

Contribuições da engenharia reversa e produção de modelos 3D para o ensino médico

Contributions of reverse engineering and 3D models production for medical education

Contribuciones de la ingeniería inversa y la producción de modelos 3D para la educación médica

Recebido: 22/08/2021 | Revisado: 28/08/2021 | Aceito: 01/09/2021 | Publicado: 04/09/2021

Maria Clara Emos de Araujo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7632-2415>

Universidade Evangélica de Goiás, Brasil

E-mail: emosmariaclara@gmail.com

Marcelo Mota de Souza Duarte

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9066-8092>

Universidade Evangélica de Goiás, Brasil

E-mail: marcelomotaduarte@gmail.com

Lucas da Mota Louredo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8888-6461>

Universidade Evangélica de Goiás, Brasil

E-mail: lucasdmtalouredo@gmail.com

Joelma da Mota Louredo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7485-4146>

Universidade de Brasília, Brasil

E-mail: joelmamotalouredo@gmail.com

Jalsi Tacon Arruda

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7091-4850>

Universidade Evangélica de Goiás, Brasil

E-mail: jalsitacon@gmail.com

Resumo

O uso da impressora 3D na prática médica tem aumentado, sendo uma inovação que auxilia positivamente o processo de ensino-aprendizagem, envolvendo a aprendizagem visual e cinestésica. O presente estudo descreve o uso da engenharia reversa na produção de modelos 3D e sua aplicabilidade no contexto de ensino-aprendizagem médico. Trata-se de uma revisão integrativa da literatura realizada a partir de buscas nas bases de dados PubMed, LILACS, SciELO e Google Acadêmico, utilizando os descritores “Educação Médica”, “Impressão Tridimensional” e “Desenho Assistido por Computador”. A engenharia reversa proporciona a obtenção de modelos CAD (*computer aided design*) de objetos a partir de dados de exames de imagem, obtendo-se um desenho técnico com muito detalhe, o que resulta em peças impressas por impressora 3D altamente realistas. As peças 3D podem ser empregadas no estudo de Anatomia Humana, em casos clínicos e cirúrgicos. A aplicabilidade desses modelos já é observada ao redor do mundo e no Brasil. As peças permitem melhor compreensão de pontos anatômicos complexos, doenças e sua relação com o tratamento, além de variações anatômicas. No contexto do ensino-aprendizagem médico, a engenharia reversa pode ser inserida nas aulas práticas, para que o estudante possa manipular os exames de imagem e reproduzir as peças em 3D e recursos digitais, cada vez mais inseridos no mundo globalizado. Portanto, existe grande oportunidade de crescimento para o curso de medicina que faz uso das peças 3D, tendo como grandes aliados o baixo custo e a alta precisão anatômica da impressão por engenharia reversa.

Palavras-chave: Educação médica; Impressão tridimensional; Desenho assistido por computador.

Abstract

The use of 3D printers in medical practice has increased, being an innovation that positively helps the teaching-learning process involving visual and kinesthetic learning. The present study describes the use of reverse engineering in the production of 3D models and its applicability in the medical teaching-learning context. This is an integrative literature review carried out from searches in the PubMed, LILACS, SciELO and Academic Google databases, using the descriptors “Medical Education”, “Tridimensional Printing” and “Computer-Aided Design”. Reverse engineering makes it possible to obtain CAD (*computer aided design*) models of objects from image exam data, resulting in a highly detailed technical drawing, and in highly realistic 3D printer printed parts. 3D parts can be used in the study of human anatomy, in clinical and surgical cases. The applicability of these models is already observed around the world and in Brazil. The parts allow a better understanding of complex anatomical points, diseases, and their relationship with the treatment, in addition to anatomical variations. In the context of medical teaching-learning, reverse engineering can be inserted in practical classes, so that the student can manipulate the image exams and reproduce the

pieces in 3D and digital resources, increasingly inserted in the globalized world. Therefore, there is a great growth opportunity for the medical school that makes use of 3D parts, having as great allies the low cost and high anatomical precision of reverse engineering printing.

Keywords: Medical education; Three-dimensional printing; Computer-aided design.

Resumen

Se ha incrementado el uso de las impresoras 3D en la práctica médica, siendo una innovación que ayuda positivamente al proceso de enseñanza-aprendizaje involucrando el aprendizaje visual y cinestésico. El presente estudio describe el uso de la ingeniería inversa en la producción de modelos 3D y su aplicabilidad en el contexto de enseñanza-aprendizaje médica. Se trata de una revisión integradora de la literatura realizada a partir de búsquedas en las bases de datos PubMed, LILACS, SciELO y Academic Google, utilizando los descriptores “Educación Médica”, “Impresión Tridimensional” y “Diseño asistido por Computadora”. La ingeniería inversa proporciona la obtención de modelos CAD (*Computer Aided Design*) de objetos a partir de datos de exámenes de imagen, obteniendo un dibujo técnico muy detallado, que resultan en piezas impresas por impresoras 3D de gran realismo. Las piezas 3D se pueden utilizar en el estudio de la anatomía humana, en casos clínicos y quirúrgicos. La aplicabilidad de estos modelos ya se observa en todo el mundo y en Brasil. Las piezas permiten una mejor comprensión de puntos anatómicos complejos, enfermedades y su relación con el tratamiento, además de variaciones anatómicas. En el contexto de la enseñanza-aprendizaje médica, la ingeniería inversa se puede insertar en las clases prácticas, de manera que el alumno pueda manipular los exámenes de imagen y reproducir las piezas en 3D y recursos digitales, cada vez más insertados en el mundo globalizado. Por lo tanto, existe una gran oportunidad de crecimiento para el curso de medicina que hace uso de piezas 3D, teniendo como grandes aliados el bajo costo y la alta precisión anatómica de la impresión por ingeniería inversa.

Palabras clave: Educación médica; Impresión tridimensional; Diseño asistido por computadora.

1. Introdução

Recursos tecnológicos interativos são cada vez mais utilizados no ensino de disciplinas que envolvem aulas práticas. Um exemplo aplicável dessa evolução são as impressoras tridimensionais (3D), uma inovação que auxilia positivamente o processo de ensino-aprendizagem, envolvendo os estilos de aprendizagem visual e cinestésica (Araújo et al., 2019; Awadh et al., 2020). Uma impressora 3D possibilita a produção de estruturas personalizadas, projetadas com recursos digitais baseados nos exames de imagem reais ou réplicas de uma peça original (Duarte et al., 2019; 2021). O protótipo pode ser impresso utilizando filamentos plásticos como o ABS (acrilonitrila butadieno estireno), que pode ser mecanizado, lixado, pintado, colado etc., ou utilizando o PLA (ácido poliláctico), um plástico biodegradável. Os dois tipos são capazes de produzir estruturas com qualidade suficiente para os propósitos educacionais (Wen, 2016).

O uso da impressora 3D na prática médica vem aumentando, como na produção de próteses personalizadas, treinamento para intervenções cirúrgicas, além de poder ser aplicado para o estudo de Anatomia Humana (Cramer et al., 2017; Matozinhos et al., 2017). Dentro do processo de ensino-aprendizagem médico, a disciplina de Anatomia Humana faz parte das disciplinas do ciclo básico, sendo a compreensão da morfologia do organismo fundamental para entender o funcionamento do ser humano como um todo. No entanto, as práticas de ensino utilizando dissecação e análise de exames de imagem apresentam algumas limitações (Wu et al., 2018; Mendonça et al., 2021). Na maior parte das instituições de ensino médico, há uma alta demanda por material para ensino – cadáveres –, tornando a relação alunos/peças disputada. No caso desse recurso, obter peças cadavéricas é um processo difícil (Lim et al., 2016). Outro fator é a depreciação das peças orgânicas, dificultando a qualidade na compreensão dos detalhes anatómicos. Da mesma forma, os exames de imagem não fornecem ao estudante a noção fiel de proporção de detalhes mais complexos, como os observados com volumetria em 3D (Moraes & Muniz, 2018; Soares Neto et al., 2020).

A produção de biomodelos, a partir da impressão 3D, pode auxiliar no ensino da Anatomia Humana, replicando peças já existentes no laboratório e produzindo outras peças baseadas em casos clínicos, registrados a partir de exames de imagem (Utiyama et al., 2014; Neto et al., 2021). Para essa produção, existem diferentes técnicas utilizadas no processo de produção das peças 3D, como a técnica de engenharia reversa. Assim, o presente estudo descreve o uso da engenharia reversa na

produção de modelos 3D e sua aplicabilidade no contexto de ensino-aprendizagem médico.

2. Metodologia

Trata-se de um estudo descritivo, uma revisão integrativa da literatura, baseado num método científico de pesquisa que possibilita a síntese de conhecimento e a incorporação da aplicabilidade de resultados de estudos significativos na prática. Dessa forma, a questão norteadora foi: “o que é a engenharia reversa e como pode ser utilizada para produzir modelos 3D e auxiliar no ensino médico?”. Para responder tal questionamento, estudos originais foram buscados nas bases de dados: *United States National Library of Medicine* (PubMed), Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS), *Scientific Eletronic Library Online* (SciELO) e Google Acadêmico. Os Descritores em Ciência da Saúde utilizados, que constam na plataforma DeCS da Biblioteca Virtual de Saúde (BVS), foram: “Educação Médica”, “Impressão Tridimensional” e “Desenho Assistido por Computador”, e seus correspondentes na língua inglesa, utilizados em combinação, com auxílio de operadores Booleanos (AND/OR).

Os critérios de inclusão foram: estudos originais e de revisão, publicados no período entre os anos 2010 e 2021, sem restrição de idioma de publicação, que trouxessem dados técnicos, experimentais e aplicados sobre o uso da impressora 3D com a técnica de engenharia reversa, dentro do ensino, pesquisa e prática da área de saúde. Foram excluídos os estudos que não investigassem o tema proposto, artigos de opinião, carta ao editor, e que não atendessem aos critérios de inclusão descritos. A coleta de dados foi realizada entre maio e julho de 2021. A primeira etapa foi identificar se os estudos preenchiam os critérios de inclusão, passando por uma seleção inicial das publicações, realizada com leitura do título e resumo disponível para verificar se enquadravam na temática. Após essa etapa, os estudos previamente selecionados foram lidos na íntegra, empregando os critérios de inclusão e exclusão, para análise e obtenção das informações necessárias para a construção do presente estudo. Em casos de discordância entre os avaliadores sobre os critérios analisados, foi realizada discussão específica sobre o artigo em questão, confrontando ideias com base nos critérios adotados para a revisão. Ao final da seleção, foram incluídos 39 estudos mais recentes publicados (Tabela 1).

Tabela 1. Estudos encontrados nas buscas realizadas nas bases de dados.

FONTES DE INFORMAÇÃO	ESTRATÉGIA DE BUSCA	RESULTADOS
PubMed	("education, medical"[MeSH Terms] OR ("education"[All Fields] AND "medical"[All Fields]) OR "medical education"[All Fields] OR	453
LILACS	("medical"[All Fields] AND "education"[All Fields])) AND ("printing, three dimensional"[MeSH Terms] OR ("printing"[All Fields] AND "three	28
SciELO	dimensional"[All Fields]) OR "three-dimensional printing"[All Fields] OR ("printing"[All Fields] AND "three"[All Fields] AND "dimensional"[All	4
Google Acadêmico	Fields) OR "printing three dimensional"[All Fields]) AND ("computer aided design"[MeSH Terms] OR ("computer aided"[All Fields] AND "design"[All Fields]) OR "computer aided design"[All Fields] OR ("computer"[All Fields] AND "aided"[All Fields] AND "design"[All	22.400
Artigos selecionados incluídos na revisão:		39

Fonte: Autores (2021).

Os dados foram extraídos dos estudos selecionados para realizar a discussão das implicações da engenharia reversa na produção de modelos 3D, conforme o fluxograma demonstrado na Figura 1. Os estudos incluídos na revisão integrativa permitem uma avaliação crítica do tema discutido sendo possível identificar lacunas que poderão direcionar futuras pesquisas.

Figura 1. Fluxograma dos procedimentos para a seleção de estudos incluídos na presente revisão integrativa.



Fonte: Autores (2021).

3. Resultados e Discussão

A engenharia reversa é objeto de estudo das ciências ligadas a tecnologia. Envolve descobrir princípios tecnológicos pela análise da estrutura, função e operação. O rápido desenvolvimento de computadores e das tecnologias de informações automatizadas permitiu a criação de tecnologias avançadas de fabricação. A engenharia reversa proporciona a obtenção de modelos CAD (*Computer Aided Design*) de objetos criados a partir de *softwares* de protótipos 3D, nos quais se obtém um desenho técnico do objeto com muito detalhe, nitidez e exatidão, resultando em peças impressas altamente realistas (Zhang & Yu, 2016). Os modelos CAD criados por engenharia reversa, a partir de exames de imagem como tomografia computadorizada (TC), ressonância magnética (RM) ou ultrassonografia (USG), são tão precisos que podem ser utilizados para fabricação 3D de implantes craniofaciais, por exemplo (Miljanovic et al., 2020).

A engenharia reversa é capaz de replicar peças com detalhe anatômico, mas essa precisão depende da qualidade do exame de imagem, do *software* utilizado e da resolução da impressão. Um exemplo disso foi a morfologia da parte proximal do fêmur e do acetábulo de tailandeses, obtida com precisão nos parâmetros de medidas (Chantarapanich et al., 2017). No entanto, cada cópia impressa reflete ainda a qualidade do material, havendo possibilidade de modificação da geometria e propriedades (Macko et al., 2016).

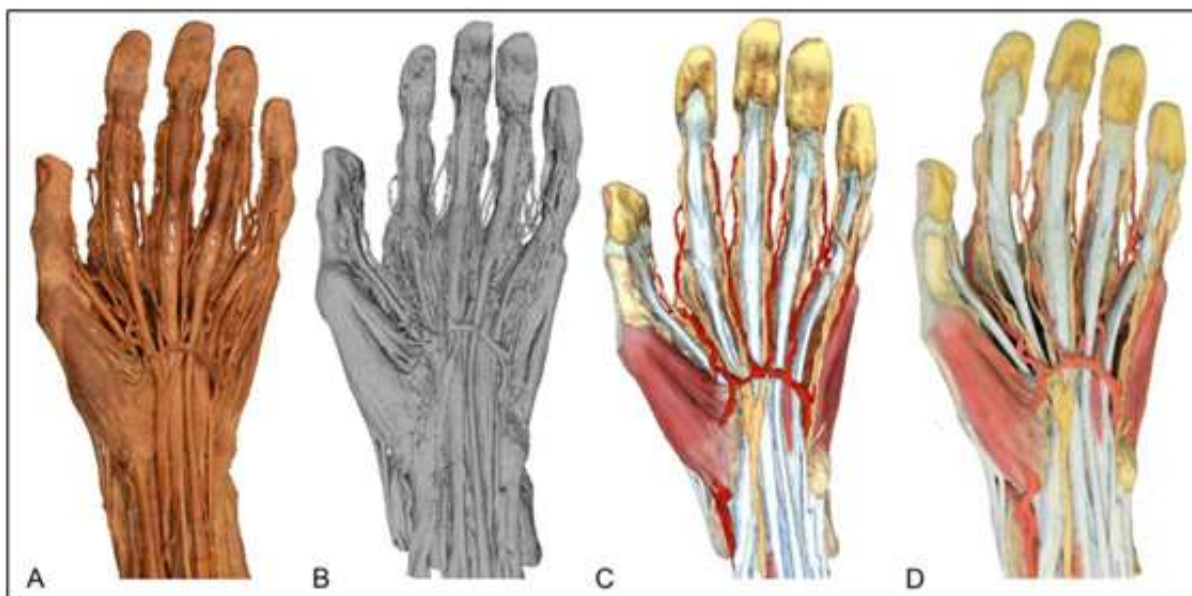
No processo de ensino-aprendizagem médico, o uso dos biomodelos em estudos de Anatomia Humana, produzidos por impressão 3D, visam aplicabilidades que são perdidas em comparação ao uso de cadáveres, seja por questões éticas, questões legais ou culturais. A impressão 3D apresenta a anatomia com uma grande variedade de configurações, como defeitos anatômicos atrioventriculares por exemplo (Valverde, 2017). Defeitos congênitos cardíacos foram comparativamente mais bem compreendidos por médicos residentes de pediatria com estudo por biomodelos 3D em relação ao uso de exames de imagem. Foram impressas peças 3D de casos clínicos com Tetralogia de Fallot por engenharia reversa. Os médicos estudantes avaliaram de maneira satisfatória o uso dos biomodelos para o estudo da doença (Loke et al., 2016).

Na faculdade de medicina, também foi testado o estudo de defeitos cardíacos congênitos, com a impressão de casos clínicos de defeitos do septo ventricular (membranoso, subarterial e muscular). Os alunos foram divididos em dois grupos. Cada grupo assistiu a um seminário sobre a temática com o mesmo palestrante. Um dos grupos teve acesso às peças 3D dos casos clínicos explanados, enquanto o outro, viu apenas imagens e vídeos. Posteriormente, todos os alunos foram submetidos a

um teste de conhecimento. O grupo que utilizou modelos 3D para estudo obteve média de pontos consideravelmente maior do que o outro grupo em todos os itens analisados pelo teste (Su et al., 2018).

Com dados de TC e engenharia reversa, foram produzidas réplicas de mãos para o estudo de Anatomia Humana, em que se puderam distinguir pequenos nervos e vasos (Figura 2). Foram impressos também seios da face e artérias coronárias com detalhes anatômicos precisos. Era possível aumentar ou diminuir o tamanho das peças, bem como imprimir porções de peças que poderiam ser unidas de maneira manual (McMenamin et al., 2014).

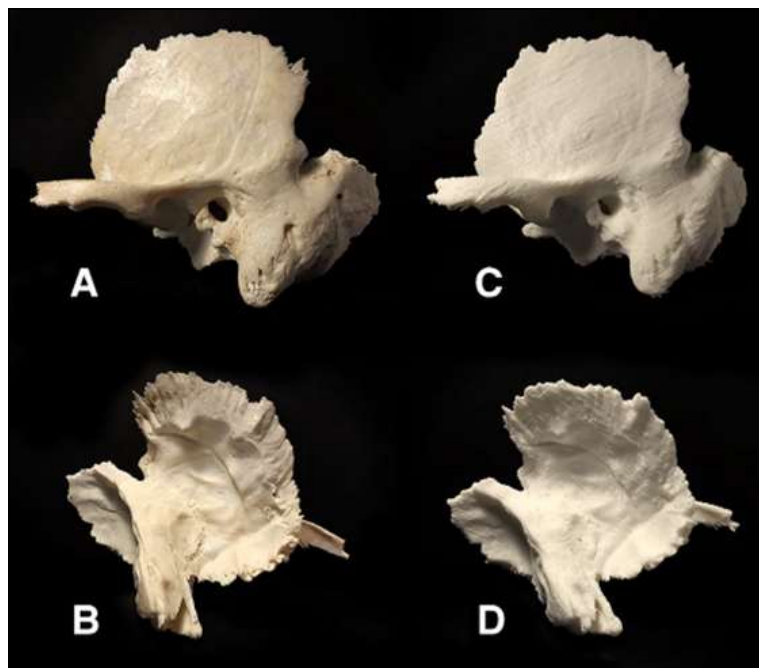
Figura 2. A: imagem obtida por TC. B: modelo digitalizado. C: obtenção de cores por meio de programação computadorizada. D: peça impressa.



Fonte: McMenamin et al., (2014).

Na disciplina de Anatomia Humana, o uso de impressoras 3D já é realidade em algumas universidades. A Faculdade de Medicina da Universidade de Lisboa utiliza peças 3D, tornando o ensino mais objetivo com abordagem mais ampla, realística e prática. Foram impressos ossos do crânio, como temporal, occipital e esfenóide com excelente qualidade de detalhes anatômicos (Figura 3) (Bartikian et al., 2019).

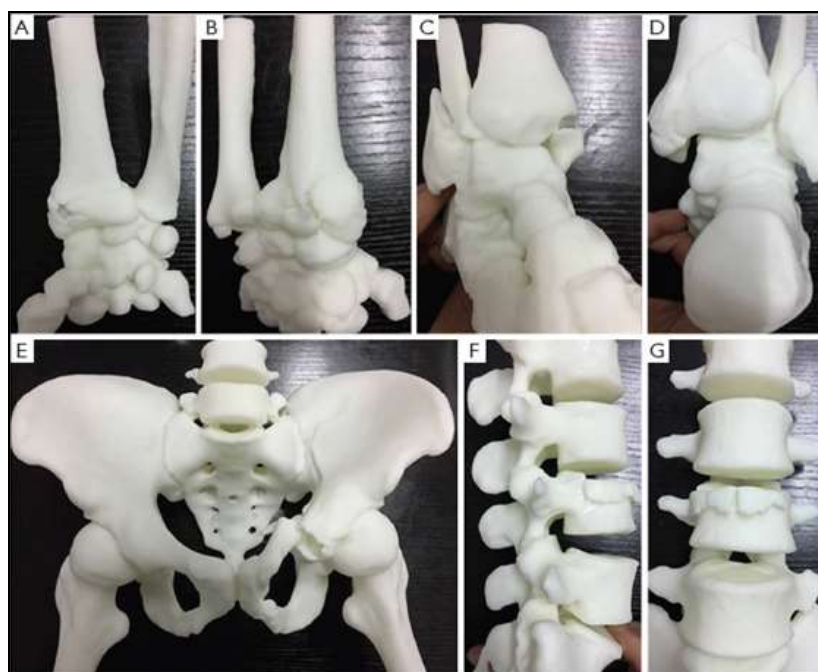
Figura 3. Comparação entre ossos reais (A e B) e impressos (C e D) em PLA.



Fonte: Bartikian et al., (2019).

A Universidade Médica de Wenzhou, na China, separou 90 estudantes em dois grupos para estudar fraturas ósseas na coluna vertebral, pelve, membros superior e inferior. Um grupo utilizou apenas imagens radiológicas, enquanto o outro utilizou peças 3D impressas por meio da engenharia reversa, utilizando-se dados de TC (Figura 4). Concluíram que os modelos 3D melhoram a compreensão dos estudantes sobre anatomia espacial em locais anatomicamente mais complexos (Wu et al., 2018).

Figura 4. Peças anatômicas de fraturas impressas utilizando dados de TC por engenharia reversa.

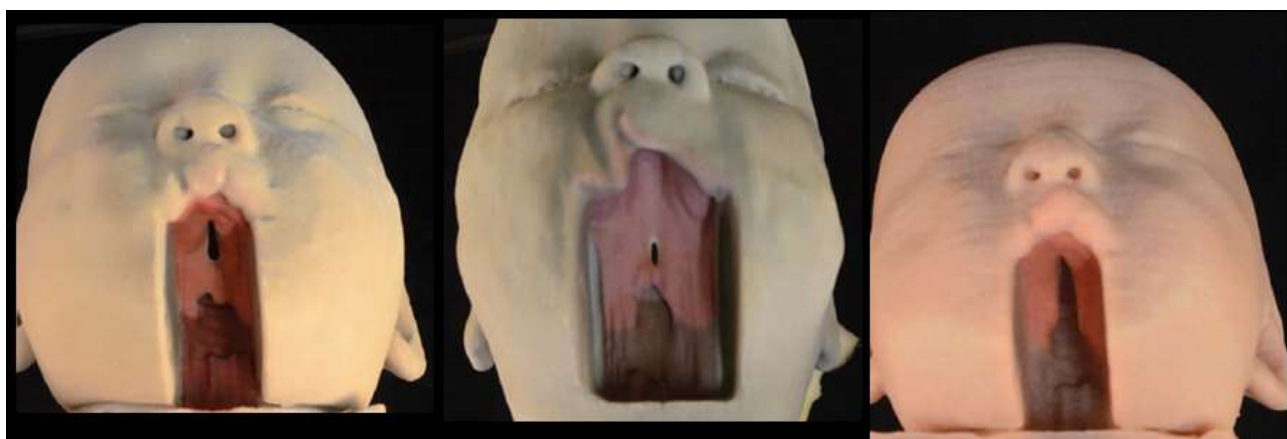


Fonte: Wu et al., (2018).

Na Austrália, na Universidade Macquarie e na Universidade Ocidental de Sidney, foram produzidos modelos ósseos com alta qualidade de impressão utilizados no ensino de anatomia. Os alunos puderam manipular e examinar várias réplicas exatas impressas. Isso levou as universidades a pensarem em planos futuros, como a digitalização e impressão de outras estruturas anatômicas que não são facilmente visualizadas em cadáveres, como pequenos elementos (ossículos da audição da orelha média), cavidades (ventrículos cerebrais) e doenças (Abouhashiem et al., 2015).

Pesquisadores da Universidade de Melbourne, na Austrália, imprimiram três biomodelos 3D de fendas palatinas e fissuras labiais para utilização no ensino de cirurgia. Os dois primeiros biomodelos foram de casos clínicos reais, com dados obtidos por TC, e o terceiro, um caso clínico artificial criado por *software*. As peças 3D impressas foram satisfatórias para verificar com exatidão a natureza e a extensão das deformidades (Figura 5). A melhoria da resolução das imagens dos exames, aliada à tecnologia de impressão, tornará mais viável futuramente o treinamento cirúrgico em peças 3D (Lioufas et al., 2016).

Figura 5. Casos clínicos reais 1 e 2, e caso clínico artificial 3, da esquerda para a direita.



Fonte: Lioufas et al., (2016).

No Chile, na Faculdade de Medicina da Universidade de Tarapacá, a disciplina de Anatomia é complementada com o uso de recursos digitais, utilizando peças 3D de cabeça, pescoço e membros, cadáver humano sintético e mesa interativa de dissecação virtual 3D, que correlaciona os cortes de secção com exames de imagem. Foi pesquisada a percepção dos alunos em relação ao uso das novas tecnologias. A grande maioria afirmou que as peças 3D facilitaram o estudo da disciplina e estavam de acordo com a implementação dos recursos digitais (Hecht-López & Larrazábal-Miranda, 2018).

Na China, foi testado o uso de peças 3D para o estudo da anatomia do tronco gastrocólico de Henle. Quarenta e sete alunos de duas escolas de medicina foram divididos em dois grupos. O grupo 1 utilizou imagens 2D e vídeos de cirurgia para o estudo, enquanto o grupo 2 utilizou peças 3D e vídeos de cirurgia. Ao final, foi aplicado um teste de conhecimento. O grupo 2 obteve maior média de pontos em relação ao grupo 1. Os alunos ficaram satisfeitos com o uso de peças 3D e esperavam ter maior carga horária com a utilização desse recurso (Chen et al., 2020).

Sobre o ramo cirúrgico, a aplicabilidade de peças 3D se estende desde o planejamento pré-operatório até o ato intraoperatório e o treinamento para a cirurgia. Sua utilização é possível em cirurgias cardíacas, ortopédicas, craniomaxilofacial, neurocirurgias, broncoscopia, entre outras. São utilizados diversos tipos de matéria-prima na impressora 3D com o objetivo de replicar tecidos endurecidos, como ossos do crânio, coluna, membros e ossículos da audição da orelha interna, e tecidos moles, como coração, pulmão, fígado e vasos sanguíneos (Hermsen et al., 2020). Os tecidos moles ainda são pouco explorados, sendo necessários maiores testes para se atingir as propriedades mecânicas do tecido biológico (Ganguli et al., 2018).

Na área de ensino de técnica cirúrgica, a possibilidade de impressão 3D com dados de exames de imagem (TC, RM e USG) cria uma ferramenta para o processo de ensino-aprendizagem. O modelo específico de um paciente, aliado à nova tecnologia de baixo custo e alta fidelidade anatômica, permite que os alunos entendam a doença e as relações estruturais e espaciais antes do tratamento cirúrgico, de forma individual para cada paciente. Dessa forma, a intervenção é planejada com maior precisão (Garcia et al., 2018).

Peças 3D podem ser produzidas de maneira personalizada, reproduzindo a anatomia única de cada paciente (Erolin, 2019). Esse recurso pode ser aplicado para simulação do ato cirúrgico no pré-operatório, bem como um guia de orientação no momento operatório. Na neurocirurgia, pesquisadores utilizaram peças 3D para reproduzir tumores complexos na coluna de nove pacientes por meio da engenharia reversa. As peças foram estudadas antes da cirurgia para auxiliar na definição da abordagem cirúrgica, orientar o ato cirúrgico e servir como instrumento para mostrar ao paciente o tumor e melhorar a sua compreensão. O uso dos modelos 3D foi bem avaliado pelos cirurgiões, ao melhorar a localização do tumor e da percepção visual da abordagem cirúrgica (Leary et al., 2021).

Intervenções cirúrgicas e procedimentos podem ser simulados com a ajuda de impressão 3D. Estudantes de medicina foram treinados para executar uma drenagem fechada torácica, comparando-se o uso de um tórax impresso em 3D, por dados de TC e engenharia reversa, com o de um tórax suíno para a simulação. O grupo que utilizou a peça 3D para o treinamento desenvolveu maior habilidade prática e houve maior preferência pelo simulador do que pelo modelo animal (Bettega et al., 2011).

Apesar de ainda não se aplicar o uso de peças 3D nos cursos de medicina das Universidades de Brighton e de Sussex no Reino Unido, dois estudantes pesquisaram a possível aplicabilidade do ramo na Anatomia. Constataram que a impressora 3D pode solucionar limitações de modelos digitais, como o custo do *software*, a perda de sensibilidade tátil e a pouca variação anatômica, já que a impressão consegue reproduzir tecidos moles e duros com precisão, rapidez e facilidade, havendo a possibilidade de replicar lesões patológicas. No passado, a disciplina de Anatomia limitava-se à dissecação de cadáveres ou estudo em modelos anatômicos caros, enquanto no futuro, as escolas podem viabilizar um armazenamento digital em que o aluno imprimiria e manipularia o modelo em poucos minutos a um custo razoável (Balestrini & Campo-Celaya, 2016).

No curso de medicina da Universidade de Salamanca, na Espanha, foi impresso um modelo 3D de crânio em escala real. As medidas da peça foram, primeiramente, obtidas por meio da digitalização a laser, utilizando uma *FaroArm Scan Platimun*[®] (máquina de medição por coordenadas 3D). A peça final demonstrou detalhes anatômicos, como suturas ósseas, processos estiloides do temporal, processo mastoide, os forames oval, magno, jugular, espinhoso, entre outros detalhes minuciosos que os estudantes devem aprender manipulando as peças. O modelo reproduziu esses detalhes com grande exatidão, sugerindo a crescente implementação da impressora 3D nos campos da indústria, medicina e educação (Lozano et al., 2017).

No Brasil, a impressora 3D para produção de protótipos de embriologia do sistema nervoso central foi utilizada no curso de medicina da Faculdade de Ciências Médicas e da Saúde da PUC-SP, que iniciou em fase experimental (Moraes & Muniz, 2018). Como resultados, espera-se a aprovação do uso dos modelos 3D como recurso pedagógico, aumentando o aproveitamento dos alunos na disciplina. Além disso, o Projeto Homem Virtual, desenvolvido na Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo desde 2003, envolve docentes, pesquisadores em educação interativa da telemedicina, designers de computação gráfica em 3D e outros profissionais. O objetivo é desenvolver modelos 3D por computação gráfica, fabricação de recursos dinâmicos por vídeos e animações, a fim de demonstrar processos fisiológicos e fisiopatológicos, além de impressão de peças 3D para estudo (Wen, 2016).

A anatomia de neoplasias também pode ser estudada por meio de impressão 3D. Para um entendimento do tumor renal como um todo, imprimiram-se modelos renais utilizando a engenharia reversa, para que os estudantes de medicina

caracterizassem a localização e compreendessem diferentes estágios da nefropatia (Knoedler et al., 2015). Os estudantes compararam por questionário o estudo das peças 3D e o estudo com exames de imagem. Foi concluído que os modelos 3D foram superiores aos exames de imagem e melhoraram o entendimento dos alunos em relação a caracterização de lesões renais.

Sobre a percepção dos estudantes de medicina, há um grande interesse na utilização de modelos 3D como recurso acadêmico, ainda não descartando completamente o uso de cadáveres (Lugassy et al., 2020). Os acadêmicos gostariam de participar de cursos especializados para aprofundar a temática, sendo imprescindível a incorporação do conhecimento sobre tecnologias 3D no currículo de diferentes especialidades médicas (Louredo et al., 2019; Wilk et al., 2020).

4. Considerações Finais

A tecnologia de fabricação engenharia reversa, ao ser aplicada à impressão 3D, possibilita o desenvolvimento de uma rápida produção de peças anatômicas de alta precisão e de baixo custo. Há uma grande aplicabilidade dentro da área da saúde para a impressão 3D com o uso desta técnica. Dentro do contexto de ensino-aprendizagem médico, o uso de modelos 3D facilita a compreensão e aprendizagem de detalhes anatômicos, aumenta o número de peças para cada aluno, abre a possibilidade para comparação com casos clínicos patológicos, como fraturas e tumores expansivos, e o entendimento dos possíveis tratamentos cirúrgicos. Portanto, existe grande oportunidade de crescimento para o curso de medicina que faz uso dessa tecnologia, tendo como grandes aliados o baixo custo e a alta precisão anatômica da impressão 3D por engenharia reversa.

Referências

- Abouhashiem, Y., Dayal, M., Savanah, S., & Strkalj, G. (2015). The application of 3D printing in anatomy education. *Medical Education Online*, 20(29847), 1-3. <https://doi.org/10.3402/meo.v20.29847>.
- Araújo, M. C. E., Louredo, L. M., Duarte, M. M. S., Moreira, S. M., Sugita, D. M., & Arruda, J. T. (2019). Uso da engenharia reversa e tecnologia 3D para produção de biomodelos a partir de exames de imagem reais. ANAIS I CAMEG., *RESU – Revista Educação em Saúde*, 7, suplemento 3.
- Awadh, A. B., Clark, J., Clowry, G., & Keenan, I. D. (2020). Multimodal Three-Dimensional Visualization Enhances Novice Learner Interpretation of Basic Cross-Sectional Anatomy. *Anatomical sciences education*, 10.1002/ase.2045. Advance online publication. <https://doi.org/10.1002/ase.2045>.
- Balestrini, C., & Campo-Celaya, T. (2016). With the advent of domestic 3-dimensional (3D) printers and their associated reduced cost, is it now time for every medical school to have their own 3D printer? *Medical Teacher*, 38(3), 312-313. <https://doi.org/10.3109/0142159X.2015.1060305>.
- Bartikian, M., Ferreira, A. Gonçalves-Ferreira, A. & Neto, L. L. (2019). 3D printing anatomical models of head bones. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 41(10), 1205-1209. <https://doi.org/10.1007/s00276-018-2148-4>.
- Bettega, A. L., Brunello, L. F. S., Nazar, G. A., De-Luca, G. Y. E., Sarquis, L. M., Wiederkehr, H. A., Foggiatto, J. A. & Pimentel, S. K. (2011). Simulador de dreno de tórax: desenvolvimento de modelo de baixo custo para capacitação de médicos e estudantes de medicina. *Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões*, 46(1), 1-8. <https://doi.org/10.1590/0100-6991e-20192011>.
- Chantarapanich, N., Rojanasthien, S., Chernchujit, B., Mahaisavariya, B., Karunratanakul, K., Chalermkarnnon, P., Glunrawd, C., & Sittthiseripratip, K. (2017). 3D CAD/reverse engineering technique for assessment of Thai morphology: Proximal femur and acetabulum. *Journal of Orthopaedic Science*, 22(1), 703-709. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2017.02.003>.
- Chen, Y., Qian, C., Shen, R., Wu, D., Bian, L., Qu, H., Fan, X., Liu, Z., Li, Y., & Xia, J. (2020). 3D Printing Technology Improves Medical Interns' Understanding of Anatomy of Gastrocolic Trunk. *Journal of surgical education*, 77(5), 1279-1284. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2020.02.031>.
- Cramer, J., Quigley, E., Hutchins, T., & Shah, L. (2017). Educational Material for 3D Visualization of Spine Procedures: Methods for Creation and Dissemination. *Journal of digital imaging*, 30(3), 296-300. <https://doi.org/10.1007/s10278-017-9950-0>.
- Duarte, M. M. S., Araújo, M. C. E., Louredo, L. M., Moreira, S. M., Sugita, D. M., & Arruda, J. T. (2019). Fotogrametria e impressão 3D aplicada ao ensino de anatomia. ANAIS I CAMEG., *RESU – Revista Educação em Saúde*, 7, suplemento 3.
- Duarte, M. M. S., Araújo, M. C. E., Louredo, L. M., Louredo, J. M., & Arruda, J. T. (2021). Aplicabilidades da técnica de fotogrametria no ensino de Anatomia Humana. *Research, Society and Development*, 10(11), e51101119328. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19328>
- Erolin C. (2019). Interactive 3D Digital Models for Anatomy and Medical Education. *Advances in experimental medicine and biology*, 1138, 1-16. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14227-8_1.

- Ganguli, A., Pagan-Diaz, G. J., Grant, L., Cvetkovic, C., Bramlet, M., Vozenilek, J., Kesavadas, T., & Bashir, R. (2018). 3D printing for preoperative planning and surgical training: a review. *Biomedical microdevices*, 20(3), 65. <https://doi.org/10.1007/s10544-018-0301-9>.
- Garcia, J., Yang, Z., Mongrain, R., Leask, R. L., & Lachapelle, K. (2018). 3D printing materials and their use in medical education: a review of current technology and trends for the future. *BMJ Simulation & Technology Enhanced Learning*, 4(1), 24-40. <https://doi.org/10.1136/bmjstel-2017-000234>.
- Hecht-López, P., & Larrazábal-Miranda, A. (2018). Uso de Nuevos Recursos Tecnológicos en la Docencia de un Curso de Anatomía con Orientación Clínica para Estudiantes de Medicina. *International Journal of Morphology*, 36(3), 821-828. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022018000300821>.
- Hermesen, J. L., Roldan-Alzate, A., & Anagnostopoulos, P. V. (2020). Three-dimensional printing in congenital heart disease. *Journal of thoracic disease*, 12(3), 1194-1203. <https://doi.org/10.21037/jtd.2019.10.38>.
- Knoedler, M., Feibus, A. H., Lange, A., Maddox, M. M., Ledet, E., Thomas, R., & Silberstein, J. L. (2015). Individualized Physical 3-dimensional Kidney Tumor Models Constructed From 3-dimensional Printers Result in Improved Trainee Anatomic Understanding. *Urology*, 85(6), 1257-1261. <https://doi.org/10.1016/j.urology.2015.02.053>.
- Leary, O. P., Crozier, J., Liu, D. D., Niu, T., Pertsch, N. J., Camara-Quintana, J. Q., Svokos, K. A., Syed, S., Telfeian, A. E., Oyelese, A. A., Woo, A. S., Gokaslan, Z. L., & Fridley, J. S. (2021). Three-Dimensional Printed Anatomic Modeling for Surgical Planning and Real-Time Operative Guidance in Complex Primary Spinal Column Tumors: Single-Center Experience and Case Series. *World neurosurgery*, 145, e116-e126. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.09.145>.
- Lim, K. H., Loo, Z. Y., Goldie, S. J., Adams, J. W., & McMenamin, P. G. (2016). Use of 3D printed models in medical education: A randomized control trial comparing 3D prints versus cadaveric materials for learning external cardiac anatomy. *Anatomical sciences education*, 9(3), 213-221. <https://doi.org/10.1002/ase.1573>.
- Lioufas, P. A., Leong, J. C., & McMenamin, P. G. (2016). 3D Printed Models of Cleft Palate Pathology for Surgical Education. *Plastic and Reconstructive Surgery - Global Open*, 4(9), 1-6. <https://doi.org/10.1097/GOX.0000000000001029>.
- Loke, T., Krieger, A., Sable, C., & Olivieri, L. (2016). Novel Uses for Three-Dimensional Printing in Congenital Heart Disease. *Current Pediatrics Reports*, 4(28), 28-34. <https://doi.org/10.1007/s40124-016-0099->.
- Louredo, L. M., Duarte, M. M. S., Araújo, M. C. E., Moreira, S. M., Sugita, D. M., & Arruda, J. T. (2019). Aplicabilidade de biomodelos tridimensionais produzidos com impressora 3d para estudos de anatomia. *RESU – Revista Educação em Saúde: V7, suplemento 3*. Recuperado de: <http://periodicos.unievangelica.edu.br/index.php/educacaoemsaude/article/view/4187/3102>
- Lozano, M. T. U., Haro, F. B., Diaz, C. M., Manzoor, S., Ugidos, G. F., & Mendez, J. A. J. (2017). 3D Digitization and Prototyping of the Skull for Practical Use in the Teaching of Human Anatomy. *Journal of Medical Systems*, 41(83), 1-5. <https://doi.org/10.1007/s10916-017-0728-1>.
- Lugassy, D., Levanon, Y., Rosen, G., Livne, S., Fridenberg, N., Pilo, R., & Brosh, T. (2020). Does Augmented Visual Feedback from Novel, Multicolored, Three-Dimensional-Printed Teeth Affect Dental Students' Acquisition of Manual Skills?. *Anatomical sciences education*, 10.1002/ase.2014. Advance online publication. <https://doi.org/10.1002/ase.2014>.
- Macko, M., Mikołajewska, E., Szczepański, Z., Augustyńska, B., & Mikołajewski, D. (2016). Repository of images for reverse engineering and medical simulation purposes. *Medical and Biological Sciences*, 30(3), 23-29. DOI:10.12775/MBS.2016.020.
- Matozinhos, I. P., Madureira, A. A. C., Silva, G. F., Madeira, G. C. C., Oliveira, I. F. A., Corrêa, C. R. (2017). Impressão 3D: inovações no campo da medicina. *Revista Interdisciplinar Ciências Médicas – MG*, 1(1), 143-162.
- McMenamin, P. G., Quayle, M. R., McHenry, C. R., & Adams, J. W. (2014). The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. *Anatomical sciences education*, 7(6), 479-486. <https://doi.org/10.1002/ase.1475>.
- Mendonça, C. R., Souza, K. T. O., Arruda, J. T., Noll, M., & Guimarães, N. N. (2021). Human Anatomy: Teaching–Learning Experience of a Support Teacher and a Student with Low Vision and Blindness. *Anatomical sciences education*, 10.1002/ase.2058. <https://doi.org/10.1002/ase.2058>.
- Miljanovic, D., Seyedmahmoudian, M., Stojcevski, A., & Horan, B. (2020). Design and Fabrication of Implants for Mandibular and Craniofacial Defects Using Different Medical-Additive Manufacturing Technologies: A Review. *Annals of biomedical engineering*, 48(9), 2285-2300. <https://doi.org/10.1007/s10439-020-02567-0>.
- Moraes, S. G., & Muniz, A. de L. (2018). Utilização de modelos 3D como recurso didático no ensino de embriologia do sistema nervoso central. *Revista Da Faculdade De Ciências Médicas De Sorocaba*, 20(Supl.). 35º Congresso da SUMEP. Recuperado de <https://revistas.pucsp.br/index.php/RFCMS/article/view/40101>.
- Neto, J. S., Barbosa, M. L. L., Matos, H. L., Xavier, A. R., Cerqueira, G. S., & Souza, E. P. (2020). Um estudo sobre a tecnologia 3D aplicada ao ensino de anatomia: uma revisão integrativa. *Research, Society and Development*, 9(11), e7489119301. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9301>.
- Neto, J. S., Pinho, F. V. A., Matos, H. L., Lopes, A. R. O., Cerqueira, G. S., & Souza, E. P. (2021). Tecnologias de ensino utilizadas na Educação na pandemia COVID-19: uma revisão integrativa. *Research, Society and Development*, 10(1), e51710111974. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11974>.
- Su, W., Xiao, Y., He, S., Huang, P., & Deng, X. (2018). Three-dimensional printing models in congenital heart disease education for medical students: a controlled comparative study. *BMC Medical Education*, 18(178), 1-6. <https://doi.org/10.1186/s12909-018-1293-0>
- Utiyama, B.; Hernandez, C.; Senra, T.; Gospos, M.; Sá, R.; Leme, J.; Fonseca, J.; Drigo, E.; Leão, T.; Pinto, I.; & Andrade, A. (2014). Construção De Biomodelos Por Impressão 3D Para Uso Na Prática Clínica: Experiencia Do Instituto Dante Pazzanese De Cardiologia. *XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica – CBEB*. Disponível em: https://www.canal6.com.br/cbeb/2014/artigos/cbeb2014_submission_095.pdf Acesso: 11/08/21.
- Valverde, I. (2017). Three-dimensional Printed Cardiac Models: Applications in the Field of Medical Education, Cardiovascular Surgery, and Structural Heart

Interventions. *Revista espanola de cardiologia (English ed.)*, 70(4), 282–291. <https://doi.org/10.1016/j.rec.2017.01.012>.

Wen, C. L. (2016). Homem Virtual (Ser Humano Virtual 3D): A Integração da Computação Gráfica, Impressão 3D e Realidade Virtual para Aprendizado de Anatomia, Fisiologia e Fisiopatologia. *Revista de Graduação da USP*, 1(1), 7-15. <https://doi.org/10.11606/issn.2525-376X.v1i1p7-15>.

Wilk, R., Likus, W., Hudecki, A., Syguła, M., Różycka-Nechoritis, A., & Nechoritis, K. (2020). What would you like to print? Students' opinions on the use of 3D printing technology in medicine. *PloS one*, 15(4), e0230851. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230851>.

Wu, A. M., Wang, K., Chen, C. H., Yang, X. D., Ni, W. F., & Hu, Y. Z. (2018). The addition of 3D printed models to enhance the teaching and learning of bone spatial anatomy and fractures for undergraduate students: a randomized controlled study. *Annals of Translational Medicina*, 6(20), 403- 410. <https://doi.org/10.21037/atm.2018.09.59>.

Zhang, J., & Yu, Z. (2016). Overview of 3D Printing Technologies for Reverse Engineering Product Design. *Automatic Control and Computer Sciences*, 50(2), 91-97. <https://doi.org/10.3103/S0146411616020073>.