



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA-UnB
FACULDADE DE CEILÂNDIA-FCE
CURSO DE FONOAUDIOLOGIA

ANA CLARA ROSA DA SILVA SLAVOV

**Avanços tecnológicos em impressão 3D de moldes
auriculares e aparelhos auditivos: Revisão Integrativa**

BRASÍLIA
2023

ANA CLARA ROSA DA SILVA SLAVOV

Avanços tecnológicos em impressão 3D de moldes auriculares e aparelhos auditivos: Revisão Integrativa

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade de Brasília – UnB – Faculdade de Ceilândia, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Fonoaudiologia.
Orientador (a): Prof^a. Dr^a. Valéria Reis do Canto Pereira

BRASÍLIA

2023

ANA CLARA ROSA DA SILVA SLAVOV

Avanços tecnológicos em impressão 3D de moldes auriculares e aparelhos auditivos: Revisão Integrativa

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade de Brasília – UnB – Faculdade de Ceilândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Fonoaudiologia.

Brasília, 15 de julho de 2023

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Valéria Reis do Canto Pereira
Faculdade de Ceilândia - Universidade de Brasília-UnB
Orientadora

Fga. Bruna Brainer Teles
Avaliadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por cuidar de mim e guiar os meus passos quando me senti perdida. Por me dar força e ser meu amparo nos momentos difíceis.

À minha família, especialmente aos meus pais, Marcelo e Lucia, minha irmã Laryssa e minha avó Dionesia, pelo amor, apoio incondicional, suporte e incentivo ao longo de todos esses anos. Vocês foram minha fonte de força e inspiração. Obrigada por acreditarem em mim e por fazerem o que puderam para me ajudar.

Aos meus professores, cuja dedicação e conhecimento são significativos para minha formação acadêmica. Obrigada por compartilharem todo o saber teórico e me mostrarem o quão linda é a Fonoaudiologia.

À minha orientadora, Valéria Reis do Canto Pereira, por ter aceitado ser minha orientadora mesmo com um período de tempo tão curto. Obrigada por compartilhar comigo essa pesquisa que tenho certeza que irá dar bons frutos.

À Fonoaudióloga Bruna Brainer Teles por aceitar compor a banca examinadora e contribuir com este trabalho.

Aos meus preceptores de estágio, Renata Monteiro, Monique Barreto, Denis Batista, Annelise Guerra e Marília Franco que me proporcionaram um ambiente de aprendizado prático e me guiaram durante essa experiência profissional. Seus ensinamentos foram fundamentais para o meu crescimento profissional.

Aos bibliotecários da FCE - UnB, principalmente ao Francisco Rafael, por sua dedicação e paciência em ensinar como realizar pesquisas nas bases de dados. Seus ensinamentos foram de grande valia para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Aos meus amigos da faculdade, pelo apoio mútuo, troca de conhecimentos e momentos de descontração que vivemos juntos ao longo dessa jornada. Um agradecimento especial a Larissa Tavares e ao Nicolás José, vocês foram essenciais para tornar essa trajetória mais leve e prazerosa.

Aos amigos fora da universidade também, em especial Paulo Afonso e Letícia Borges, obrigada por dividirem a vida comigo há tanto tempo, vocês são como irmãos para mim.

Ao Luiz Felipe, por ter me incentivado a retornar e finalizar a graduação, e, principalmente, por me aturar e me acalmar nessa reta final.

APRESENTAÇÃO DO MANUSCRITO

Avanços tecnológicos em impressão 3D de moldes auriculares e aparelhos

auditivos: Revisão Integrativa

Technological advancements in 3D printing of ear molds and hearing aids: An integrative review.

Ana Clara Rosa da Silva Slavov

Faculdade de Ceilândia, Universidade de Brasília, Brasília - Distrito Federal, Brasil.

Valéria Reis do Canto Pereira

Faculdade de Ceilândia, Universidade de Brasília, Brasília - Distrito Federal, Brasil.

Departamento que o trabalho foi realizado: Curso de Fonoaudiologia, Faculdade de Ceilândia, Universidade de Brasília - UNB - Brasília (DF), Brasil.

Endereço para correspondência:

Prof^a Dr^a Valéria Reis do Canto Pereira

Endereço: Faculdade de Ceilândia, Campus Universitário, Centro Metropolitano, Ceilândia Sul, Brasília (DF), CEP: 72220-275.

E-mail: vcantopereira@unb.br

Conflitos de interesse: Não há.

Fonte financiadora: Não há.

Avanços tecnológicos em impressão 3D de moldes auriculares e aparelhos auditivos: Revisão Integrativa

RESUMO

Objetivo: Identificar o estado atual da arte da impressão 3D na indústria auditiva, explorando os avanços tecnológicos na fabricação de moldes e aparelhos auditivos. **Metodologia:** Foi realizada busca na base de dados PubMed, LILACS, MEDLINE, Scopus e Periódico CAPES. Foram incluídos artigos em inglês sobre o uso de impressão 3D na indústria auditiva, buscando avanços tecnológicos em moldes auriculares para aparelhos de amplificação sonora individual. Foram excluídos artigos duplicados, não disponíveis em formato de texto completo ou não disponíveis de forma gratuita; que relatam o uso de impressão 3D para próteses ancoradas ao osso; artigos de revisão, dissertação e/ou teses. **Resultados:** Foram identificados 121 artigos. Destes, cinco eram duplicados. Dos 116 restantes, 106 foram excluídos por não se encaixarem nos critérios de inclusão. Dos dez estudos foram analisados na íntegra; três foram excluídos por fugirem do tema proposto e um não apresentou seu texto completo disponível, logo, seis artigos foram incluídos nesta revisão. **Conclusão:** A impressão 3D apresenta vantagens significativas na confecção de aparelhos auditivos, como a personalização de dispositivos de acordo com as necessidades individuais dos usuários. No entanto, existem desafios a serem superados, como a validação clínica dessas tecnologias e a acessibilidade, sendo necessário mais pesquisas para explorar e aprimorar o uso da impressão 3D na indústria auditiva.

Palavras-chave: Impressão 3D; Moldes auriculares; Aparelhos auditivos

Technological advancements in 3D printing of ear molds and hearing aids: An integrative review.

ABSTRACT

Objective: To identify the current state of the art of 3D printing in the hearing industry, exploring technological advances in the manufacture of molds and hearing aids. **Methodology:** A search was carried out in PubMed, LILACS, MEDLINE, Scopus and Periodic CAPES databases. Articles in English were included on the use of 3D printing in the hearing industry, seeking technological advances in ear molds for personal sound amplification devices. Duplicate articles, not available in full text format or not available free of charge were excluded; who report the use of 3D printing for bone-anchored prostheses; review articles, dissertations and/or theses. **Results:** 121 articles were identified. Of these, five were duplicates. Of the remaining 116, 106 were excluded because they did not meet the inclusion criteria. Of the ten studies were analyzed in full; three were excluded for deviating from the proposed theme and one did not present its full text available, therefore, six articles were included in this review. **Conclusion:** 3D printing has significant advantages in the manufacture of hearing aids, such as the customization of devices according to the individual needs of users. However, there are challenges to be overcome, such as clinical validation of these technologies and accessibility, and more research is needed to explore and improve the use of 3D printing in the hearing industry.

Keywords: 3D Printing; Ear molds; Hearing aids

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
OBJETIVO	12
METODOLOGIA	12
RESULTADOS	14
DISCUSSÃO	15
CONCLUSÃO	20
REFERÊNCIAS	22
TABELAS, QUADROS E FIGURAS	24

INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas inúmeros avanços tecnológicos ocorreram na indústria e no setor de manufatura, impulsionados pelo ritmo acelerado de desenvolvimento da sociedade. Entre esses avanços destaca-se a impressão tridimensional, também conhecida como impressão 3D. Sendo uma das técnicas de Prototipagem Rápida, essa tecnologia revolucionária tem conquistado cada vez mais espaço e atenção devido à sua capacidade de criar e reproduzir objetos por meio de *softwares* de Desenho Assistido por Computador (CAD) e Fabricação Assistida por Computador (CAM)⁽¹⁾, seguida pela fabricação aditiva, com adição de material camada por camada^(1,2). Seu potencial para a fabricação personalizada de uma ampla variedade de produtos tem sido explorado em diversos setores, incluindo o automotivo, aeroespacial, têxtil e joalheria.

No contexto da área da saúde, a impressão tridimensional oferece inúmeras possibilidades, como a fabricação de próteses, implantes e dispositivos médicos personalizados. Alguns dos principais produtos impressos em 3D são instrumentos e aparelhos odontológicos e aparelhos ortopédicos⁽³⁾. Além disso, por meio da utilização de tomografia computadorizada, é possível reproduzir modelos anatômicos precisos, como narizes, seios paranasais, traqueias e mandíbulas. Esses modelos têm sido usados para treinar, planejar e auxiliar cirurgiões, uma vez que podem representar com exatidão as patologias em estudo⁽¹⁾. Além de aprimorar a precisão e a eficácia dos tratamentos, essa abordagem pode trazer maior conforto, melhorar o prognóstico e a qualidade de vida dos pacientes⁽⁴⁾.

Desde os seus primórdios, a impressão tridimensional tem despertado interesse e ganhado espaço na indústria auditiva. Em meados de 1988 e 1989, pesquisadores já exploravam a possibilidade de utilizar a impressão 3D para obter

produtos de maior confiabilidade, buscando controlar o processo e industrializá-lo⁽²⁾. Posteriormente, todas as seis principais empresas do setor auditivo começaram a explorar as diferentes tecnologias de impressão, como a estereolitografia (STL) e a sinterização seletiva a laser (SLS), assim como *softwares* e *scanners*. A adoção da impressão 3D tornou-se mais lucrativa para essas empresas devido à rapidez, produtividade e melhor qualidade dos produtos resultantes⁽²⁾.

Atualmente, a impressão tridimensional já está sendo aplicada na indústria auditiva. Um exemplo é a confecção da cápsula de aparelhos auditivos intra-auriculares (ITE). Alguns autores estudaram o escaneamento e impressão 3D do conduto auditivo externo para a fabricação desses aparelhos, substituindo o processo de moldagem tradicional⁽⁵⁾. Essa abordagem traz vantagens significativas, como a reprodução fidedigna da anatomia da orelha, resultando em maior conforto para o usuário. Além disso, ela também tem sido utilizada para a fabricação de próteses auriculares reconstrutivas em pacientes com microtia, sendo uma técnica não invasiva que oferece uma precisão mais elevada e custos reduzidos em comparação às técnicas convencionais⁽⁶⁾.

O processo de moldagem tradicional para a adaptação de aparelhos auditivos demanda muito tempo e possui um custo mais elevado⁽⁷⁾. Isso acontece pela necessidade de várias etapas de fabricação e da dependência da habilidade e experiência dos profissionais. Inicialmente, o fonoaudiólogo realiza a pré-moldagem do conduto auditivo injetando uma massa de silicone e catalisador⁽⁸⁾. Em seguida, o pré-molde é encaminhado a um protético, responsável por realizar um processo manual de escultura e modelagem. Além disso, o paciente pode sentir desconforto e algumas complicações podem ocorrer decorrentes desse processo, como perfuração do tímpano e hematomas⁽⁷⁾. Com a entrada da tecnologia 3D no setor

auditivo, algumas técnicas de escaneamento estão surgindo para modificar esse método convencional, revolucionando a forma de pré-moldar.

Quanto aos tipos de escaneamento utilizados para a fabricação de moldes auriculares, existem duas abordagens principais, uma utiliza *scanners* externos e a outra *scanners* internos. Os *scanners* externos utilizam dispositivos ópticos para capturar a forma e os detalhes externos da orelha. Essa técnica pode ser realizada por fotogrametria, varredura de luz estruturada, varredura de linha a laser e varredura a laser tridimensional. É um método não invasivo e geralmente é realizado em poucos minutos^(7,9,10). Por outro lado, os *scanners* internos envolvem a inserção de uma sonda no conduto auditivo do indivíduo para capturar as características internas da orelha. Essa abordagem, exemplificada pelo *Otoscan*® e o *Lantos*®, *scanners* portáteis disponíveis no mercado, proporciona um nível mais detalhado de precisão. No entanto, requer um procedimento mais cuidadoso e pode causar certo desconforto temporário⁽⁷⁾.

A realização desta revisão integrativa de literatura se baseia na necessidade de preencher lacunas e compreender o impacto e as potencialidades da impressão 3D no setor auditivo. Espera-se que, a partir dessa pesquisa, seja possível oferecer subsídios para profissionais da área da saúde auditiva, assim como para pesquisadores e fabricantes de dispositivos auditivos, permitindo a atualização sobre as últimas descobertas e aplicações práticas da impressão 3D. Além disso, esta revisão poderá servir como base para futuras pesquisas e desenvolvimento de novas abordagens na fabricação de moldes e aparelhos auditivos, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida dos indivíduos com deficiência auditiva, bem como na otimização do processo de confecção destes dispositivos.

OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é identificar o estado atual da arte da impressão 3D na indústria auditiva, explorando os avanços tecnológicos na fabricação de moldes e aparelhos auditivos.

METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão integrativa de literatura, de modo a verificar o estado atual da arte da impressão 3D na indústria auditiva. Para a realização desta revisão foram seguidas as etapas de elaboração da pergunta norteadora, seleção das palavras-chave e das estratégias de busca, estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão, busca nas bases de dados, seleção dos artigos, análise e discussão dos resultados, bem como a respectiva conclusão. Por se tratar de uma revisão de literatura e não envolver pesquisa com humanos e/ou animais, a pesquisa não foi submetida à avaliação pelo Comitê de Ética em Pesquisa.

O estudo foi desenvolvido a partir da pergunta: “Qual o estado atual da impressão 3D na confecção de aparelhos auditivos e moldes auriculares?”

Estratégia de pesquisa

Para a pesquisa bibliográfica as buscas foram realizadas nas bases de dados: *Public Medicine Library* (PubMed), *Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da da Saúde* (LILACS), *Medical Literature Analysis and Retrieval System Online* (MEDLINE), *Scopus* e *Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior* (CAPES), durante o período de maio a junho de 2023. Além disso, foi realizada busca na literatura cinzenta (Google Acadêmico), de forma complementar.

Os descritores utilizados nas estratégias de busca foram definidos pelas ferramentas *Medical Subject Headings* (MeSH) e *Descritores em Ciências da Saúde* (DeCS), assim como termos frequentemente encontrados na literatura. Os termos utilizados foram “*3D printing*”, “*3D printed*”, “*three dimensional printing*”, “*ear molds*” e “*hearing aids*”. Os operadores booleanos utilizados para a combinação dos termos entre si foram AND e OR. Foi utilizada a estratégia (“*3d printing*” AND “*ear molds*” AND “*hearing aids*”) nas cinco bases de dados escolhidas, porém apenas no Google Acadêmico que houve resultados relevantes. Dessa forma, mais uma estratégia foi utilizada na PubMed, LILACS, MEDLINE, Scopus e Periódico CAPES: ((“*3d printing*” OR “*3d printed*” OR “*three dimensional printing*”) AND (“*ear molds*” OR “*hearing aids*”)).

Critérios de seleção

Foram incluídos artigos em inglês e que abordassem diretamente sobre o uso de impressão 3D na indústria auditiva, buscando avanços tecnológicos em moldes auriculares para Aparelhos de Amplificação Sonora Individual (AASI). Os critérios de exclusão foram: artigos duplicados, não disponíveis em formato de texto completo ou não disponíveis de forma gratuita; estudos que relatam o uso de impressão 3D para próteses ancoradas ao osso; artigos de revisão, dissertação e/ou teses.

Análise de dados

A seleção dos estudos foi realizada em duas etapas. Na primeira etapa, dois revisores avaliaram, de forma independente, os títulos e resumos de todos os estudos encontrados nas bases de dados. Foram descartados todos que não se enquadraram nos critérios de inclusão. Na etapa dois, ainda de maneira independente, ambos os revisores avaliaram o texto completo dos estudos

selecionados após a etapa um. Foram aplicados os mesmos critérios de inclusão de seleção de artigos para confirmar a sua elegibilidade. Conflitos de escolha foram resolvidos por meio de discussão e acordo entre ambas as partes.

O processo de coleta de dados foi realizado pelo primeiro revisor, porém todas as informações foram verificadas pelo segundo revisor para confirmar a integridade dos dados encontrados. Foram extraídos dos estudos os seguintes dados: nome dos autores, título, ano de publicação, o objetivo, o método, os resultados encontrados e a conclusão.

RESULTADOS

A partir da pesquisa foram recuperados 121 estudos, sendo 12 na PubMed, zero na LILACS, 11 na MEDLINE, 36 na *Scopus*, 41 no Periódico CAPES e 21 no Google Acadêmico. Destes, cinco foram excluídos por estarem em mais de uma base de dados. Após a leitura do título e resumo foram excluídas 106 publicações, por não responderem à pergunta norteadora do estudo.

Realizou-se a leitura na íntegra de dez publicações, das quais foram excluídos quatro artigos por não se adequarem aos critérios de inclusão. Desta forma, seis artigos científicos foram utilizados para a elaboração da presente revisão integrativa (Figura 1). Para descrever a amostra, os artigos selecionados foram caracterizados segundo título, autores, país e ano de publicação (Quadro 1).

<Inserir Figura 1>

<Inserir Quadro 1>

Dos estudos analisados, quatro artigos (66,7%) ultrapassaram dez anos de publicação, sendo que um artigo (16,7%) foi publicado em 2012 e os outros três (50%) entre 2004 e 2006. Os demais artigos (n=2; 33,3%) são de 2022.

Quanto à origem dos estudos, dois foram conduzidos na Itália (33,3%), um em Singapura (16,7%), um nos Estados Unidos (16,7%), um em Porto Rico (16,7%) e um na China (16,7%).

Prevaleram os estudos (50%) com enfoque nos métodos para o escaneamento 3D e os diferentes tipos de *scanner*. Esses estudos buscaram compreender qual seria o melhor método, os benefícios de cada técnica e as possíveis dificuldades encontradas em cada uma delas.

Foi realizada a síntese dos dados de cada estudo primário incluído na revisão, fornecendo dados sobre os objetivos, métodos, resultados encontrados e as conclusões (Quadro 2).

<Inserir Quadro 2>

DISCUSSÃO

Foi possível entrar em contato com diversos estudos sobre a Manufatura Aditiva (impressão 3D), um setor que tem avançado consideravelmente nas últimas décadas e é amplamente adotado em áreas como engenharia, odontologia e medicina. No entanto, o uso específico dessa tecnologia na fabricação de aparelhos auditivos e moldes auriculares ainda está em fase de desenvolvimento, havendo uma quantidade limitada de estudos na literatura (Figura 1). Esse fato indica que essa área é emergente, tanto em pesquisa quanto em prática clínica, com potencial para trazer benefícios significativos aos usuários de aparelhos auditivos.

As seis empresas dominantes no setor auditivo de todo o mundo, *Siemens*, *Oticon*, *Phonak*, *GN ReSound*, *Starkey* e *Widex*, adotaram a impressão tridimensional para confecção de aparelhos auditivos^(2,3). A partir dessa tecnologia foi possível reduzir a produção dos aparelhos de nove para três etapas: digitalização ou escaneamento, modelagem e impressão⁽³⁾.

No que diz respeito aos métodos de escaneamento, existem algumas tecnologias utilizadas para capturar com precisão a anatomia do conduto auditivo e criar modelos digitais para a fabricação de aparelhos auditivos. O *scanner* interno *Otoscan*® foi citado como uma possibilidade para realizar tal impressão digital⁽⁷⁾, bem como o *Lantos*®⁽¹¹⁾. Eles vêm para substituir o processo de pré-moldagem, a fim de fornecer uma excelente adaptação do AASI. Moldes auriculares que se encaixam perfeitamente garantem uma emissão do som adequada, com menos chance de feedback auditivo^(7,9).

Além disso, *scanners* externos, como a varredura a laser tridimensional também podem ser utilizados para tal fim. Dois estudos^(9,10) utilizaram essa tecnologia em suas pesquisas, com um par de câmeras, um processador de vídeo e um laser de hélio e neon digitalizaram a superfície, em seguida realizaram a reconstrução da superfície com um algoritmo direto. De acordo com os pesquisadores^(9,10), a partir do brilho de um feixe de laser que incide sobre a superfície do objeto, as câmeras digitais e o processador de vídeo podem medir a coordenada 3D de um ponto de luz de alta intensidade e então digitalizá-la. Constataram que, por meio da varredura a laser tridimensional, é possível eliminar os processos de pós-impressão e tornar o processo de fabricação da concha extremamente repetível e mais rápido^(9,10).

Tal fato acontece porque, com essa tecnologia, foi possível alimentar diretamente os dados de impressão reconstruídos em máquinas de impressão 3D CAD/CAM⁽¹⁰⁾. O CAD refere-se à criação de modelos virtuais em 3D por meio de *software* e ferramentas digitais^(12,13), enquanto o CAM envolve a transformação desses modelos CAD em instruções e dados utilizados para produzir o objeto físico. O armazenamento digital das impressões auriculares por meio do CAD proporcionou benefícios adicionais, como facilidade e confiabilidade na cópia e transmissão, controle de qualidade e análise quantitativa⁽¹⁰⁾.

Outros pesquisadores avaliaram o uso de *scanners* externos para escanear o conduto auditivo com precisão e eficiência para adaptar aparelhos auditivos⁽⁷⁾. Eles exploraram a fotogrametria, varredura de luz estruturada e varredura de linha a laser, sendo método que possuem como princípio primário a triangulação. Entretanto, a fotogrametria baseia-se na captura de múltiplas imagens e na correspondência de pontos-chave para reconstruir a geometria do objeto⁽⁷⁾. A varredura de luz estruturada envolve a projeção de padrões de luz sobre o conduto auditivo, medindo a deformação desses padrões para obter informações de profundidade⁽⁷⁾. Já a varredura de linha a laser utiliza um feixe de laser para registrar a forma do conduto auditivo externo com alta precisão, capturando dados em uma única linha para criar um modelo detalhado⁽⁷⁾.

Por fim, concluíram que a varredura de luz estruturada foi a tecnologia mais adequada para medir grandes porções do conduto auditivo externo sem contato direto com a orelha⁽⁷⁾. Essa metodologia pode tornar o processo de adaptação de aparelhos auditivos mais econômico e ambientalmente sustentável, pois diminui a repetição de processos, o transporte e, conseqüentemente, a emissão de Dióxido de Carbono (CO₂)⁽⁷⁾. Tal fato corrobora com outro estudo⁽⁶⁾, que relata que o

escaneamento a laser estruturado é uma opção não invasiva, com custo inferior e precisão elevada quando comparada aos métodos tradicionais.

Realizaram uma pesquisa comparando a praticidade de impressões auriculares feitas pelo método tradicional de adaptação injetável com aquelas fabricadas por meio de Tomografia Computadorizada de Alta Resolução (TCAR) combinada com impressão 3D⁽¹¹⁾. O processo de impressão foi realizado usando um sistema de prototipagem rápida. Este sistema envolvia o uso de *software* de CAD para converter o desenho em arquivos estereolitográficos (STL). Os resultados demonstraram que o uso de TCAR e *software* de imagem médica podem aliviar a dor e o desconforto causados pela pressão estática da injeção de material de impressão no conduto auditivo externo, semelhante aos achados da varredura de luz estruturada⁽⁷⁾.

As preocupações com a exposição à radiação da TCAR indicam que as técnicas tradicionais não podem ser totalmente substituídas pelos métodos de reconstrução de imagem da TCAR⁽¹²⁾. No entanto, os pacientes não seriam expostos à radiação com tanta frequência, tornando esse método potencialmente mais vantajoso em termos de exposição à radiação em comparação com as técnicas tradicionais. Em termos de custos, a TCAR pode ter gastos maiores em comparação com as outras tecnologias exploradas em outros estudos^(7,9,10).

Também foi explorado a aplicação da tecnologia de prototipagem rápida na produção de moldes auriculares⁽¹⁴⁾. Utilizando um *scanner* 3D, os moldes auriculares puderam ser construídos em um tempo relativamente curto, uma média de 60 moldes auriculares diferentes podem ser impressos entre 3 a 8 horas, proporcionando economia de custos e melhoria na qualidade e consistência da produção. Para a impressão tridimensional, ele comparou duas das técnicas de RP

que já foram utilizadas na indústria auditiva anteriormente: a estereolitografia e a sinterização a laser. Após os testes, a estereolitografia foi destacada como a tecnologia mais adequada devido à sua capacidade de construir peças claras e com alta precisão⁽¹⁴⁾.

Uma das principais diferenças entre elas é o material utilizado em cada uma. Na SLT utiliza-se resinas líquidas fotorreativas curáveis por Ultravioleta (UV), como epóxis e acrilatos. Já na SLS a fabricação é a partir de materiais em pó, como policarbonato, nylon e nylon com fibra de vidro. Como são materiais diferentes, o método também difere. Na SLT um laser é utilizado para mapear as informações da seção transversal de dados em CAD. Essas informações são aplicadas na superfície de um recipiente contendo um líquido fotopolímero camada a camada. Já a SLS utiliza o calor de um laser de CO2 para sinterizar ou fundir os materiais⁽¹⁴⁾.

Em relação aos efeitos da impressão 3D no comércio mundial de aparelhos auditivos, um estudo investigou o impacto dessa tecnologia⁽³⁾. Os resultados indicaram que a adoção da impressão 3D estimula o comércio, semelhante a outros avanços tecnológicos. No setor auditivo, isso acontece devido à melhora na qualidade e redução dos custos do produto, assim como o aumento da demanda. Além disso, os aparelhos auditivos impressos com essa tecnologia são mais leves, o que torna o transporte internacional mais barato, expandindo as exportações⁽³⁾.

O Brasil estava entre um dos exportadores entre 1995 e 2016, entretanto, sua participação nas exportações globais de aparelhos auditivos foi de 0,01% tanto em 2000, quanto em 2016⁽³⁾. Também não foi encontrado na literatura estudos desta temática publicados no país (Quadro 1), sendo um campo a ser explorado também na pesquisa. Em contrapartida, em Singapura, local de publicação de um dos

estudos⁽⁷⁾, a taxa de exportação de AASI foi de 25,97% em 2000 e 10,94% em 2016, já na China, local de um outro estudo⁽¹²⁾ foi de 2,51% em 2000 e 22,23% em 2016⁽³⁾.

No mercado atual, existem várias impressoras 3D adequadas para a fabricação de aparelhos auditivos e moldes auriculares. Algumas das impressoras incluem a Sony SCS-6000⁽¹⁴⁾, a 3D Systems Viper HA SLA Dual Vat System⁽¹⁴⁾ e a 3D Systems ProJet MJP 2500⁽¹²⁾. Além dessas, há a Formlabs Form 3B, a EnvisionTEC Micro Plus HD e a Carbon M2. Essas impressoras são capazes de produzir peças com alta precisão e detalhamento, garantindo a qualidade necessária para a fabricação de aparelhos auditivos. Entretanto, os autores⁽³⁾ apontaram que, a longo prazo, se as impressoras 3D se tornarem mais acessíveis aos fabricantes locais ou até mesmo aos consumidores, os efeitos comerciais positivos podem ser revertidos.

Em resumo, a manufatura aditiva (impressão 3D) está transformando a indústria de aparelhos auditivos. As principais vantagens incluem a personalização dos dispositivos de acordo com as necessidades individuais dos usuários, a redução de custos e tempo de produção^(3,7,9,10), e a melhoria na qualidade e precisão dos produtos finais^(7,9,10). Além disso, a capacidade de criar modelos de conchas sob medida permite um ajuste mais confortável e eficiente dos aparelhos auditivos⁽⁷⁾.

CONCLUSÃO

A manufatura aditiva, por meio da impressão 3D, oferece vantagens significativas na confecção de aparelhos auditivos e moldes auriculares. Os métodos de escaneamento tridimensional por meio de *scanners* externos, estão sendo cada vez mais explorados para capturar com precisão o conduto auditivo externo,

permitindo a personalização dos dispositivos de acordo com as necessidades individuais dos usuários, resultando em maior conforto e eficiência.

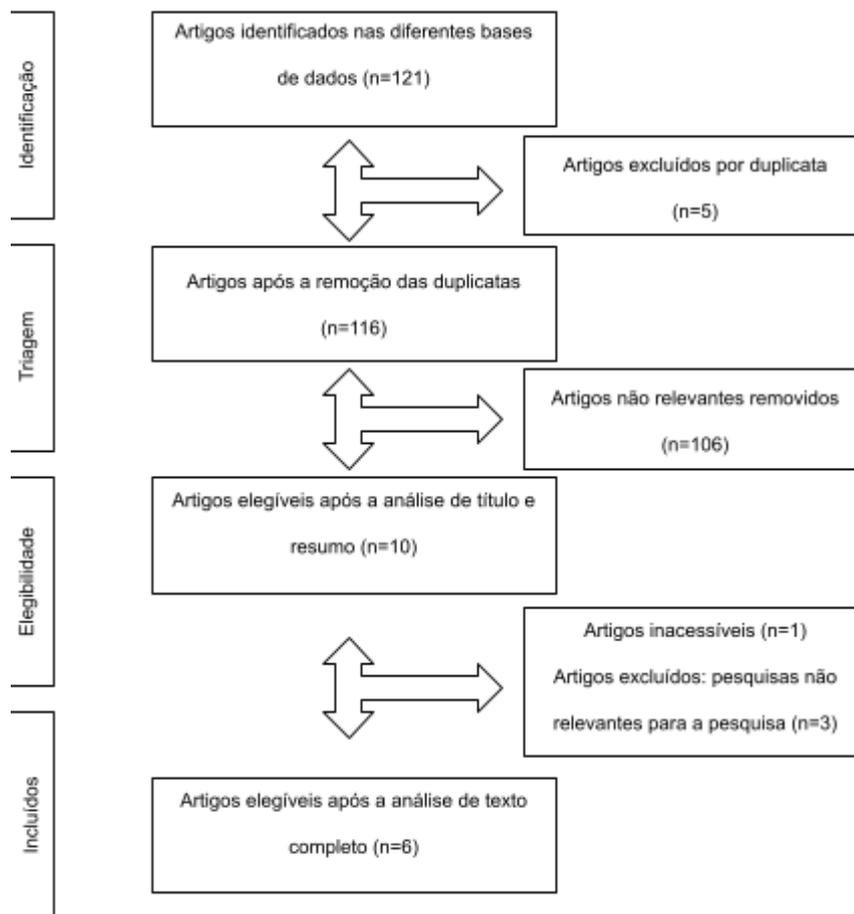
No entanto, é importante ressaltar que ainda há desafios a serem superados nessa área, como a validação clínica dessas tecnologias e a acessibilidade. É notável que a pesquisa nessa área ainda está em desenvolvimento, com uma quantidade limitada de estudos encontrados na literatura, principalmente em relação aos moldes auriculares. A falta de dados sobre o uso de *scanners* internos também é um ponto a ser abordado em futuras pesquisas.

Portanto, é fundamental que mais pesquisas sejam realizadas para explorar e aprimorar ainda mais o uso da impressão 3D na fabricação de aparelhos auditivos e moldes auriculares. Com esses avanços é esperado que a impressão 3D desempenhe um papel cada vez mais importante no campo da audição, melhorando a qualidade de vida dos indivíduos com perda auditiva e impulsionando o progresso na indústria auditiva como um todo.

REFERÊNCIAS

1. Tiwari D, Vobilisetty RK, Heer B. Current Application and Future Prospects of 3D Printing in Otorhinolaryngology-A Narrative Review. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg.* 2022 Mar;74(1):123-126. doi: 10.1007/s12070-021-02634-5. Epub 2021 May 27. PMID: 35070934; PMCID: PMC8743309.
2. Sandström CG. The non-disruptive emergence of an ecosystem for 3D Printing — Insights from the hearing aid industry's transition 1989–2008. *Technological Forecasting and Social Change.* 2016 ;102(C):160–8.
3. Freund C, Mulabdic A, Ruta M. Is 3D printing a threat to global trade? The trade effects you didn't hear about. *Journal of International Economics.* 2022 Sep;138:103646.
4. Matozinhos IP, Madureira AAC, Silva GF, Madeira GC de C, Oliveira IFA, Corrêa CR. IMPRESSÃO 3D: INOVAÇÕES NO CAMPO DA MEDICINA. *REVISTA INTERDISCIPLINAR CIÊNCIAS MÉDICAS.* 2017 Feb 2;1(1):143–62.
5. Oliveira JRM de, Amantini RCB, Dora DR, Yachioka PL. Apresentação do processo de confecção da cápsula do aparelho de amplificação sonora individual intra-aural por meio de digitalização. *Revista CEFAC.* 2012 Apr 12;15(1):89–93.
6. Cruz RLJ, Ross MT, Skewes J, Allenby MC, Powell SK, Woodruff MA. An advanced prosthetic manufacturing framework for economic personalised ear prostheses. *Scientific Reports.* 2020 Jul 10;10(1).
7. Tan CKL, Goh ZH, Chua KWD, Kamath S, Chung CKR, Teo WBY, et al. An improved hearing aid fitting journey; the role of 3D scanning, additive

- manufacturing, and sustainable practices. *Materials Today: Proceedings*. 2022;70:504–11.
8. Marques JB. Estudo comparativo de auxiliares de audição obtidos com sistema CAD/CAM e com método convencional de pré-moldagem. 2017 Jan 25.
 9. Tognola G, Parazzini M, Svelto C, Galli M, Ravazzani P, Grandori F. Design of hearing aid shells by three dimensional laser scanning and mesh reconstruction. *J Biomed Opt*. 2004 Jul-Aug;9(4):835-43. doi: 10.1117/1.1756595. PMID: 15250772.
 10. Tognola G, Parazzini M, Ravazzani P, Grandori F, Pesatori A, Norgia M, et al. Mesh reconstruction of hearing aid shells from unorganized 3D point-cloud. *IEEE*. 2005. 42 - 45. doi:10.1109/IST.2005.1594524.
 11. Fligor B, Grenier J. The Lantos 3D Scanning System and Computer Aided Design of Musicians Earplugs TM. *Journal of the Audio Engineering Society*. 2019.
 12. Chen CK, Chen PKT, Chiu WT, Cheng WD, Tsui PH. Comparison of high-resolution computed tomography with conventional injection fitting method for fabricating hearing aid shells. *Otolaryngology--Head and Neck Surgery: Official Journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery*. 2012 Jul 1;147(1):170–2.
 13. Berman B. 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*. 2012 Mar;55(2):155–62.
 14. Czajkiewicz, Z. Application of Rapid Prototyping Technology to Earmold Production. *LACCEI Proceedings*. 2006.

TABELAS, QUADROS E FIGURAS**Figura 1.** Fluxograma das etapas de seleção da amostra.

Quadro 1. Caracterização geral dos artigos encontrados.

N	Título	Autores	País, ano
3	Is 3D printing a threat to global trade? The trade effects you didn't hear about	Freund, Mulabdic e Ruta	Estados Unidos, 2022
7	An Improved Hearing Aid Fitting Journey; the Role of 3D Scanning, Additive Manufacturing, and Sustainable Practices	Tan CKL, Goh ZH, Chua KWD, Kamath S, Chung CKR, Teo WBY, et al	Singapura, 2022
9	Design of hearing aid shells by three dimensional laser scanning and mesh reconstruction	Tognola G, Parazzini M, Svelto C, Galli M, Ravazzani P, Grandori F	Itália, 2004
10	Mesh reconstruction of hearing aid shells from unorganized 3D Point-Cloud	Tognola G, Parazzini M, Svelto C, Galli M, Ravazzani P, Grandori F	Itália, 2005
12	Comparison of High-Resolution Computed Tomography with Conventional Injection Fitting Method for Fabrication Hearing Aid Shells	Chin-Kui Chen, M.D., et al	China, 2012
14	Application of Rapid Prototyping Technology to Earmold Production	Czajkiewicz, Z.J.	Porto Rico, 2006

Legenda: N = Referência

Quadro 2. Descrição dos estudos segundo objetivo, método, resultados e conclusão

N	Objetivo	Método	Resultado e Conclusão
3	Analisar o impacto da impressão 3D no comércio internacional utilizando como exemplo os aparelhos auditivos.	Examinaram 35 outros produtos que estão sendo cada vez mais impressos em 3D, como instrumentos e aparelhos odontológicos, e antibióticos, para investigar se as percepções do comércio de aparelhos auditivos podem ser mais gerais.	A exportação de aparelhos auditivos aumentou cerca de 80% após a introdução da impressão 3D. Os resultados indicam que o efeito imediato da mudança da produção padrão para a impressão 3D é estimular o comércio, semelhante a muitos outros tipos de avanços tecnológicos. A longo prazo, se as impressoras 3D se tornarem mais acessíveis aos produtores locais (ou mesmo aos consumidores) em alguns setores, os efeitos comerciais positivos descobertos nesta análise poderão ser revertidos.
7	Avaliar se <i>scanners</i> externos podem ser adaptados para escanear o conduto auditivo externo com precisão e eficiência para adaptação de aparelhos auditivos.	Para testar a capacidade dos diferentes métodos, um modelo impresso em 3D de uma orelha humana real foi escaneado por três métodos de escaneamento: (1) fotogrametria, (2) luz estruturada e (3) escaneamento a laser.	Os três métodos podem ser adaptados para escanear o conduto auditivo externo. Entretanto, ao avaliar o desempenho técnico, funcionalidade e usabilidade do sistema, a varredura de luz estruturada foi determinada como a tecnologia mais adequada para desenvolver uma metodologia digital otimizada que pode ser usada por um audiolologista para medir diretamente grandes porções do conduto auditivo externo sem contato físico com a orelha. A longo prazo, as metodologias de escaneamento externo tornarão o processo de adaptação de aparelhos auditivos mais econômico e ambientalmente sustentável.
9	Apresentar um novo sistema para escaneamento a laser 3D e reconstrução de malha da superfície das impressões do canal auditivo.	Foi utilizado um par de câmeras e um laser comercial para a digitalização da superfície e em um algoritmo direto, baseado na deformação de um modelo geométrico, para a reconstrução da superfície adquirida. As medições em objetos de características e dimensões geométricas conhecidas são realizadas para avaliar os níveis de precisão e repetibilidade deste sistema de aquisição 3D.	Ao considerar as impressões reais do canal auditivo, o algoritmo proposto foi capaz de reconstruir superfícies muito precisas, mostrando todas as depressões e sulcos anatômicos típicos da superfície digitalizada real. Além disso, simulações com uma superfície de teste sintética com forma e dimensão semelhantes a uma impressão de conduto auditivo real forneceram boas evidências da robustez ao ruído do algoritmo de reconstrução proposto, alcançando uma melhoria significativa de 50% entre as superfícies ruidosas e reconstruídas. O sistema proposto apresenta várias vantagens em relação ao procedimento de fabricação atual para a fabricação de conchas de aparelhos auditivos: Não é mais necessário usar processos de pós-impressão porque a impressão reconstruída digitalmente pode ser alimentada diretamente para ad hoc CAD/CAM 3D máquinas de impressão, alcançando assim uma melhor e quantificável precisão na obtenção de uma réplica exata do conduto auditivo. Além disso, todo o processo de fabricação da casca se tornaria extremamente ágil e consumiria menos tempo.
10	Aplicar um novo sistema de escaneamento a laser 3D e reconstrução de imagem para escanear e reconstruir a superfície de impressões do canal auditivo, que são usadas pela tecnologia disponível atualmente para projetar conchas de silicone para aparelhos auditivos (ou moldes auriculares).	O dispositivo de varredura foi baseado em tecnologia óptica composta por um laser He-Ne de alta qualidade, mas comercial e de baixo preço, duas câmeras e um processador de vídeo em tempo real. As câmeras digitais e o processador de vídeo são para medir a coordenada 3D de um ponto de luz de alta intensidade. Isso é produzido pelo brilho de um feixe de laser sobre a superfície do objeto a ser digitalizado. A superfície pode, assim, ser totalmente digitalizada passando o laser sobre o objeto.	O sistema proposto apresenta várias vantagens em relação ao procedimento de fabricação atual para a fabricação de conchas de aparelhos auditivos: não é mais necessário usar processos de pós-impressão porque a impressão reconstruída digitalmente pode ser alimentada diretamente em máquinas de impressão 3D CAD/CAM ad hoc, alcançando assim uma precisão melhor e quantificável na obtenção de uma réplica exata da impressão auricular. Além disso, todo o processo de fabricação da casca se tornaria extremamente repetível e consumiria menos tempo. Além disso, esse tipo de armazenamento digital da impressão auricular permite: cópia ou transmissão simples e confiável do modelo; controle de qualidade da máquina de impressão 3D; análise quantitativa do encaixe da concha (comparando a versão digitalizada do conduto auditivo externo com uma versão digitalizada em 3D da concha impressa); posicionamento ideal do módulo eletrônico no modelo 3D da concha para otimizar as características acústicas do aparelho auditivo.
12	Comparar a praticidade das impressões auriculares feitas pelo método tradicional de adaptação injetável e daquelas fabricadas pela técnica de TCAR.	Dez indivíduos com idades entre 20 e 28 anos foram incluídos no estudo. A TCAR do osso temporal foi realizada usando um tomógrafo de 16 cortes. Os dados obtidos dos arquivos de imagem de TC foram usados como dados de entrada para o sistema RP. Essas imagens foram convertidas em arquivos STL usando software de CAD. Foi utilizado o ProJet HD3000 para construir o molde de impressão tridimensional a partir de várias seções transversais do modelo CAD.	Os moldes feitos a partir de TCAR e pelo método tradicional foram similares quanto a geometria, entretanto, havia presença de bolhas nos moldes realizados pelo método tradicional. O uso de TCAR e software de imagens médicas pode evitar a dor e o desconforto causados pela pressão estática de injetar material de impressão no MAE e pode reduzir significativamente outras possíveis complicações de um procedimento invasivo. No entanto, as preocupações com a radiação da TC significam que as técnicas tradicionais não podem ser inteiramente substituídas por métodos de reconstrução por imagem de TCAR. Além disso, é mais caro confeccionar um molde a partir de uma TCAR.
14	Verificar se a tecnologia e o processo de prototipagem rápida podem ser implementados na produção regular para economizar custos, melhorar a qualidade e a consistência da produção de moldes auriculares.	Foi utilizado um <i>scanner</i> 3D para digitalizar a impressão, de modo que os dados capturados sejam convertidos normalmente em um arquivo CAD/CAM. Os modelos projetados serão primeiro convertidos tipicamente para o formato STL (extensão .stl) e, em seguida, serão exportados para a máquina RP.	Verificou-se que entre 50 e 70 moldes auriculares diferentes podem ser construídos em um tempo entre 3 a 8 horas de acordo com a tecnologia e o tipo da máquina. Algumas das tecnologias de impressão são a sinterização seletiva a laser, a qual funde os materiais em pó a partir do calor, e a estereolitografia, que utiliza resinas líquidas fotoreativas a luz ultravioleta. Em conclusão, a estereolitografia foi selecionada como tecnologia devido à sua capacidade de construir peças claras e alta precisão das peças da amostra foi satisfatória. No entanto, tipos de materiais com diversas características e rápidos desenvolvimentos neste campo tiveram grande influência nesta decisão.

Legenda: 3D = Tridimensional ; CAD = Desenho Assistido por Computador ; CAM = Fabricação Assistida por Computador ; STL = Estereolitográficos ; RP = Prototipagem Rápida ; TCAR = Tomografia Computadorizada de Alta Resolução ; TC = Tomografia Computadorizada ; MAE = Meato Acústico Externo.