emanuelle Caires Dias Araújo *et al.* *A música como ferramenta de cuidado transpessoal - percepções de pessoas hospitalizadas atendidas na extensão universitária*. Escola Anna Nery, v. 24, n. 2, e20190165, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/2177-9465-ean-2019-0165>.

PAGANI, Regina Negri *et al.* Methodi Ordinatio 2.0: revisited under statistical estimation, and presenting FIndex and RankIn. *Quality & Quantity*, v. 57, n. 5, p. 4563-4602, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11135-022-01562-y>.

PAGANI, Regina Negri; KOVALESKI, João Luiz; RESENDE, Luis Maurício Martins de. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. *Scientometrics*, v. 105, n. 3, p. 2109-2135, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1744-x>.

PINHEIRO, Cristiano Max Pereira *et al.* Impressoras 3D: uma mudança na dinâmica do consumo. *Signos do Consumo*, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 15-22, jan./jun. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.1984-5057.v10i1p15-22>.

RIEFER, Joshua; TAI, Bruce; WANG, Jyhwen. An investigation in tone characteristics of 3D printed ukulele sound chambers. *Manufacturing Letters*, v. 33, suppl., p. 508-515, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2022.07.064>.

TOSSINI, Rosa Barros. *A construção de um chalumeau soprano infantil em impressão 3d: novas possibilidades para a iniciação instrumental*. Tese de doutorado (Doutorado em Música). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/35154>. Acesso em: 16 set. 2023.

ZACZÉSKI, Monicky *et al.* Violão: aspectos acústicos, estruturais e históricos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 40, n. 1, e1309, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0192>.

SOBRE OS AUTORES

Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciência e Tecnologia na UTFPR, Campus Ponta Grossa. Mestre em Ensino de Ciência e Tecnologia pela UTFPR, Especialista em Ensino de Ciência e Tecnologia pelo Instituto Federal do Paraná, Psicologia Educacional e Psicopedagogia pelo Centro Universitário Leonardo da Vinci, Canto Coral Infante-Juvenil pelo Centro Universitário Claretiano e Musicoterapia pela Faveni. Graduada em Física pelo Instituto Federal do Paraná, Música e Pedagogia pelo Centro Universitário Claretiano. Atualmente trabalha como docente de Física e Escrita Científica na Instituição de Ensino Unifateb em Telêmaco Borba, Professora de Teoria Musical no Conservatório Maestro Paulino em Ponta Grossa. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3504-9528>. E-mail: gizele.1096@gmail.com

Professor titular na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Foi Diretor-Geral do Campus Ponta Grossa (2004-2012), Vice-Reitor (2012-2016) e Reitor (2016-2020) da UTFPR. Doutor em Educação Física pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Mestre em Educação pela Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP). Licenciado em Educação Física pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Está vinculado aos Programas de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) e Ensino de Ciência e Tecnologia (PPGECT) no Campus Ponta Grossa. Bolsista de Produtividade em Pesquisa - CNPq. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2679-9191>. E-mail: lapilatti@utfpr.edu.br

Graduado em Licenciatura em Física pela UEPG, mestre em Educação pela UFSM e Doutor em Educação Científica e Tecnológica pela UFSC. Professor Associado no DAENS da UTFPR - Campus Ponta Grossa, professor do PPGECT - Mestrado e Doutorado. Coordenador do Doutorado do PPGECT. Desenvolve projetos interdisciplinares voltados a abordagem sistêmica, relações entre ensino, ciência e tecnologia e sociedade, ciência, arte e tecnologia, análise de sistemas educacionais tecnológicos comunicativos, mediação de tecnologias de informação e comunicação na prática pedagógica para o Ensino Superior e a Escola Básica envolvendo didática, ensino e aprendizagem. Coordeno o Grupo de Pesquisas

Em Arte, Ciência e Tecnologia: GPECT. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7459-3780>. E-mail: awdryfei@gmail.com

Bacharel em Química pela Universidade de São Paulo (IQSC-USP), Mestre em Ciências, Sub-área Física Biomolecular, com ênfase em Bioquímica, Biofísica, Química Medicinal, Farmacologia e Planejamento de Fármacos, pelo Instituto de Física de São Carlos (IFSC-USP), Doutor em Química Analítica pela Universidade de São Paulo (IQSC-USP). Desenvolve projeto de pós-doutorado junto ao Instituto de Física de São Carlos (IFSC-USP) em parceria com a Embrapa Instrumentação. Atualmente é docente do Departamento de Engenharia Química da UTFPR, campus Ponta Grossa, lecionando na área de Química Analítica e responsável pela Incubadora de Inovações da UTFPR-PG, atuando nas áreas de Gestão da Inovação e Prototipagem. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7539-5233>. E-mail: mpostigo@gmail.com

TAXONOMIA CREDIT

1st Author			
X	Conceptualização		Recursos
X	Curadoria de dados		Software
X	Análise formal		Supervisão
	Aquisição de financiamento		Validação
X	Investigação		Visualização
X	Metodologia	X	Escrita – manuscrito original
X	Administração do projeto	X	Redação-- revisão e edição

2nd Author			
X	Conceptualização		Recursos
X	Curadoria de dados	X	Software
X	Análise formal	X	Supervisão
	Aquisição de financiamento	X	Validação
	Investigação		Visualização
X	Metodologia		Escrita – manuscrito original
X	Administração do projeto	X	Redação-- revisão e edição

3rd Author			
	Conceptualização	X	Recursos
	Curadoria de dados		Software
X	Análise formal		Supervisão
	Aquisição de financiamento		Validação
X	Investigação	X	Visualização
	Metodologia		Escrita – manuscrito original
	Administração do projeto	X	Redação-- revisão e edição

4th Author			
	Conceptualização		Recursos
X	Curadoria de dados		Software
	Análise formal	X	Supervisão
	Aquisição de financiamento		Validação
	Investigação	X	Visualização
	Metodologia		Escrita – manuscrito original
	Administração do projeto		Redação-- revisão e edição

<https://credit.niso.org/>