

## Aplicabilidades da técnica de fotogrametria no ensino de Anatomia Humana

Applicability of photogrammetry technique in teaching Human Anatomy

Aplicabilidad de la técnica de fotogrametría en la enseñanza de Anatomía Humana

Recebido: 11/08/2021 | Revisado: 16/08/2021 | Aceito: 19/08/2021 | Publicado: 22/08/2021

### Marcelo Mota de Souza Duarte

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9066-8092>  
Universidade Evangélica de Goiás, Brasil  
E-mail: [marcelomotaduarte@gmail.com](mailto:marcelomotaduarte@gmail.com)

### Maria Clara Emos de Araujo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7632-2415>  
Universidade Evangélica de Goiás, Brasil  
E-mail: [maria\\_emos@hotmail.com](mailto:maria_emos@hotmail.com)

### Lucas da Mota Louredo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8888-6461>  
Universidade Evangélica de Goiás, Brasil  
E-mail: [lucasmotalouredo@gmail.com](mailto:lucasmotalouredo@gmail.com)

### Joelma da Mota Louredo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7485-4146>  
Universidade de Brasília, Brasil  
E-mail: [joelmamotalouredo@gmail.com](mailto:joelmamotalouredo@gmail.com)

### Jalsi Tacon Arruda

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7091-4850>  
Universidade Evangélica de Goiás, Brasil  
E-mail: [jalsitacon@gmail.com](mailto:jalsitacon@gmail.com)

### Resumo

A anatomia humana é uma das principais disciplinas dos currículos de formação na área da saúde. As técnicas utilizadas para o ensino se baseiam principalmente em dissecação cadavérica e uso de peças sintéticas, apresentando limitações e exigindo novas abordagens. A produção de biomodelos a partir da tecnologia 3D é uma ferramenta inovadora para ser incorporada as práticas pedagógicas. A fotogrametria surge como um método que desenvolve modelos tridimensionais digitais por meio de um algoritmo computacional que recebe fotos de determinado objeto. O trabalho presente objetiva demonstrar a aplicabilidade da fotogrametria no ensino da anatomia humana. Trata-se de um estudo descritivo de revisão integrativa da literatura, realizada com buscas nas bases de dados PubMed, LILACS, SciELO e Google Acadêmico, utilizando os Descritores em Ciências da Saúde “fotogrametria”, “anatomia”, “imagem tridimensional”. A fotogrametria revela aplicação no estudo de várias estruturas corporais, como órgãos, vasos, cavidades, sistema osteomuscular e nervoso. Os docentes e discentes que têm contato com a tecnologia relatam vantagens incomparáveis e a possibilidade de compreender a anatomia de forma minuciosa, precisa, acessível e interativa. Produções científicas ainda são precárias a respeito do tema, mas certamente a fotogrametria possui potencial para a criação de acervos institucionais de anatomia digital 3D, preservando espécimes de forma permanente para uso contínuo.

**Palavras-chave:** Anatomia Digital; Educação médica; Ensino; Modelos 3D; Modelos interativos.

### Abstract

Human anatomy is one of the main subjects of the training curricula in the health area. The techniques used for teaching are mainly based on cadaveric dissection and use of synthetic pieces, presenting limitations and requiring new approaches. The production of biomodels using 3D technology is an innovative tool to be incorporated into pedagogical practices. Photogrammetry emerges as a method that develops three-dimensional digital models through a computational algorithm that receives photos of a particular object. The present work aims to demonstrate the applicability of photogrammetry in teaching human anatomy. This is a descriptive study of an integrative literature review, carried out with searches in the PubMed, LILACS, SciELO and Academic Google databases, using the Health Sciences Descriptors “photogrammetry”, “anatomy”, “three-dimensional image”. Photogrammetry reveals application in the study of various body structures, such as organs, vessels, cavities, musculoskeletal and nervous systems. Professors and students who have contact with technology report incomparable advantages and the possibility of understanding the anatomy in a detailed, precise, accessible, and interactive way. Scientific productions are still precarious on the subject, but photogrammetry certainly has the potential to create institutional collections of 3D digital anatomy, preserving specimens permanently for continuous use.

**Keywords:** Digital anatomy; Medical education; Teaching; 3D models; Interactive templates.

## Resumen

La anatomía humana es uno de los principales temas de los planes de estudios de formación en el área de la salud. Las técnicas utilizadas para la docencia se basan principalmente en la disección cadavérica y el uso de piezas sintéticas, presentando limitaciones y requiriendo nuevos enfoques. La producción de biomodelos utilizando tecnología 3D es una herramienta innovadora para incorporar a las prácticas pedagógicas. La fotogrametría surge como un método que desarrolla modelos digitales tridimensionales a través de un algoritmo computacional que recibe fotografías de un objeto en particular. El presente trabajo tiene como objetivo demostrar la aplicabilidad de la fotogrametría en la enseñanza de la anatomía humana. Se trata de un estudio descriptivo de una revisión integradora de la literatura, realizada con búsquedas en las bases de datos PubMed, LILACS, SciELO y Academic Google, utilizando los Descriptores de Ciencias de la Salud “fotogrametría”, “anatomía”, “imagen tridimensional”. La fotogrametría revela su aplicación en el estudio de diversas estructuras corporales, como órganos, vasos, cavidades, sistemas musculoesquelético y nervioso. Profesores y estudiantes que tienen contacto con la tecnología reportan ventajas incomparables y la posibilidad de comprender la anatomía de manera detallada, precisa, accesible e interactiva. Las producciones científicas aún son precarias en el tema, pero la fotogrametría ciertamente tiene el potencial de crear colecciones institucionales de anatomía digital 3D, preservando especímenes permanentemente para uso continuo.

**Palabras clave:** Anatomía digital; Educación médica; Enseñanza; Modelos 3D; Plantillas interactivas.

## 1. Introdução

O estudo da anatomia humana proporciona a compreensão da morfologia e do funcionamento do organismo. Por essa razão, é uma disciplina presente em todos os currículos de formação superior e técnica na área da saúde (Mendonça et al., 2021). As atuais e ainda predominantes práticas de ensino da disciplina, como a dissecação de cadáveres e o uso de peças sintéticas de alto custo, demonstram significativas limitações (Wu et al., 2018; Soares Neto et al., 2020a,b).

Observa-se, nas instituições de ensino superior à grande demanda por peças anatômicas em análise, já que há intensa burocracia para aquisição de cadáveres, o que compromete a aprendizagem dos estudantes (Duarte et al., 2019; Soares Neto et al., 2021). Outra importante limitação desse recurso de ensino é o fato de a peça cadavérica não fornecer ao estudante a noção de proporção como alguns detalhes anatômicos complexos observados apenas em exames de imagem. Por fim, a inevitável depreciação das peças orgânicas dificulta a qualidade e riqueza de detalhes na compreensão anatômica (Moraes & Muniz, 2018).

Diante do quadro, a produção de biomodelos utilizando a tecnologia de impressão 3D é uma ferramenta inovadora para ser incorporada as práticas pedagógicas já utilizadas, como uma forma complementar no processo de fortalecimento da relação ensino-aprendizagem (Soares Neto et al., 2020c). Esse método permite a replicação de tecidos moles e duros já existentes nos laboratórios de anatomia, de maneira fidedigna, minuciosa, precisa e de baixo custo (Utiyama et al., 2014).

As Universidades Macquarie e de Sidney, ambas australianas, adotaram a tecnologia de digitalização e impressão 3D para produção de modelos ósseos (inclusive com lesões patológicas), de possíveis variabilidades anatômicas e de estruturas anatômicas dificilmente visualizadas em cadáveres, como pequenos elementos (ossículos do ouvido médio), cavidades (ventrículos cerebrais) e patologias. A experiência foi bem-sucedida e conseguiu obter alta qualidade de impressão (AbouHashem et al., 2015).

No Brasil, já se evidencia aplicações da tecnologia de impressão 3D. No curso de medicina da Faculdade de Ciências Médicas e da Saúde (PUC-SP), a construção de modelos tridimensionais a partir de protótipos do sistema nervoso central embrionário foi adotado como recurso pedagógico e aumentou o aproveitamento dos alunos na disciplina de neuroanatomia (Moraes & Muniz, 2018). A Faculdade de Medicina da USP também foi responsável, desde 2003, pelo desenvolvimento interdisciplinar e aplicação do Projeto Homem Virtual. O objetivo do projeto é criar modelos tridimensionais virtuais (por computação gráfica, recursos dinâmicos por vídeos e animações) e imprimir peças 3D (Wen, 2016).

Dentre as várias técnicas utilizadas na tecnologia de digitalização e impressão 3D, a fotogrametria tem destaque. O método consiste no desenvolvimento de modelos tridimensionais por meio de um algoritmo computacional que recebe fotos de

determinado objeto. O mesmo algoritmo específico permite o processamento de um conjunto de imagens, capturando medidas para estimar as dimensões do que é fotografado. Posteriormente há o processo de digitalização 3D e os dados são novamente processados para gerar uma nuvem de pontos em um sistema de coordenadas tridimensionais (Swennen et al., 2020).

Anteriormente, a aplicação anatômica da fotogrametria era restrita a medição de alguns órgãos ou estruturas. Por exemplo, medir a conectividade estrutural da substância branca do cerebelo através da captura de dissecções cerebrais. Além da pesquisa e das aplicações clínicas, a fotogrametria possui um enorme potencial para produzir biomodelos tridimensionais digitais precisos, interativos e acessíveis (Petriceks et al., 2018; Provenzano et al., 2020). Dessa forma, o objetivo do presente estudo é relatar as aplicações da técnica de fotogrametria no ensino da anatomia humana utilizando peças 3D.

## 2. Metodologia

Trata-se de um estudo descritivo, baseado em uma revisão integrativa da literatura, que Koche (2011) defende como um método de pesquisa que permite a síntese de múltiplos estudos publicados e possibilita conclusões gerais a respeito de uma particular área de estudo. Foram utilizadas as seguintes etapas para a construção desta revisão: identificação do tema; seleção da questão de pesquisa; coleta de dados pela busca na literatura, nas bases de dados eletrônicas, com estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão para selecionar a amostra; elaboração de um instrumento de coleta de dados com as informações a serem extraídas; avaliação dos estudos incluídos na revisão integrativa; interpretação dos resultados e apresentação dos resultados evidenciados.

A questão norteadora da pesquisa foi: “quais as novas aplicações da técnica de fotogrametria no ensino de anatomia humana?” Para responder a tal questionamento, foi executada uma busca nas seguintes bases de dados, por ordem de consulta: PubMed (*National Library of Medicine and National Institutes of Health*), LILACS (*Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde*), SciELO (*Scientific Electronic Library Online*) e Google Acadêmico. Foram utilizados os Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) “fotogrametria”, “anatomia”, “imagem tridimensional” em português e inglês com o auxílio de operadores Booleanos (AND/OR). A coleta de dados foi realizada entre maio e julho de 2021.

Os critérios de inclusão dos estudos foram: artigos disponíveis gratuitamente com texto completo; estudos publicados nos idiomas português, inglês e espanhol, sem restrição de data de publicação, estudos originais, de revisão e relatos que trouxessem dados a respeito da aplicação da fotogrametria para a produção de biomodelos digitais destinados ao ensino anatômico. Foram excluídos artigos disponíveis apenas em resumo, estudos publicados em fontes que não sejam disponíveis eletronicamente, artigos de opinião, comentários e cartas ao leitor/edição; e que não atendessem aos critérios de inclusão descritos.

A primeira etapa de seleção foi identificar e retirar as duplicatas. Em seguida, analisar os potenciais estudos e se preenchem os critérios estabelecidos, passando por uma seleção inicial efetivada com leitura do título e resumo 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. Caso houvesse 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 31 estudos mais recentes publicados (Tabela 1). Os estudos incluídos na revisão integrativa permitem uma avaliação crítica do tema discutido sendo possível identificar lacunas que poderão direcionar futuras pesquisas.

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

<b>FONTES DE INFORMAÇÃO</b>	<b>ESTRATÉGIA DE BUSCA</b>	<b>RESULTADOS</b>
PubMed	("photogrammetry"[MeSH Terms] OR "photogrammetry"[All Fields]) AND ("anatomy and histology"[MeSH Subheading] OR	460
LILACS	("anatomy"[All Fields] AND "histology"[All Fields]) OR "anatomy and histology"[All Fields] OR "anatomy"[All Fields] OR	293
SciELO	"anatomy"[MeSH Terms] OR "anatomies"[All Fields]) AND	5
Google Acadêmico	("imaging, three dimensional"[MeSH Terms] OR ("imaging"[All Fields] AND "three dimensional"[All Fields]) OR "three-dimensional imaging"[All Fields] OR ("three"[All Fields] AND "dimensional"[All Fields] AND "imaging"[All Fields]) OR "three dimensional imaging"[All Fields])	9610
Artigos selecionados incluídos na revisão:		31

Fonte: Autores (2021).

### 3. Resultados e Discussão

A técnica de fotogrametria apresenta inúmeras vantagens no processo de criação de modelos anatômicos digitais (Duarte et al., 2019). O estudo de Petriceks et al. (2018) demonstra algumas delas, como o custo relativamente barato, exigindo apenas equipamentos como câmeras digitais ou telefones (*smartphones*) em que uma resolução mínima de 5 megapixels é suficiente para se obter bons resultados, ferramentas de iluminação e software de renderização apropriado. Além disso, a fotogrametria cria modelos anatômicos autênticos que certamente priorizam a demonstração de detalhes sutis. Por fim, as peças tridimensionais são virtualmente interativas, oferecem engajamento visuoespacial, poupam espécimes físicos da degradação e podem ser amplamente distribuídas para favorecer o ensino-aprendizagem.

A fotogrametria pode ser uma técnica altamente precisa quando realizada corretamente. Entretanto, Erolin (2019) relata que ao utilizar a técnica, o ideal é evitar superfícies brilhantes, espelhadas ou transparentes, já que isso pode confundir o software usado para reconstruir o modelo tridimensional desejado. O software de fotogrametria também pode apresentar dificuldades na representação de objetos planos ou sem características marcantes, assim como objetos com reentrâncias e escavações. Além disso, uma das principais desvantagens da técnica é a necessidade de um computador potente para o processamento do grande número de fotografias tiradas. No momento das capturas fotográficas do objeto, são necessárias uma iluminação ambiente adequada e uniforme, assim como uma distância focal típica de 35-50mm. As fotos devem ser tiradas em alturas e posições diferentes (Figura 1), a fim de que o software alinhe as inúmeras imagens e crie o modelo com maior precisão e facilidade. Em relação à quantidade de fotos necessárias, há uma variação de acordo com o tamanho e forma do objeto, mas é aconselhável tirar mais fotos do que o necessário, pois haverá seleção das mais adequadas e exclusão de excedentes antes do processamento.

**Figura 1.** Captura de tela do autor do software de fotogrametria *Agisoft Photo Scan*, demonstrando as posições das fotografias de origem em torno do modelo desejado.



Fonte: Erolin (2019).

### 3.1 Fotogrametria no processo de ensino e aprendizagem da Anatomia

As aplicações da fotogrametria para o ensino da anatomia humana são diversas. Petriceks et al. (2018) relata o desenvolvimento de um aplicativo para a plataforma iOS, na Universidade de Stanford, contendo uma variedade de modelos anatômicos digitais criados a partir da técnica. Os estudantes da instituição e seus instrutores foram os usuários da ferramenta. Com a tecnologia de tela sensível ao toque, os alunos podem ampliar (zoom), girar em até 360° (em distintas direções e sentidos) e fazer anotações desejadas em, por exemplo, uma aorta descendente, uma superfície inferior das câmaras cardíacas e pulmões. Tais interações são simples, interativas, intuitivas, acessíveis e permitem a manipulação digital de um espécime com liberdade e controle.

Analisando várias instituições de formação médica, Attardi e Rogers (2015) observaram que o corpo docente, composto por profissionais de diferentes áreas de atuação e com contato prévio com distintas metodologias de ensino, considerou os modelos digitais desenvolvidos por fotogrametria anatomicamente representativos e autênticos aos espécimes originais. Um palestrante de Stanford observou que, ao contrário de muitas versões computadorizadas, os modelos representam uma anatomia verdadeiramente autêntica, por serem baseados em peças cadavéricas reais. Outros ainda relataram que os detalhes desses modelos são equivalentes ou excedem os de muitas imagens de livros didáticos de alta definição (Swennen et al., 2020).

De acordo com Moraes e Muniz (2018), os acadêmicos que tiveram contato com os modelos virtuais gerados fotogrametricamente relataram perfeição de detalhes, como características anatômicas sutis, como por exemplo, a protrusão das artérias coronárias ou acúmulo de sangue em base pulmonar. Utiyama et al. (2014) demonstraram que o contato prévio com tais ferramentas digitais auxilia a preparação e adaptação do estudante aos espécimes anatômicos realistas, aliviando ainda a ansiedade durante as primeiras interações com cadáveres. Além disso, claramente as peças virtuais são mais acessíveis do que os modelos físicos, estando disponíveis para aplicativos de smartphone, tablet ou computador.

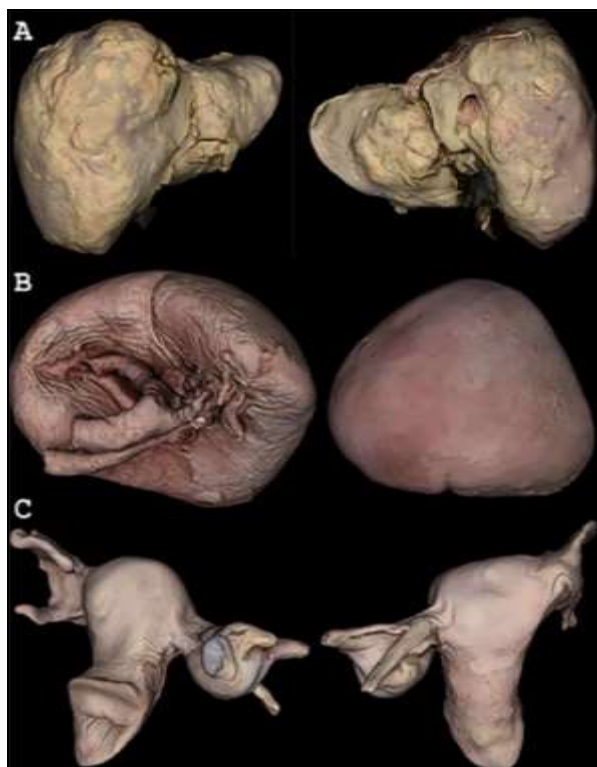
Em consonância com inúmeros estudos, é possível afirmar que a fotogrametria é um método acessível e seguro para a criação de modelos 3D. Tal ferramenta ainda é relevante ao possibilitar a criação de bibliotecas digitais de variados espécimes

anatômicos. Certamente essas bibliotecas seriam úteis em locais e instituições de ensino falhos na aquisição de próteses anatômicas ou cadáveres. Embora pesquisas que comparem efetivamente as variadas ferramentas de ensino anatômico sejam precárias e ainda estão em desenvolvimento, é visível que os modelos fotogramétricos combinam a vantagem tridimensional dos vídeos com a alta qualidade e resolução das fotografias virtuais, além da favorável acessibilidade (Petriceks et al., 2018).

### 3.2 Fotogrametria de órgãos, vasos e cavidades

O estudo de Petriceks et al. (2018), realizado na Universidade de Stanford, evidenciou o potencial da fotogrametria em produzir modelos virtuais de órgãos humanos em condições fisiológicas e patológicas. Por exemplo, houve a criação de um biomodelo hepático conservando o estado, textura e cores originais da amostra neoplásica, em que os tumores eram claramente distinguíveis do tecido hepático normal (Figura 2A). Um modelo de baço sem alterações também foi formado (Figura 2B). Os detalhes são tão sutis e realistas, que é possível observar o hilo esplênico (entrada da artéria esplênica e saída da veia esplênica). Os modelos de útero e ovário (Figura 2C) destacaram ainda a capacidade da fotogrametria em documentar comorbidades únicas, muitas vezes difíceis de serem encontradas em peças cadavéricas e, acima de tudo, de maneira tridimensional e altamente perfeccionista.

**Figura 2.** Fígado com tumores metastáticos (A). Baço (B). Útero com mioma e ovário cístico (C).



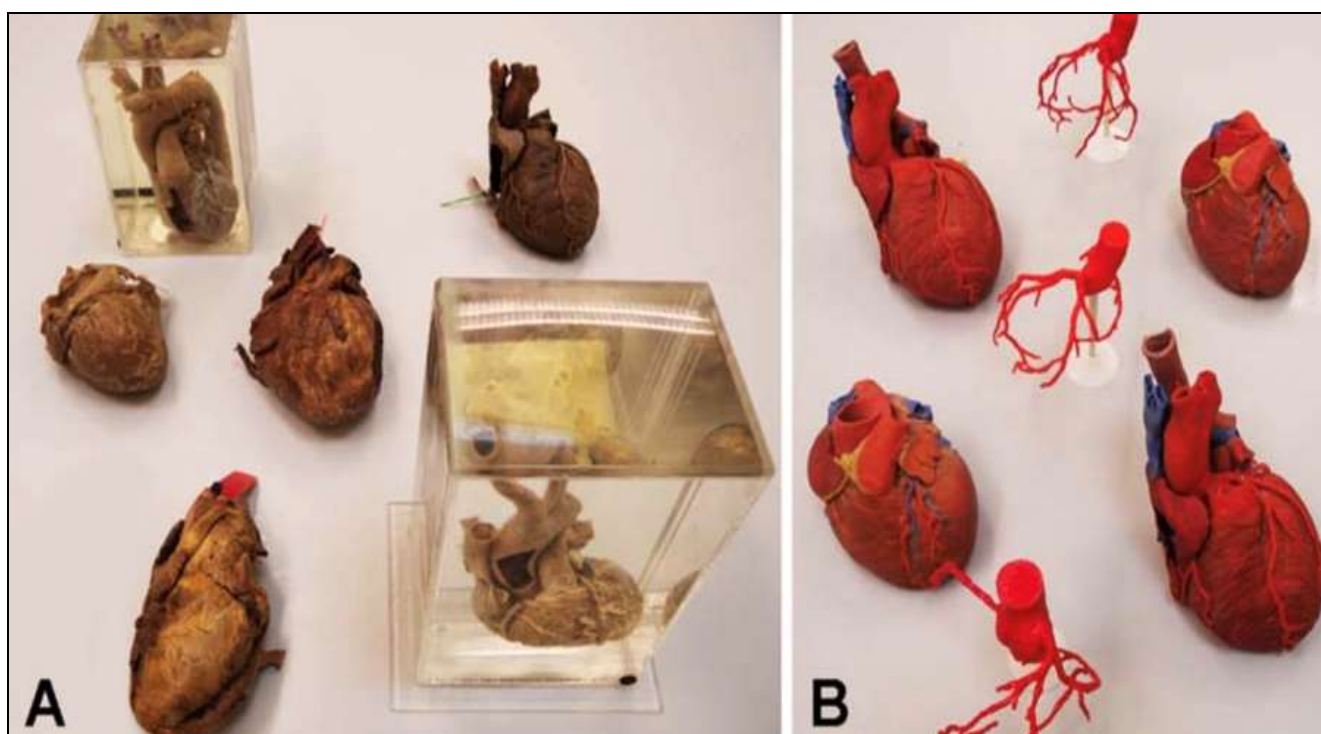
Fonte: Petriceks et al. (2018).

Uma pesquisa realizada na Universidade Monash, na Austrália, comparou a aprendizagem da anatomia cardíaca entre alunos submetidos ao método tradicional de ensino por cadáveres (Figura 3A) e ao método de fotogrametria com posterior impressão 3D (Figura 3B) (Lim et al., 2016). Foi demonstrado que o manuseio digital e de peças impressas não prejudicou os acadêmicos, pelo contrário, uma melhor pontuação em uma atividade realizada foi registrada justamente nos alunos que tiveram contato apenas com essa ferramenta. Alguns fatores que podem justificar o acontecimento são a apreensão, estresse e ansiedade apresentados durante os primeiros encontros com espécimes cadavéricas nas aulas de anatomia, inclusive com certa

tendência a evitar o contato imediato com tais peças.

Diante desse aspecto, o manuseio inicial de biomodelos digitais seria fundamental para combater possíveis inibições psicológicas apresentadas pelos estudantes. Além disso, a grande maioria deles já apresenta certa facilidade e comodidade com métodos tecnológicos no período de ingresso ao ensino superior, o que certamente favorece o aprendizado da anatomia, um componente tão essencial no currículo médico. As peças impressas posteriormente revelam vantagens associadas, já que detalhes sutis são preservados, cores vivas facilitam o ensino e a visualização de alterações específicas são evidenciadas (um exemplo seriam as cardiopatias congênitas), o que muitas vezes não ocorre em peças cadavéricas desgastáveis e manipuladas há muitos anos (Lim et al., 2016).

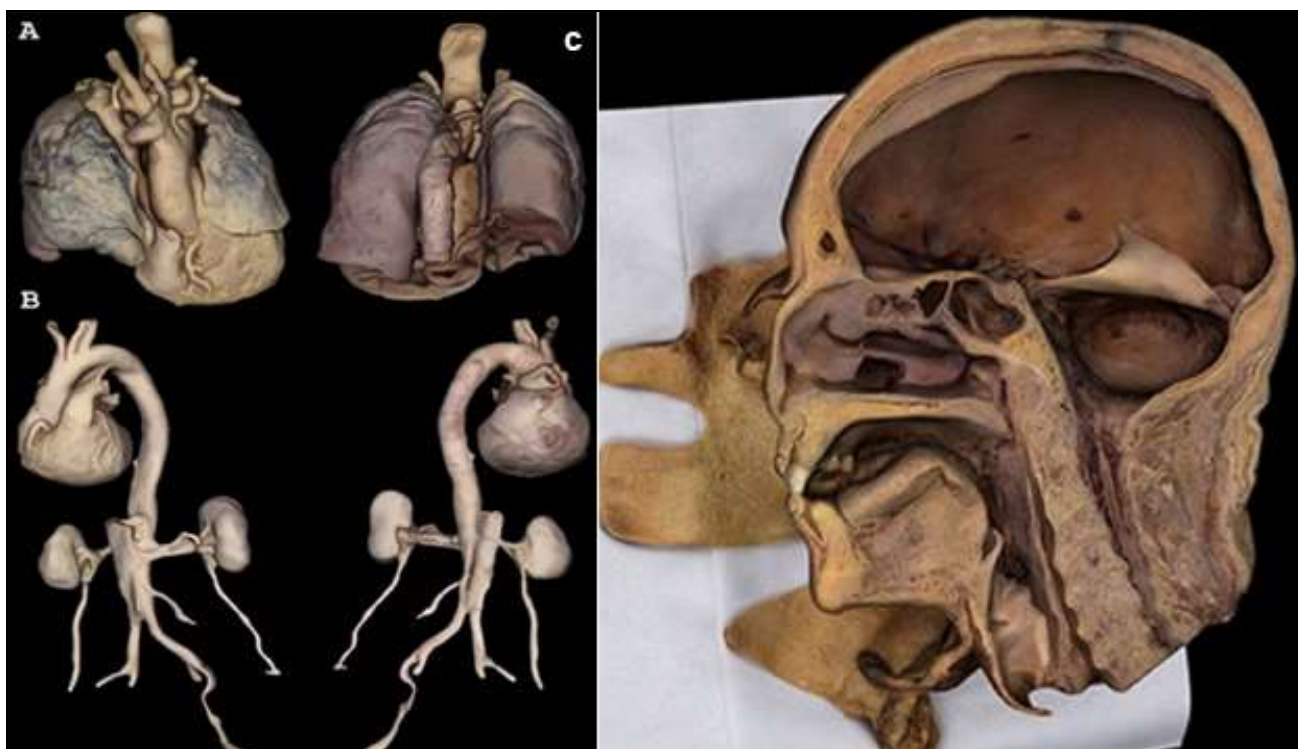
**Figura 3.** Peças cardíacas cadavéricas (A). Peças cardíacas impressas em 3D após técnica de fotogrametria (B).



Fonte: Lim et al. (2016).

A adoção da fotogrametria na Universidade de Stanford ainda foi capaz de renderizar tridimensionalmente múltiplos órgãos. Modelos virtuais de coração e pulmões (Figura 4A) foram criados preservando detalhes e integridade, como as notáveis fissuras pulmonares e a manutenção da cor original, possibilitando a distinção entre os lobos, a visualização de acúmulo de pigmentos patológicos (por exemplo, o alcatrão) e a identificação de sangue no espaço pleural (resultante da dissecação da peça original usada). Em espécimes digitais de coração e rins (Figura 4B), as artérias coronárias eram visíveis de forma minuciosa, mesmo com ampliação para contemplar a amostra inteira. Outra aplicabilidade relevante é o potencial de facilitar o estudo e compreensão de cavidades corporais internas, muitas vezes difíceis de serem dominadas e até mesmo aceitáveis pelos estudantes, devido a riqueza de detalhes. A fotogrametria consegue, através de um corte sagital de uma cabeça com vísceras removidas, formar modelos virtuais de cavidades da cabeça e pescoço (Figura 4C) conferindo a noção de profundidade relativa, na qual locais mais rasos (como o canal espinal) são visualizados de forma mais clara e menos sombreada, enquanto locais mais profundos (como a cavidade craniana) aparecem escuros (Petriceks et al., 2018).

**Figura 4.** Coração com grandes vasos e pulmões com antracose (A). Coração com grandes vasos, aorta abdominal, artérias renais, rins e ureteres (B). Modelo por secção sagital craniana (C).



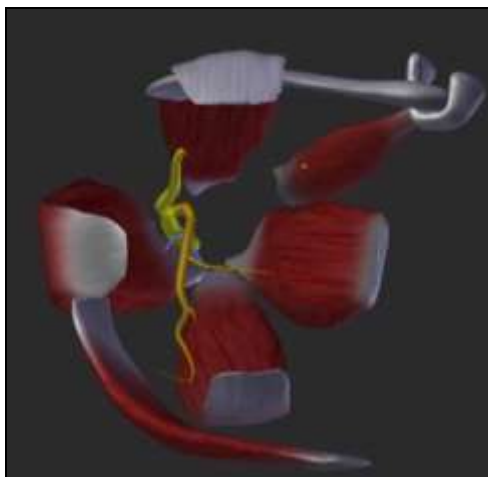
Fonte: Petriceks et al. (2018).

### 3.3 Fotogrametria do sistema osteomuscular

O estudo de Allen et al. (2015), realizado na Universidade de Western Ontario, Canadá, abordou o desenvolvimento fotogramétrico de um modelo 3D digital e interativo dos músculos e nervos cranianos do sistema oculomotor. A aplicabilidade é relevante, visto que a anatomia discreta e intrínseca do sistema oculomotor é conceitualmente de difícil compreensão e análise em espécimes cadavéricas, principalmente por estudantes novatos não habituados. Além disso, esse grupo de músculo (composto pelo reto medial, reto lateral, reto inferior, reto superior, oblíquo superior e oblíquo inferior) representa um dos locais mais comuns de intervenção clínica no tratamento de distúrbios de motilidade ocular. Tal abordagem da fotogrametria oferece um estudo enriquecido a respeito das estruturas oculares citadas, pois a renderização 3D com posterior aprimoramento da versão digital conquistada e criação de um simulador (Figura 5) possibilita a visualização e o controle da função dos músculos extraoculares. Além disso, é possível a mudança unilateral ou bilateral da posição do olhar resultante da perda de função de um determinado músculo.



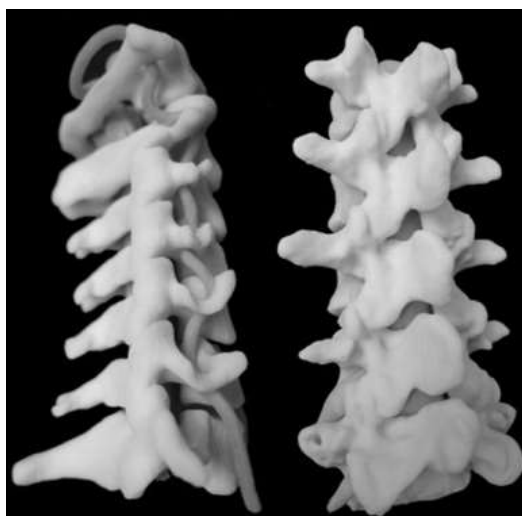
**Figura 5.** Reconstrução digital dos músculos extraoculares que movem o globo direito, músculo elevador da pálpebra, nervos oculomotor e abducente.



Fonte: Allen et al. (2015).

A anatomia óssea é um dos principais temas no ensino médico. Por muitas vezes estar presente já no início da graduação, representa certa dificuldade de aprendizagem e resistência por parte dos acadêmicos. A fotogrametria atua nesse aspecto ao favorecer a produção de modelos digitais de fácil manuseio e totalmente didáticos. Cramer et al. (2017) demonstraram, na indústria produtora de modelos 3D WhiteClouds (Utah), a aplicação da técnica em vértebras cervicais e lombares (Figura 6), além da visualização de deformidades frequentemente vistas apenas em imagens teóricas, como hérnias disciais, osteofitoses, processos degenerativos, desvios posturais e outros. O acesso a peças ósseas reais geralmente não é um empecilho, entretanto as condições de conforto, estudo individual e engajamento visuoespacial apresentados pelos modelos fotogramétricos são vantagens adicionais.

**Figura 6.** Modelos de vértebras cervicais e lombares impressas em nylon, após aplicação de fotogrametria.

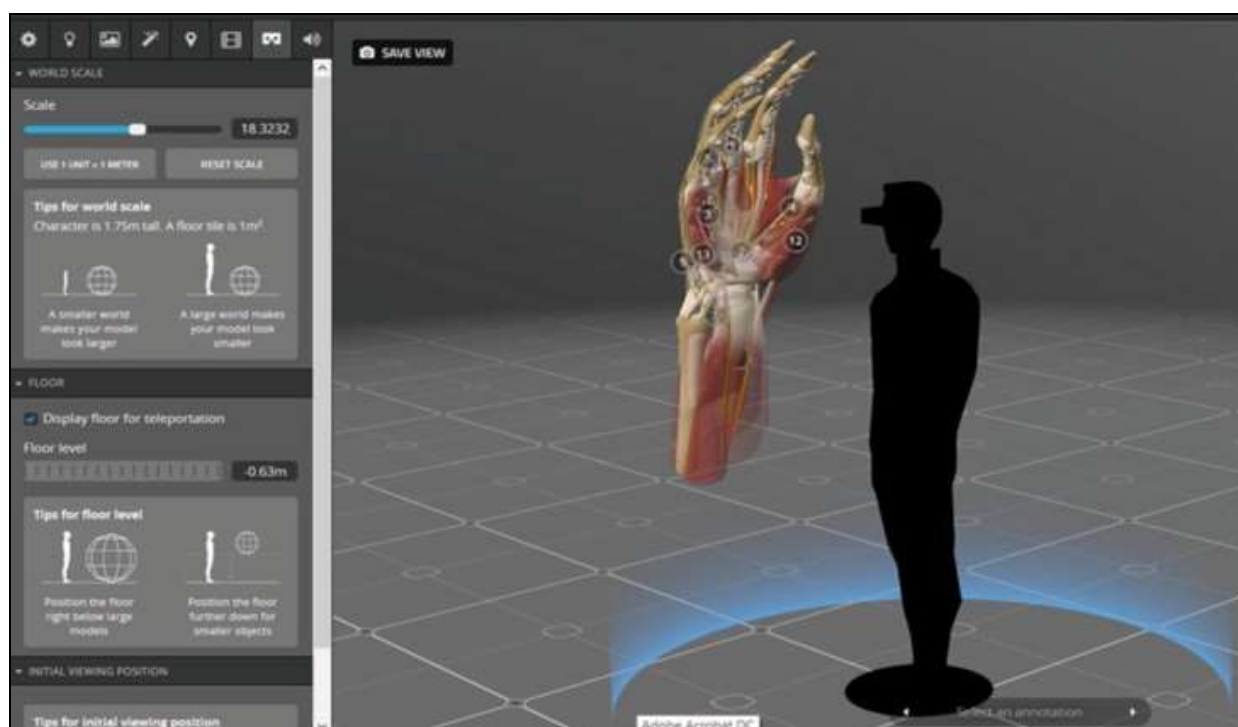


Fonte: Cramer et al. (2017).

Novas abordagens de ensino estão sendo desenvolvidas gradativamente, como técnicas que ultrapassam os aspectos limitados da interação com a tela de um computador, smartphone ou tablet. Na Universidade de Dundee, Escócia, a fotogrametria foi apenas um método inicial para a adoção de uma ferramenta de ensino baseada na Realidade Virtual (RV) e

Realidade Aumentada (RA), em que há a interação e visualização direta de um modelo anatômico virtual sobreposto ao mundo real, por meio de um software e uso de um monitor tipo *head-mounted display* (HMD), criando experiências totalmente imersivas. Ao utilizar a técnica para o estudo de estruturas osteomusculares do antebraço e mão (Figura 7), evidenciou-se eficácia semelhante aos demais programas digitais (em um tablet, por exemplo), mas proporcionando maior envolvimento, interesse acadêmico e diversão. Fatores que certamente são benéficos para a fixação de determinados conteúdos curriculares. As únicas desvantagens apontadas pela RV foram os possíveis quadros de náusea leve, visão turva e desorientação mediante o contato inicial com a tecnologia (Erolin, 2019).

**Figura 7.** Captura de tela do autor mostrando opções de visualização em software de Realidade Virtual.



Fonte: Erolin (2019).

### 3.4 Fotogrametria do sistema nervoso

O Sistema Nervoso Central é composto pelo encéfalo, tronco encefálico, cerebelo, nervos cranianos e a medula espinal. Assim como aponta Zemmoura et al. (2016), no passado, a complexa anatomia encefálica era estudada exclusivamente por dissecções de cadáveres, o que realmente possibilitava uma descrição detalhada e fidedigna. Entretanto, devido à complexidade e duração da técnica exigida na preparação dos espécimes, especialmente quando se trata dos feixes de substância branca do cérebro, juntamente com a fragilidade das estruturas em questão, novas técnicas foram e estão sendo buscadas no ensino da anatomia nervosa.

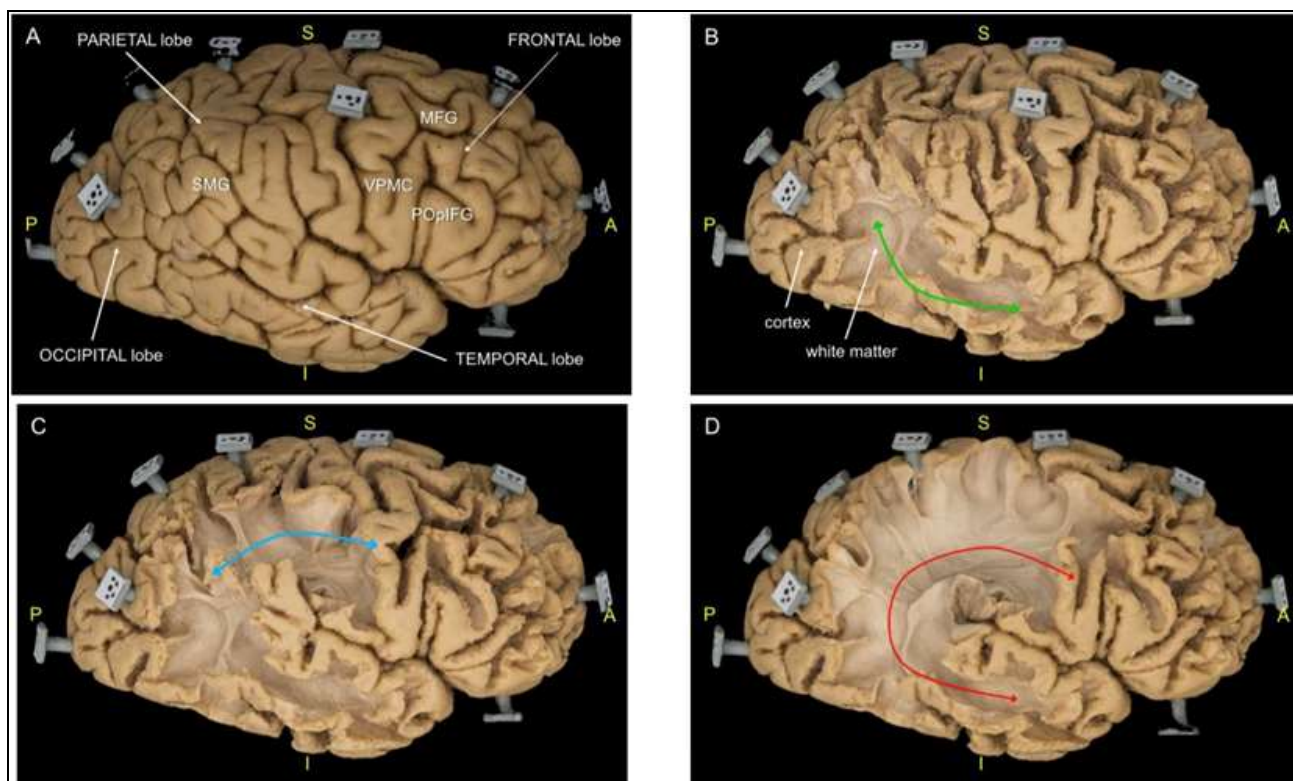
De Benedictis et al. (2014; 2016) abordaram em seus estudos o desenvolvimento da ferramenta da imagem por tensor de difusão (DTI), um método que forma imagens cerebrais a partir do princípio de que as moléculas de água se difundem passivamente ao longo dos axônios neurais. Isso possibilita um estudo da anatomia tridimensional nervosa, com destaque para os tratos de substância branca, de forma não invasiva e in vivo. Apesar dos inquestionáveis benefícios, há limitações. Por exemplo, locais de cruzamento de vias e fascículos não são adequadamente registrados, além do fato de que as reconstruções encefálicas são extremamente variáveis e não há manutenção de uma qualidade aceitável em muitos casos. Assim, a fotogrametria surge como uma eficaz solução para a visualização de informações métricas, estruturais, anatômicas e

tridimensionais do Sistema Nervoso (Nocerino et al., 2016; De Benedictis et al., 2018; Shintaku et al., 2019).

A fotogrametria para geração de modelos cerebrais é descrita de distintas maneiras na literatura, a depender das porções encefálicas a serem retratadas. Nocerino et al. (2016) relatou em um Workshop da Sociedade Internacional de Fotogrametria em Moscou, Rússia, a aplicação da fotogrametria para reproduzir virtualmente as porções de feixes brancos internos do cérebro. Para isso, em cada estágio de dissecação da peça anatômica original, dois conjuntos de dados eram adquiridos e processados. As fotografias eram tiradas com uma tecnologia de mesa giratória que permitia a captação exata das áreas desejadas e a medição métrica por meio de alvos fixados em pontos específicos.

Para a realização da técnica, Nocerino et al. (2016) relatam que, primeiramente, a superfície do córtex (sulcos e giros) da peça original era analisada para excluir possíveis variabilidades anatômicas, sendo fotografada a seguir (Figura 8A). A seguir, parte da matéria cortical era retirada, revelando as fibras integrais em U. Posteriormente, o componente posterior indireto do feixe longitudinal superior (FLS), a conexão do lóbulo parietal inferior com posterior e parte do lobo temporal são expostas, possibilitando novas fotografias (Figura 8B). O segmento anterior indireto do FLS, conectando o lobo parietal com a parte posterior do lobo frontal é mostrada (Figura 8C). Por fim, o último estágio envolve a exposição do fascículo arqueado, formando uma conexão entre o lobo temporal e o lobo frontal (Figura 8D).

**Figura 8.** Peça cerebral original para a aplicação da fotogrametria. Córtex cerebral com sulcos e giros (A). Linha verde - Porção posterior do feixe longitudinal superior conectando lobos parietal e temporal (B). Linha azul - Porção anterior do feixe longitudinal superior conectando lobos frontal e parietal (C). linha vermelha - Fascículo arqueado conectando lobo temporal e frontal (D).



Fonte: Nocerino et al. (2016).

Rubio et al. (2019) também demonstra a precisão da ferramenta fotogramétrica na renderização digital 3D a partir de um modelo neuroanatômico (Figura 9). De fato, esse complexo processo permite a formação de um modelo virtual neural

extremamente detalhado, preciso, que abrange vários níveis de profundidade da substância cinzenta e branca, o que pode superar possíveis dificuldades de compreensão anatômica apresentada pelos estudantes da disciplina (Barbero-García et al., 2017; 2019).

**Figura 9.** Um modelo volumétrico texturizado criado por fotogrametria antes de realces de pós-processamento adicionais. As principais estruturas reconhecidas são o giro pré e pós-central, juntamente com o sulco central.



Fonte: Rubio et al. (2019).

#### 4. Conclusão

O ensino da anatomia humana na área da saúde vem sofrendo significativas mudanças. Métodos tradicionais baseados principalmente em cadáveres e próteses apresentam inúmeras limitações e o anseio por ferramentas inovadoras é realidade em todo o mundo. A fotogrametria surge como uma alternativa capaz de converter estruturas anatômicas reais em modelos 3D interativos, acessíveis, fidedignos, minuciosos e duradouros. A partir dessa simples técnica, avançadas formas de aprendizado baseadas na realidade virtual e ampliada podem possibilitar experiências de estudo incomparáveis. Além disso, futuros pesquisadores e educadores poderiam utilizar a fotogrametria para criar bibliotecas institucionais de anatomia digital 3D, preservando espécimes humanas de maneira permanente. Estudos que relatam a adoção da técnica a nível nacional são escassos e, apesar da necessidade de maiores produções científicas comparativas, a adoção de um ensino da anatomia com elementos combinados poderia trazer resultados mais satisfatórios a curto, médio e longo prazo.

O presente estudo aponta a relevância da técnica de fotogrametria nas instituições de ensino em âmbito global. Há a necessidade de avaliar a incorporação das novas tecnologias citadas e de aprofundar o conhecimento das aplicabilidades do método, de tal modo que novas pesquisas possam ser direcionadas a busca de aprimoramentos, abordagens, adoção e aplicação em instituições de ensino superior no processo de aprendizado digital da anatomia humana, assim como para demais áreas em saúde.

#### Referências

AbouHashem, Y., Dayal, M., Savanah, S., & Štrkalj, G. (2015). The application of 3D printing in anatomy education. *Medical education online*, 20, 29847. <https://doi.org/10.3402/meo.v20.29847>

- Allen, L. K., Bhattacharyya, S., & Wilson, T. D. (2015). Development of an interactive anatomical three-dimensional eye model. *Anatomical sciences education*, 8(3), 275–282. <https://doi.org/10.1002/ase.1487>
- Attardi, S. M., & Rogers, K. A. (2015). Design and implementation of an online systemic human anatomy course with laboratory. *Anatomical sciences education*, 8(1), 53–62. <https://doi.org/10.1002/ase.1465>
- Barbero-García, I., Lerma, J. L., Marqués-Mateu, Á., & Miranda, P. (2017). Low-Cost Smartphone-Based Photogrammetry for the Analysis of Cranial Deformation in Infants. *World neurosurgery*, 102, 545–554. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.03.015>
- Barbero-García, I., Lerma, J. L., Miranda, P., & Marqués-Mateu, Á. (2019). Smartphone-based photogrammetric 3D modelling assessment by comparison with radiological medical imaging for cranial deformation analysis. *Measurement*, 131, 372-379. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.08.059>
- 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>
- De Benedictis, A., Duffau, H., Paradiso, B., Grandi, E., Balbi, S., Granieri, E., Colarusso, E., Chioffi, F., Marras, C. E., & Sarubbo, S. (2014). Anatomic-functional study of the temporo-parieto-occipital region: dissection, tractographic and brain mapping evidence from a neurosurgical perspective. *Journal of anatomy*, 225(2), 132–151. <https://doi.org/10.1111/joa.12204>
- De Benedictis, A., Nocerino, E., Menna, F., Remondino, F., Barbareschi, M., Rozzanigo, U., Corsini, F., Olivetti, E., Marras, C. E., Chioffi, F., Avesani, P., & Sarubbo, S. (2018). Photogrammetry of the Human Brain: A Novel Method for Three-Dimensional Quantitative Exploration of the Structural Connectivity in Neurosurgery and Neurosciences. *World neurosurgery*, 115, e279–e291. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.04.036>
- De Benedictis, A., Petit, L., Descoteaux, M., Marras, C. E., Barbareschi, M., Corsini, F., Dallabona, M., Chioffi, F., & Sarubbo, S. (2016). New insights in the homotopic and heterotopic connectivity of the frontal portion of the human corpus callosum revealed by microdissection and diffusion tractography. *Human brain mapping*, 37(12), 4718–4735. <https://doi.org/10.1002/hbm.23339>
- 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. *RESU – Revista Educação em Saúde: V7, suplemento 3*. Recuperado de: <http://periodicos.unievangelica.edu.br/index.php/educacaoemsaude/article/view/4191>
- 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](https://doi.org/10.1007/978-3-030-14227-8_1)
- Koche, J. C. (2011). *Fundamentos de metodologia científica*. Petrópolis: Vozes
- 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>
- 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*. <https://doi.org/10.1002/ase.2058>
- 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.). Recuperado de: <https://revistas.pucsp.br/index.php/RFCMS/article/view/40101>
- Nocerino, E.; Menna, F.; Remondino, F.; & Beraldin, J. A., Cournoyer, L., & Reain, G. (2016). Experiments on calibrating tilt-shift lenses for close-range photogrammetry. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B5, 99–105. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B5-99-2016>, 2016.
- Petriceks, A. H., Peterson, A. S., Angeles, M., Brown, W. P., & Srivastava, S. (2018). Photogrammetry of Human Specimens: An Innovation in Anatomy Education. *Journal of medical education and curricular development*, 5, 2382120518799356. <https://doi.org/10.1177/2382120518799356>
- Provenzano, D.; Rao, Y.J.; Mitic, K.; Obaid, S.N.; Pierce, D.; Huckenpahler, J.; Berger, J.; Goyal, S.; & Loew, M.H. (2020). Rapid Prototyping of Reusable 3D-Printed N95 Equivalent Respirators at the George Washington University. *Preprints*, 2020030444. doi: 10.20944/preprints202003.0444.v1
- Rubio, R. R., Shehata, J., Kournoutas, I., Chae, R., Vigo, V., Wang, M., El-Sayed, I., & Abila, A. A. (2019). Construction of Neuroanatomical Volumetric Models Using 3-Dimensional Scanning Techniques: Technical Note and Applications. *World neurosurgery*, 126, 359–368. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.03.099>
- Shintaku, H., Yamaguchi, M., Toru, S., Kitagawa, M., Hirokawa, K., Yokota, T., & Uchihara, T. (2019). Three-dimensional surface models of autopsied human brains constructed from multiple photographs by photogrammetry. *PLoS one*, 14(7), e0219619. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219619>
- Soares Neto, J., Barbosa, M. L. L., Matos, H. L., Xavier, A. R., Cerqueira, G. S., & Souza, E. P. (2020a). 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>
- Soares Neto, J., Barbosa, M. L. L., Matos, H. L., Xavier, A. R., Cerqueira, G. S., & Souza, E. P. (2020b). Um estudo sobre a tecnologia 3D aplicada ao ensino de anatomia: uma revisão integrativa. *Research, Society and Development*, 9(11), e4259119822. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9822>
- Soares Neto, J., 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>
- Soares Neto, J., Santos, M. J. C., Cerqueira, G. S., & Souza, E. P. (2020c). A Sequência Fedathi e o uso de tecnologias digitais 3D como recursos metodológicos para o ensino de anatomia humana: uma revisão integrativa. *Research, Society and Development*, 9(10), e3559108141. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8141>

Swennen, G. R. J.; Pottel, L.; & Haers, P. E. (2020). Custom-made 3D-printed face masks in case of pandemic crisis situations with a lack of commercially available FFP2/3 masks. *International Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*, 49(5), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2020.03.015>.

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*. Recuperado de: [https://www.canal6.com.br/cbeb/2014/artigos/cbeb2014\\_submission\\_095.pdf](https://www.canal6.com.br/cbeb/2014/artigos/cbeb2014_submission_095.pdf) Acesso: 11/08/21

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 USP*, 1(1), 7-15. doi: 10.11606/issn.2525-376X.v1i1p7-15.

Wu, A. M., Wang, K., Wang, J. S., 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 medicine*, 6(20), 403. <https://doi.org/10.21037/atm.2018.09.59>

Zemmoura, I., Blanchard, E., Raynal, P. I., Rousselot-Denis, C., Destrieux, C., & Velut, S. (2016). How Klingler's dissection permits exploration of brain structural connectivity? An electron microscopy study of human white matter. *Brain structure & function*, 221(5), 2477–2486. <https://doi.org/10.1007/s00429-015-1050-7>