



## Biomodelo de esqueleto humano para impressão 3D

### Human skeleton biomodel for 3D printing

Bruno Pinheiro Advíncula<sup>1</sup>, José Aguiomar Foggiatto<sup>2</sup>

#### RESUMO

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um biomodelo de um esqueleto humano completo, criado em resposta à crescente escassez de cadáveres disponíveis para estudo e pesquisa de anatomia. O projeto foi desenvolvido visando suprir a demanda por recursos didáticos mais acessíveis. Atualmente, a obtenção de cadáveres enfrenta desafios éticos e logísticos, levando à deterioração das peças e à necessidade de métodos de conservação que comprometem sua aplicação nas aulas de anatomia. O biomodelo produzido utiliza abordagem de construção que visa beneficiar a anatomia humana natural, se distinguindo dos modelos convencionais que frequentemente carecem de variações anatômicas naturais e prejudicam a compreensão dos mecanismos naturais do corpo humano, tornando-se uma alternativa para os cursos da área da saúde. Este trabalho visa contribuir para à educação e pesquisa em anatomia, compensando a falta de cadáveres e de variações anatômicas nos modelos existentes. Como resultado foi gerado um esqueleto completo na escala 1:2 e os biomodelos 3D de cada osso do corpo humano, os referidos arquivos estarão disponíveis para download gratuito no site do laboratório NUFER.

**PALAVRAS-CHAVE:** anatomia, biomodelo, esqueleto, impressão 3D.

#### ABSTRACT

This work describes the development of a biomodel of a complete human skeleton, created in response to the growing scarcity of cadavers available for anatomy study and research. The project was undertaken to address the demand for more accessible educational resources. Currently, the acquisition of cadavers faces ethical and logistical challenges, leading to the deterioration of specimens and the necessity of preservation methods that compromise their utility in anatomy classes. The produced biomodel utilizes a construction approach aimed at benefiting natural human anatomy, distinguishing itself from conventional models that often lack natural anatomical variations and hinder the understanding of the natural mechanisms of the human body, thus serving as an alternative for healthcare-related courses. This work aims to contribute to education and research in anatomy, addressing the shortage of cadavers and anatomical variations in existing models. As a result, a complete skeleton at a 1:2 scale and 3D biomodels of each bone in the human body were generated, and these files will be available for free download on the NUFER laboratory website.

**KEYWORDS:** anatomy; biomodelo; skeleton; 3D printing.

## INTRODUÇÃO

O presente projeto foi concebido em resposta à diminuição da disponibilidade de cadáveres humanos para fins de estudo e pesquisa anatômica. A necessidade de modelos anatômicos realistas é fundamental para o ensino e pesquisa na área da saúde, e o desenvolvimento de um biomodelo ósseo humano completo por meio da impressão 3D busca suprir essa demanda. O modelo foi desenvolvido conjuntamente entre um discente e um docente da UTFPR, junto a consultoria de alunos e profissionais da UFPR, com o objetivo de fornecer uma ferramenta didática acessível a todos os interessados.

O estudo anatômico tradicionalmente depende da utilização de cadáveres humanos redundantes. No entanto, Cordeiro (2019) ressalta que a disponibilidade desses corpos tem

Bolsista da Fundação Araucária. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: brunoadvincula@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 5051465624488327.

Docente do Departamento Acadêmico de Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: foggiatto@utfpr.edu.br. ID Lattes: 8013863352635494.



diminuído ao longo do tempo devido a diversas barreiras burocráticas, éticas, sociais e religiosas. A exumação de corpos não reclamados ainda é a principal fonte de cadáveres para estudo, resultando frequentemente em peças anatômicas deterioradas e incompletas. Além disso, os métodos de conservação, como a imersão em formaldeído ou glicerina, não impedem a degradação natural dos corpos.

Segundo Zófoli (2017), e corroborado por Calazans (2013), embora esses métodos prevaletentes na atualidade no campo do estudo e pesquisa anatômica contribuam para a preservação das peças, eles não conseguem evitar sua degradação natural decorrente da manipulação. Portanto, a criação de biomodelos ósseos realistas se torna uma alternativa para o ensino e pesquisa em anatomia.

Ademais, conforme a análise de Reis et al. (2017), os biomodelos ósseos produzidos por impressão 3D apresentam as mesmas características anatômicas dos ossos, preservando as particularidades ósseas e mostrando fidedignidade às peças reais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

No contexto da busca por fidelidade ao realismo no projeto, um único indivíduo do sexo masculino serviu como base para a produção dos biomodelos ósseos, a fim de evitar possíveis distorções de proporção. O processo consistiu na conversão de um banco de imagens em modelos tridimensionais por meio do programa InVesalius. Foram selecionadas imagens no formato DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) com alta resolução para produzir um modelo de qualidade, com ajustes e correções realizados utilizando o programa Meshmixer (Autodesk®). A criteriosa seleção das faixas de densidades (HU) visou reduzir a necessidade de retrabalho, conforme é possível visualizar nas Figuras 1a e 1b.

Devido a criação de dois arquivos DICOM distintos, constituindo a estrutura óssea superior e inferior, foi necessário realizar a junção de ambos os modelos, à qual sua divisão ocorreu especificamente no Fêmur. Borborema (2010) estabeleceu o alinhamento correto entre as partes do Fêmur, sendo relevante mencionar que foram identificadas razões dimensionais com coeficiente de 0,2385 para o fêmur e 0,2114 para a tíbia. Seguindo essas recomendações foi possível realizar a junção das superfícies, visando garantir a fidelidade dimensional do modelo.

As correções também abrangeram a eliminação de ondulações, reparo de superfícies fragmentadas e a separação dos ossos, segundo o que é sugerido por Netter (2018) e por Sobotta (2015). A eficácia do programa Meshmixer foi essencial para a geração dos biomodelos devido à sua capacidade de manipulação tridimensional de malhas de alta densidade, resultando na otimização da qualidade do modelo, conforme é possível visualizar na Figura 1c.

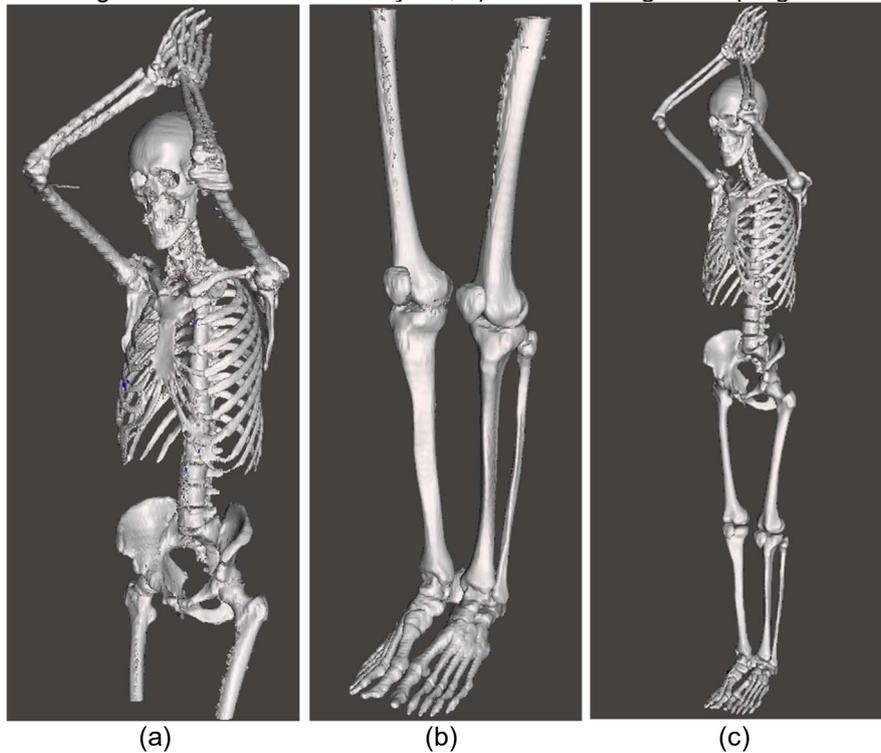
Seguindo a revisão realizada por Tümer (2021), verifica-se que o método de impressão mais comumente empregado é conhecido como Extrusão de Material. Nesse contexto, a adoção desse método específico foi determinante para a definição dos parâmetros de produção do presente projeto.

A impressão 3D foi realizada usando uma impressora modelo Creality Ender-3 Pro, com materiais específicos para ossos (PLA) e para estruturas flexíveis (TPU). Seguindo os conceitos abordados por Volpato (2017), dentre os diversos parâmetros de impressão ajustados, os de maior impacto nos resultados incluem variações na espessura das

camadas (0,12 mm a 0,16 mm), na definição da espessura das paredes (0,28 mm a 0,32 mm para superfícies externas e 0,4 mm a 0,6 mm para internas), nas velocidades de impressão (30 mm/s a 45 mm/s para preenchimento interno e 12 mm/s a 20 mm/s para paredes externas), e a introdução de suportes de geometria de árvore, cuja abordagem atua de forma mais orgânica a superfície dos modelos em regiões com inclinação acima de 65°. A temperatura de extrusão do material foi de 202° C, para o PLA, e 215° C, para o TPU, apresentando um acréscimo de 10° C em ambos materiais para a impressão da primeira camada, conceito também aplicado na temperatura da mesa de impressão para o PLA, cuja primeira camada atinge 70 °C e o restante 60° C, diferente das impressões de TPU, cuja mesa permanece em 80° C constantemente.

A montagem incluiu componentes de fixação e posicionamento impressos, como um suporte da sínfise púbica, articulações intervertebrais, articulações coxofemorais e glenomerais, e componentes não impressos como cola de alta adesão e parafusos.

**Figura 1 – Imagens do processo de desenvolvimento:** a) Modelo tomográfico superior sem correções; b) Modelo tomográfico inferior sem correções; c) Modelo corrigido no programa Meshmixer



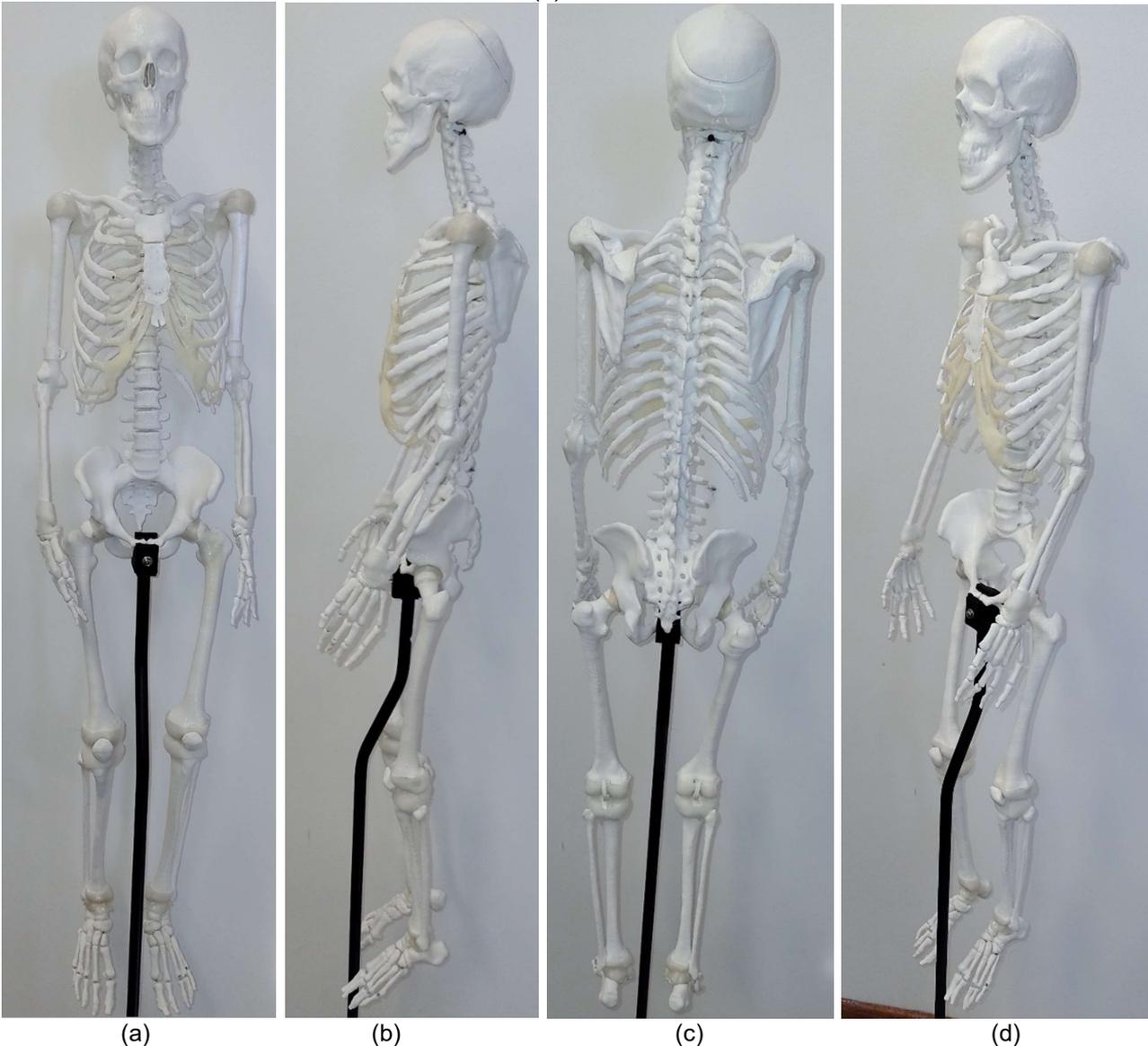
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram criados dois conjuntos de modelos tridimensionais, um modelo ósseo original, constituído por 115 componentes, divididos entre ossos e conjuntos ósseos, e um modelo com modificações para montagem, constituindo 151 componentes divididos entre ossos, cartilagens e estruturas de montagem. Os arquivos foram disponibilizados para download gratuito, permitindo estudos personalizados e pesquisas relacionadas a articulações e

conjuntos ósseos. Além disso um esqueleto completo na escala 1:2 foi impresso para validar os biomodelos gerados (Figura 2).

**Figura 2 – Esqueleto humano impresso em PLA e TPU:** (a) Vista Frontal; (b) Vista Lateral; (c) Vista Posterior; (d) Vista Isométrica



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

O modelo físico foi desenvolvido tanto como prova de conceito e teste de técnicas de impressão quanto para fins didáticos em instituições de ensino. Na Universidade Federal do Paraná (UFPR), o modelo será submetido a testes em salas de aula, permitindo que estudantes de ensino superior o manuseiem e analisem, com resultados preliminares baseados na avaliação visual e tátil dos professores e alunos que acompanharam o projeto, indicando seu potencial como ferramenta de ensino. No entanto, devido à priorização da otimização dos mecanismos de encaixe dos ossos para montagem, o modelo é funcional em parte, mas limitado em sua dinamicidade, especialmente na caixa torácica. Embora possa manter uma configuração estática, o modelo oferece pouca flexibilidade em termos



de movimentação de componentes específicos, o que poderia ser desejável para fins didáticos.

## CONCLUSÃO

Através da bibliografia e pesquisas anatômicas acerca da estrutura óssea humana, o biomodelo apresenta geometrias, proporções e dimensões dentro do esperado, evidenciando a fidelidade anatômica à qual o projeto visava alcançar, sendo futuramente comprovado por meio de testes de uso didático. A escolha do meio de produção dos modelos, baseado no uso de impressão 3D por extrusão de material, atendeu as demandas geométricas dos ossos e cartilagens, além de permitir a reprodutibilidade. A criação de estruturas complexas e com qualidade suficiente para evidenciar as características anatômicas foi possível, em grande parte, pelo uso dos suportes orgânicos.

Baseado em revisões literárias, há oportunidade para melhorias e trabalhos futuros na otimização dos métodos de impressão, adição de variações anatômicas e dos mecanismos de encaixe. O biomodelo oferece uma alternativa para o ensino e pesquisa, permitindo a extensão do estudo e desenvolvimento de componentes da anatomia humana, agregando riqueza anatômica ao modelo.

## Material suplementar

Os arquivos referentes ao biomodelo estarão disponíveis no site oficial do laboratório do Núcleo de Manufatura Aditiva e Ferramental (NUFER). Para consulta a informações complementares do desenvolvimento do projeto, listas de componentes e ossos produzidos, acesse o link: <https://drive.google.com/drive/folders/1SUHz9WNfqXNv9EnTIEJonCAqvQkV0sCM?usp=sharing>.

## Agradecimentos

Agradecemos ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de produtividade em desenvolvimento tecnológico e extensão inovadora (DT2) e à Fundação Araucária pela concessão da bolsa de extensão.

## Conflito de interesse

Ao decorrer do projeto, não houveram conflitos de interesse.



## REFERÊNCIAS

BORBOREMA, MARIA DE LOURDES; QUELUZ, DAGMAR DE PAULA; VANRELL, JORGE PAULETE. "Determinação da estatura por meio da medida de ossos longos dos membros inferiores e dos ossos da pelve", Odonto, 2010.

CALAZANS, NATÁLIA CONTREIRAS. "O Ensino e o Aprendizado Práticos da Anatomia Humana: Uma Revisão de Literatura". Monografia, Faculdade de Medicina da Bahia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, 2013.

CORDEIRO, ROGÉRIO GUIMARÃES; MENEZES, RICARDO FERNANDES. "Lack of Corpses for Teaching and Research". Revista Brasileira de Educação Médica, São Paulo State Health Secretariat, São Paulo, São Paulo, Brazil. Volume 43, Número 1 Supl. 1, p. 579-587, 2019.

NETTER, FRANK H. "Netter: Atlas de anatomia humana". Rio de Janeiro: GEN Guanabara Koogan, 2018. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788595150553>.

REIS, D. D. A. L. DOS; GOUVEIA, B. L. R.; ALCÂNTARA, B. M. DE; et al. Biomodelos Ósseos Produzidos por Intermédio da Impressão 3D: Uma Alternativa Metodológica no Ensino da Anatomia Veterinária. Revista de Graduação USP, v. 2, n. 3, 2017.

SOBOTTA, JOHANNES. Sobotta atlas de anatomia humana: cabeça, pescoço e neuroanatomia. 23. ed RIO DE JANEIRO: Guanabara Koogan, 2015, v3 p.

TÜMER, EDA HAZAL; ERBIL, HUSNU YILDIRIM. Extrusion-Based 3D Printing Applications of PLA Composites: A Review. Department of Chemical Engineering, Gebze Technical University, 41400 Gebze, Kocaeli, Turkey, 2021.

VOLPATO, NERI. Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D. São Paulo, SP: Blucher, 2017. 400 p. ISBN 9788521211501.

ZÓFOLI, MARIANA BISCARO. "Avaliação de Métodos Alternativos para Conservação de Peças Anatômicas e Suas Aplicações Conscientes no Laboratório de Anatomia Animal". Dissertação de mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2017.