



B1

ISSN: 2595-1661

ARTIGO ORIGINAL

Listas de conteúdos disponíveis em [Portal de Periódicos CAPES](#)

Revista JRG de Estudos Acadêmicos

Página da revista:

<https://revistajrg.com/index.php/jrg>

ISSN: 2595-1661

Revista JRG de
Estudos Acadêmicos

Protótipos anatômicos em impressão 3D de medula espinal

3D printed anatomical prototypes of the spinal cord

DOI: 10.55892/jrg.v7i14.1053

ARK: 57118/JRG.v7i14.1053

Recebido: 03/05/2024 | Aceito: 29/05/2024 | Publicado on-line: 30/05/2024

Matheus Adrian Monteiro Dongo¹

<https://orcid.org/0009-0000-3023-8069>

<https://lattes.cnpq.br/6002061582849630>

Universidade Federal do Paraná, UFPR, Brasil.

E-mail: matheus.dongo@gmail.com

Leonardo de Freitas Cardoso²

<https://orcid.org/0000-0003-1416-3049>

<https://lattes.cnpq.br/4441228447715689>

Universidade Federal do Paraná, UFPR, Brasil.

E-mail: leonardo_freitascardoso@hotmail.com

Dayane Kelly Sabec-Pereira³

<https://orcid.org/0000-0002-8886-4668>

<https://lattes.cnpq.br/8767191975131395>

Associação de Ensino, Pesquisa e Extensão Biopark – Faculdade Biopark, PR, Brasil

E-mail: dayane.pereira@bpkedu.com.br

Kleber Fernando Pereira⁴

<https://orcid.org/0000-0002-5102-6273>

<https://lattes.cnpq.br/4779531102983799>

Universidade Federal do Paraná, UFPR, Brasil.

E-mail: kleber.ufpr@gmail.com

Resumo

A anatomia humana é considerada uma base essencial para a formação médica. Entretanto, existem dificuldades de aquisição de estruturas cadavéricas para o seu estudo, sobretudo quando se trata de estruturas neuroanatômicas, as quais também apresentam grande dificuldade para seu manuseio e dissecação devido à sua fragilidade. Diante dessas dificuldades, meios alternativos, como uso da impressão 3D para a fabricação de peças anatômicas, estão se desenvolvendo ao longo dos últimos anos. Destarte, após o levantamento de que as principais demandas dentro do laboratório de anatomia do curso de medicina UFPR Campus Toledo são estruturas do sistema nervoso central, o objetivo desta pesquisa foi confeccionar

¹ Atualmente, acadêmico de Medicina UFPR Campus Toledo (PR), Ensino Fundamental concluído no Colégio Platão Maringá (PR), Ensino Médio completo no Colégio Marista de Maringá (PR), sendo nesta instituição bolsista do PIBIC-JR da PUC-PR por duas vezes consecutivas, primeiramente em Saúde (Nutrição) e depois em História.

² Graduação em andamento em Medicina pela Universidade Federal do Paraná, UFPR, Brasil.

³ Doutorado em Ciência Animal pela Universidade Federal de Goiás, com linha de pesquisa em Patobiologia e morfofisiologia animal, experimental e comparada e tese na área de Neuroanatomia comparativa (2020). Mestre em Ciências Aplicadas à Saúde pela Universidade Federal de Jataí (2015). Especialista em Inovação e Tendências da Educação pelo Instituto Ânima (2021) em parceria com a MIF Academy da Soprano (Finlândia), com imersão em Metodologias Ativas. Especialista em Anatomia e Patologia Associada pela Faculdade Unyleya (2018). Graduada em Farmácia pelo Centro Universitário de Maringá (2005)

⁴ Graduado em Ciências Biológicas pelo Centro Universitário Internacional, Especialista em Neuroanatomia, Especialista em Anatomia Funcional, Especialista em Neuropsicopedagogia Institucional, Clínica e Hospitalar, Especialista em Transtorno do Espectro do Autismo, Especialista em Docência e Gestão do Ensino Superior, Mestre em Ciências Morfofuncionais pela Universidade de São Paulo, Doutor e Pós-doutor na área de Anatomia pela Universidade Federal de Goiás - Goiânia.

estruturas neuroanatômicas por meio da impressão 3D a fim de promover neste laboratório um ensino diferenciado e complementar em neuroanatomia. Desse modo, as estruturas da medula foram detalhadas em: um protótipo de medula espinal completa contendo sulcos, canal central, substância branca, substância cinzenta, fissura mediana anterior e intumescências; quatro cortes transversais da medula espinal nas regiões cervical, torácica, lombar e sacral com diferenciação das proporções de substância branca e cinzenta ao longo dessas regiões; um corte transversal da substância branca apresentando seus tratos e fascículos; um corte transversal da substância cinzenta mostrando suas lâminas de I a X e colunas. Para essa confecção, a metodologia utilizada foi moldes em 3D pelo programa Fusion 360 disponibilizado gratuitamente para acadêmicos da instituição a partir de imagens obtidas de livros de neuroanatomia inclusos no acervo digital da biblioteca da UFPR. Posteriormente, esses modelos foram impressos através da impressora 3D com materiais termoplásticos em parceria com o Biopark. Por fim, esperamos contribuir e divulgar não apenas para a UFPR, como também para outras instituições a importância do aprendizado inovador e tecnológico, na expectativa também de que novos estudos sejam realizados para avaliar a abordagem prática das peças no meio acadêmico.

Palavras-chave: Neuroanatomia; Impressão 3D; Métodos alternativos de aprendizagem; Medula espinal; Protótipos

Abstract

Human anatomy is considered an essential basis for medical training. However, there are difficulties in acquiring cadaveric structures for study, especially when it comes to neuroanatomical structures, which are also very difficult to handle and dissect due to their fragility. Faced with these difficulties, alternative means, such as the use of 3D printing to manufacture anatomical parts, have been developed in recent years. Thus, after discovering that the main demands within the anatomy laboratory of the UFPR Toledo Campus medical course are structures of the central nervous system, the aim of this research was to make neuroanatomical structures using 3D printing in order to promote differentiated and complementary teaching in neuroanatomy in this laboratory. Thus, the structures of the spinal cord were detailed in: a prototype of the complete spinal cord containing sulci, central canal, white matter, gray matter, anterior median fissure and intumescences; four cross-sections of the spinal cord in the cervical, thoracic, lumbar and sacral regions with differentiation of the proportions of white and gray matter along these regions; a cross-section of the white matter showing its tracts and fascicles; a cross-section of the gray matter showing its laminae from I to X and columns. The methodology used to make these models was 3D molds using the Fusion 360 program, which is available free of charge to students at the institution, based on images obtained from neuroanatomy books included in the UFPR library's digital collection. These models were then printed using a 3D printer with thermoplastic materials in partnership with Biopark. Finally, we hope to contribute and spread the word not only to UFPR, but also to other institutions about the importance of innovative and technological learning, in the expectation that further studies will be carried out to evaluate the practical approach of the parts in the academic environment.

Keywords: *Neuroanatomy; 3D printing; Alternative learning methods; Spinal cord; Prototypes.*

1. Introdução

Após a criação da primeira impressora 3D em 1984 por Chuck Hull no estado da Califórnia por meio da Estereolitografia (SLA), o uso dessa nova tecnologia se expandiu extensivamente ao ponto de também abranger a área da saúde (Paynes; Silva, 2020). Nesse contexto, dentro da esfera da saúde, citam-se algumas possíveis aplicações médicas: fabricação de próteses, implantes, modelos anatômicos, pesquisa farmacêutica, instrumentos cirúrgicos, tecidos vivos e órgãos (Romero; Aguiar, 2015; Matozinhos *et al.*, 2017).

Em relação aos modelos anatômicos fabricados por impressão 3D, é possível utilizar esse material para promover um ensino diferenciado e complementar da anatomia humana, tendo em vista a dificuldade para adquirir peças cadavéricas como objetos de estudo devido a problemas éticos, financeiros e de saúde que permeiam esse âmbito (Mcmenamin *et al.*, 2014). Consequentemente, a neuroanatomia que é um ramo da anatomia humana responsável pelo estudo do sistema nervoso central (SNC) e sistema nervoso periférico (SNP), além de apresentar um grande problema no manuseio e dissecação das estruturas neuroanatômicas devido a sua fragilidade, também sofre dessa limitação de acesso às peças cadavéricas (Silva *et al.*, 2017).

Nesse ambiente de adversidades, métodos alternativos de aprendizagem como livros, textos, atlas, modelos sintéticos, modelos anatômicos confeccionados artesanalmente, roteiros de aulas práticas, peças teatrais, uso de redes sociais, *softwares*, exames de imagem e laboratório digital já são utilizados para o ensino da neuroanatomia (Silva *et al.*, 2017).

Contudo, no contexto do laboratório de anatomia da UFPR Campus Toledo, métodos de aprendizagem geralmente recorridos para o estudo da neuroanatomia, como o atlas de anatomia humana (figuras e imagens), por não oferecem modelos palpáveis, dificultam a compreensão dessas estruturas tridimensionais em seu tamanho real. Além disso, nesse laboratório não há peças de silicone disponíveis das estruturas da medula espinal e de seus cortes (cervical, torácico, lombar e sacral), já que sua aquisição possui um custo muito elevado para a universidade.

Logo, a escassez dessas estruturas poderia dificultar o entendimento de síndromes medulares, como a síndrome de Brown-Séquard, por exemplo. Visto que nesta síndrome é necessário compreender que uma hemissecção medular comprometerá tanto as vias ascendentes (aférentes/sensitivas) quanto vias descendentes (eferentes/motoras) da medula. Nesse âmbito, o aluno precisa saber que as vias ascendentes normalmente acometidas são os tratos do fascículo grácil e cuneiforme relacionados a sensibilidade profunda e os tratos espinotalâmicos relacionados a sensibilidade superficial. Já nas vias descendentes, ele deve lembrar que o trato corticoespinal é o mais acometido, estando relacionado com a motricidade voluntária. Em adição a isso, o acadêmico precisa projetar no seu imaginário o percurso dessas vias, recordando que o cruzamento das vias relacionadas com a motricidade voluntária e sensibilidade profunda estão a nível de bulbo e o cruzamento das vias relacionadas a sensibilidade superficial já ocorrem a nível de medula. Somente após toda essa assimilação, será possível fazer uma correlação com quadro clínico do paciente portador dessa síndrome (perda de motricidade voluntária e sensibilidade profunda ipsilateral à lesão e perda de sensibilidade superficial contralateral à lesão).

Diante dessa notória complexidade de construção de um imaginário tridimensional das estruturas neuroanatômicas e seu impacto no raciocínio clínico, o presente estudo propõe de forma inovadora e tecnológica a confecção de peças da medula espinal por meio da impressão 3D para fins didáticos, os quais poderiam ser

incluídos dentro dos métodos alternativos de aprendizagem nas universidades que não possuem peças cadavéricas para estudo.

2. Metodologia

O estudo enquadra-se como pesquisa aplicada, concentrando-se em torno de problemas no aprendizado em neuroanatomia da UFPR Campus Toledo. Nesse sentido, além da identificação de problemas como a carência de peças neuroanatômicas no laboratório dessa instituição, o estudo busca por soluções como a impressão 3D dessas estruturas para melhor aproveitamento das atividades práticas de ensino nesse laboratório. Dessa maneira, caracteriza-se como uma investigação que procura construir novos conhecimentos, mantendo os objetivos práticos e visando gerar impacto no ensino da neuroanatomia, buscando proporcionar um melhor desempenho dos acadêmicos no aprendizado do SNC. Por conseguinte, vai ao encontro da proposta de uma pesquisa aplicada, a qual se baseia em um conjunto de atividades nas quais os conhecimentos prévios construídos são úteis para coletar, selecionar e processar os dados, buscando obter e confirmar os resultados, além de causar impacto (Fleury; Werlang, 2016).

Após identificação desse problema de aprendizado em neuroanatomia devido a carência de peças cadavéricas, as estruturas da medula espinal e seus cortes (cervical, torácico, lombar e sacral) foram levantadas como as principais demandas no laboratório de anatomia da UFPR Campus Toledo. Durante debate com professor orientador, essas estruturas foram elencadas como prioritárias em virtude de sua importância tanto para o estudo da neuroanatomia como também para raciocínio clínico na formação médica.

Concluída a primeira etapa de identificação do problema e a segunda etapa de escolha das principais peças, o estudo prosseguiu com mais três etapas. a terceira etapa constitui-se da revisão de literatura para o embasamento teórico do presente trabalho por meio de livros de neuroanatomia, principalmente em atlas anatômico para o molde das peças, e de artigos científicos nas bases de dados do Pubmed, Scielo e Google Acadêmico.

Em relação aos livros utilizados para pesquisa, parte pertencem ao acervo da biblioteca virtual Minha Biblioteca, disponível para os acadêmicos da Universidade Federal do Paraná - UFPR e os demais pertencem à coleção particular dos pesquisadores. Dentre os livros constam: Moore (2019), Netter (2021), Sobotta (2018), Tank e Gest (2009), Martin (2014), Martinez (2014) e Meneses (2011). No que diz respeito aos artigos, foram selecionados artigos em inglês, português e espanhol indexados pelos termos impressão 3D na medicina, funcionamento da impressora 3D, neuroanatomia com impressão 3D e modelos anatômicos com impressão 3D.

A quarta etapa foi a confecção do molde das peças neuroanatômicas baseadas no atlas, elencando as principais estruturas da medula espinal como: sulco mediano posterior, sulcos intermédios posteriores, sulcos póstero-laterais, sulcos ântero-laterais, canal central, substância branca, substância cinzenta, fissura mediana anterior, intumescência cervical e intumescência lombossacral; os cortes transversais da medula espinal nas regiões cervical, torácica, lombar e sacral, permitindo a diferenciação das proporções de substância branca e cinzenta ao longo dessas regiões.

Outrossim, foram confeccionados também cortes adicionais para visualização das estruturas dentro da substância branca: tratos (reticuloespinal, rubroespinal, espinolivar, vestibuloespinal medial, vestibuloespinal lateral, corticoespinal anterior,

espinotalâmico, espinocerebelar e tectospinal) e fascículos (interfascicular, septomarginal, grácil, cuneiforme, próprios posteriores e próprios laterais); e estruturas presentes na substância cinzenta: lâminas de I a X e colunas anteriores, intermédias e posteriores.

O *software* utilizado para a criação dos moldes 3D foi o Fusion 360 fornecido gratuitamente para os estudantes pela Autodesk. Os primórdios de base para a formação da medula espinal completa e seus respectivos segmentos (cervical, torácico, lombar e sacral), incluindo os cortes adicionais, foram: figura 4.39 do livro de Moore (2022, p.126); figura 9.6 do livro de Meneses (2011, p. 92), figuras 12.74 e 12.75 do livro de Waschke (2018, p. 723-724).

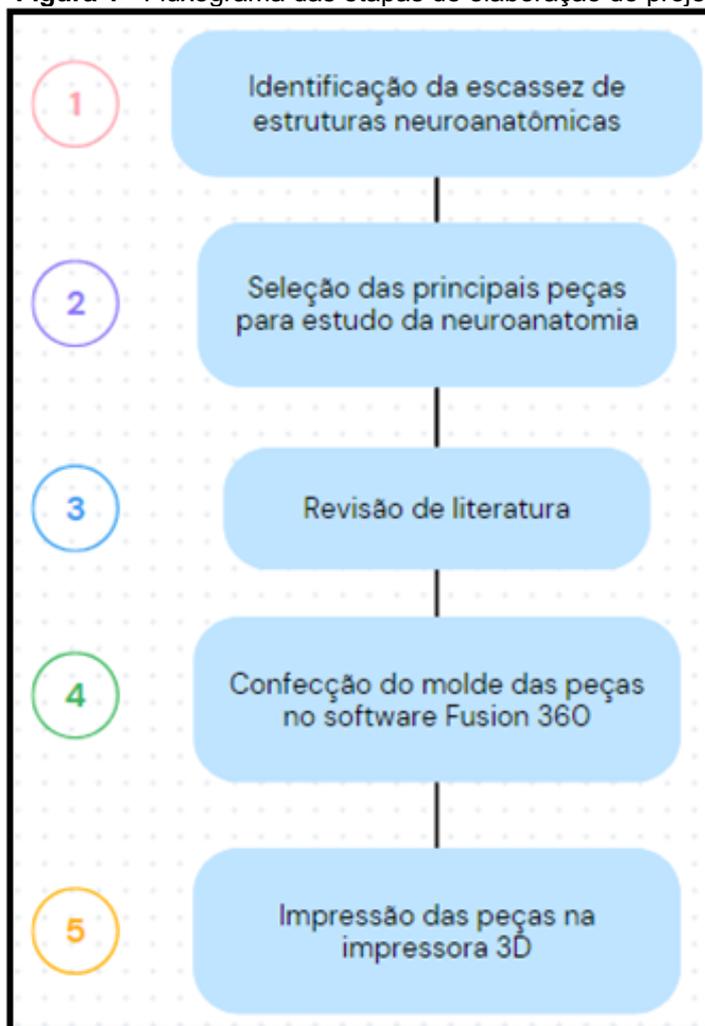
Feita a seleção das imagens presentes na literatura, essas foram salvas no *software* Fusion 360 e foram feitos os delineamentos das estruturas de interesse a partir delas. Para a medula espinal completa, a figura 4.39 do livro de Moore (2019, p.126) serviu como a *Centerline* de aproximadamente 40 cm de comprimento na criação do objeto sólido utilizando a ferramenta *Loft*, sendo as faces de conexão formadas a partir da figura 9.6 do livro de Meneses (2011, p. 92), variando em sua forma de acordo com a região (cervical, torácica, lombar e sacral) e em sua espessura de acordo com as intumescências (cervical e lombossacral), mantendo-se medidas em torno de 5 cm em seu maior diâmetro.

Em adição a isso, nos cortes transversais da medula espinal nas regiões cervical, torácica, lombar e sacral, utilizou-se a mesma figura 9.6 do livro de Meneses (2011, p. 92), empregada para as faces de conexão da medula completa, porém agora com medidas de aproximadamente 10 cm no maior diâmetro para os cortes cervical, torácico e lombar e 5 cm para o corte sacral. Em adição a isso, a diferenciação em relevo entre a substância branca e substância cinzenta foi feita a partir da ferramenta *Extrude*, com peças contendo em torno 5 mm de espessura.

Em relação aos cortes adicionais, para a fabricação das estruturas da substância branca e cinzenta foram utilizadas as figuras 12.74 e 12.75 do livro de Waschke (2018, p. 723-724), respectivamente. Ambas também mantiveram medidas similares de diâmetro e espessura dos cortes cervical, torácico e lombar, sendo a ferramenta *Extrude* aplicada para a diferenciação em relevo dos tratos e fascículos na substância branca e das lâminas I a X na substância cinzenta.

Após concluída a etapa de criação dos modelos no Fusion 360, a quinta e última etapa foi o processo de fatiamento utilizando o *software* Cura, que gerou instruções para a impressora 3D, permitindo a impressão das peças. A impressora 3D utilizada foi a Funmat HT, fabricada pela empresa chinesa Intamsys disponível no Laboratório de Manufatura Aditiva - Biopark e o material utilizado foi o ABS ou PLA conforme disponibilidade do laboratório.

Figura 1 - Fluxograma das etapas de elaboração do projeto



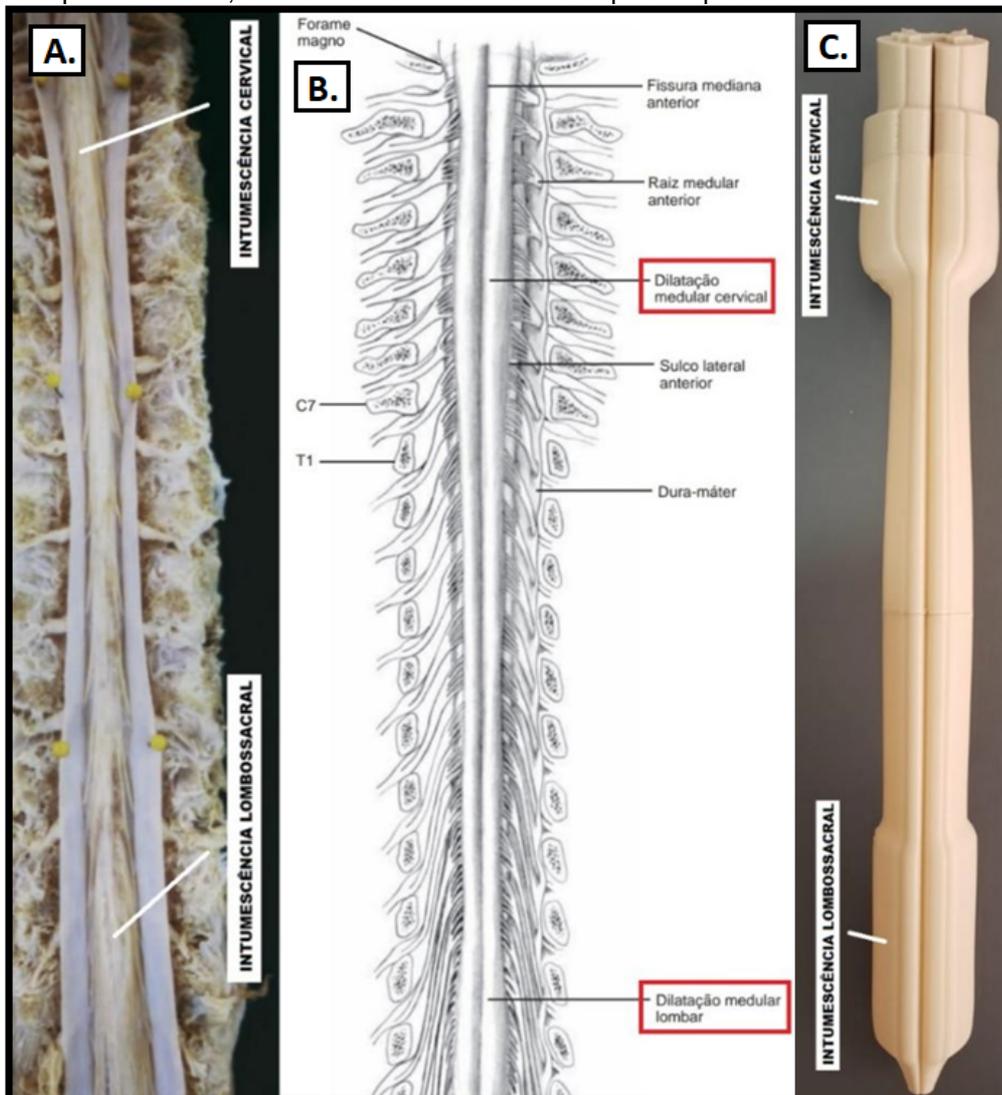
Fonte: elaborado pelos autores.

3. Resultados

Obtivemos um total de 7 peças impressas pela impressora 3D (uma medula espinal completa, um corte da medula cervical, um corte da medula torácica, um corte da medula lombar, um corte da medula sacral, um corte da medula com seus tratos e fascículos e um corte da substância cinzenta com suas lâminas).

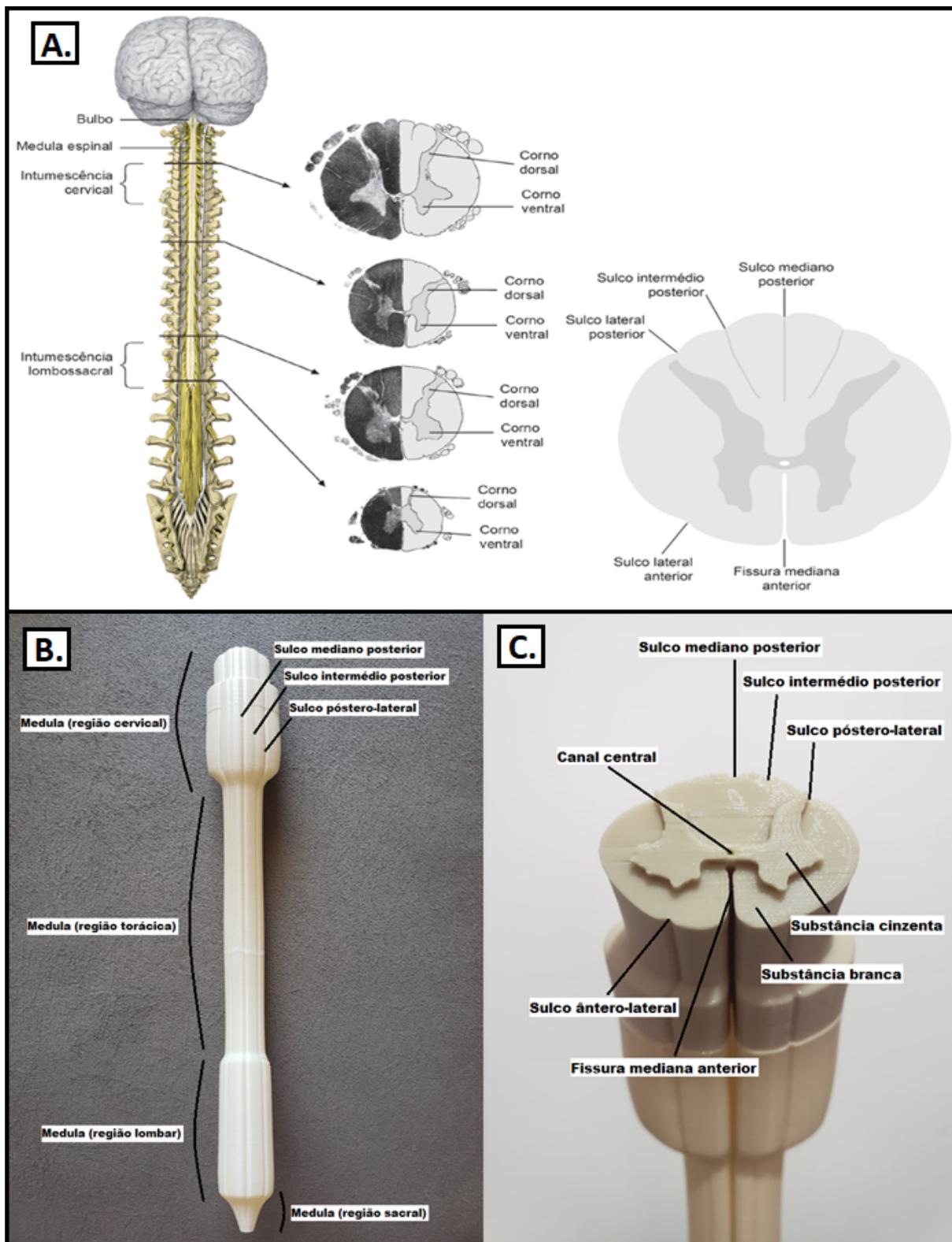
Na medula espinal completa, observamos as estruturas neuroanatômicas: sulco mediano posterior, sulcos intermédios posteriores, sulcos póstero-laterais, sulcos ântero-laterais, canal central, substância branca, substância cinzenta, fissura mediana anterior, intumescência cervical e intumescência lombossacral. A peça finalizada possui aproximadamente 40 cm de comprimento com variação em sua forma de acordo com a região (cervical, torácica, lombar e sacral) e em sua espessura de acordo com as intumescências (cervical e lombossacral), mantendo-se medidas em torno de 5 cm em seu maior diâmetro (FIGURA 2 e FIGURA 3).

Figura 2 - Medula espinal completa em vistas anteriores e posterior com suas intumescências (cervical e lombossacral) indicadas. A. Visão posterior da medula espinal na peça cadavérica; B. Visão anterior da medula espinal ilustrada; C. Visão anterior da medula espinal impressa em 3D.



Fonte: A e B – Meneses (2014, p. 89); C – elaborado pelos autores

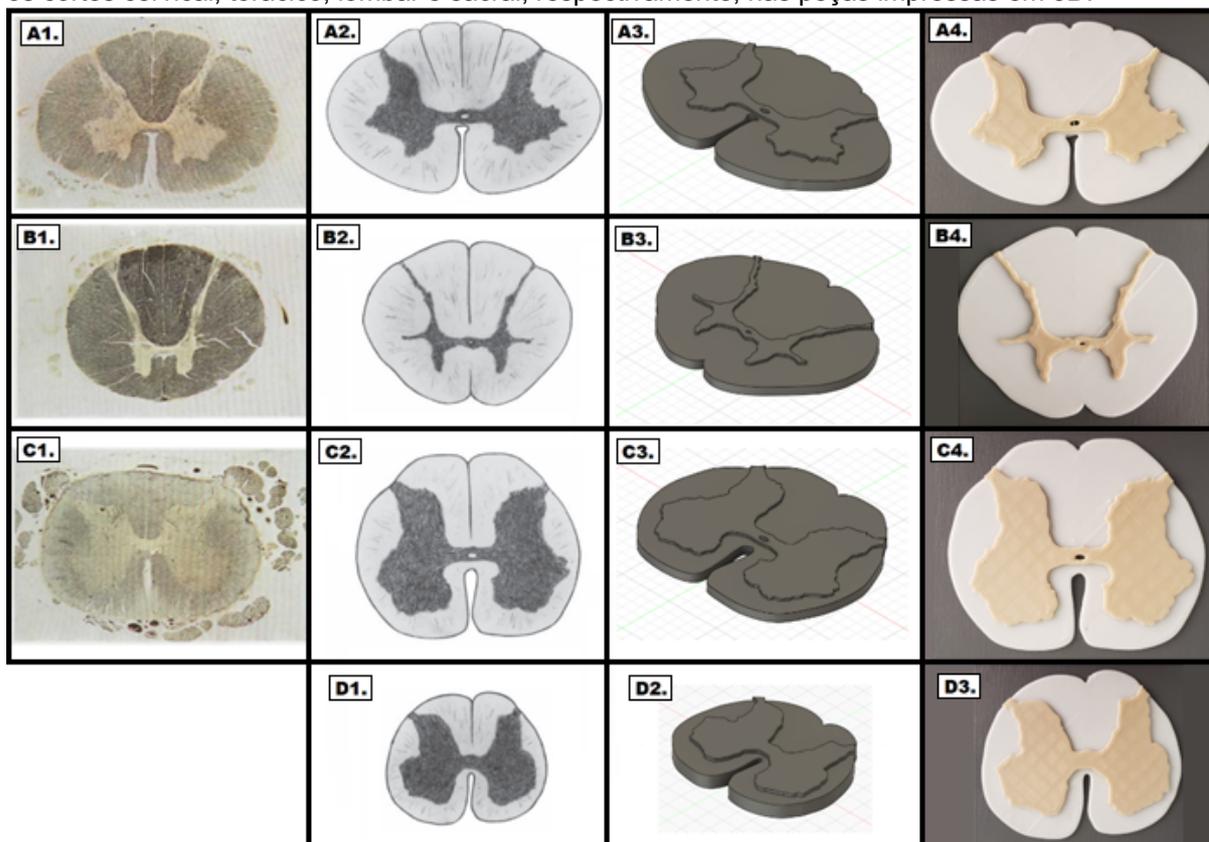
Figura 3 – Medula espinal em modelo ilustrativo e impresso com suas divisões longitudinais (sulcos e fissura), regiões (cervical, torácica, lombar e sacral) e estruturas (substância branca, substância cinzenta e canal central) indicadas. A. Ilustração da medula espinal; B. Visão posterior da medula espinal impressa em 3D; C. Visão superior da medula espinal impressa por impressão 3D.



Fonte: A – Martinez (2014, p. 143); B e C – elaborado pelos autores.

Nos cortes transversais da medula espinal nas regiões cervical, torácica, lombar e sacral foram feitas as diferenciações da substância branca e cinzenta por meio de relevo com peças em torno de 5 mm de espessura, sendo os cortes cervical, torácico e lombar com seu maior diâmetro medindo aproximadamente 10 cm e o corte sacral com seu maior diâmetro medindo aproximadamente 5 cm (FIGURA 4).

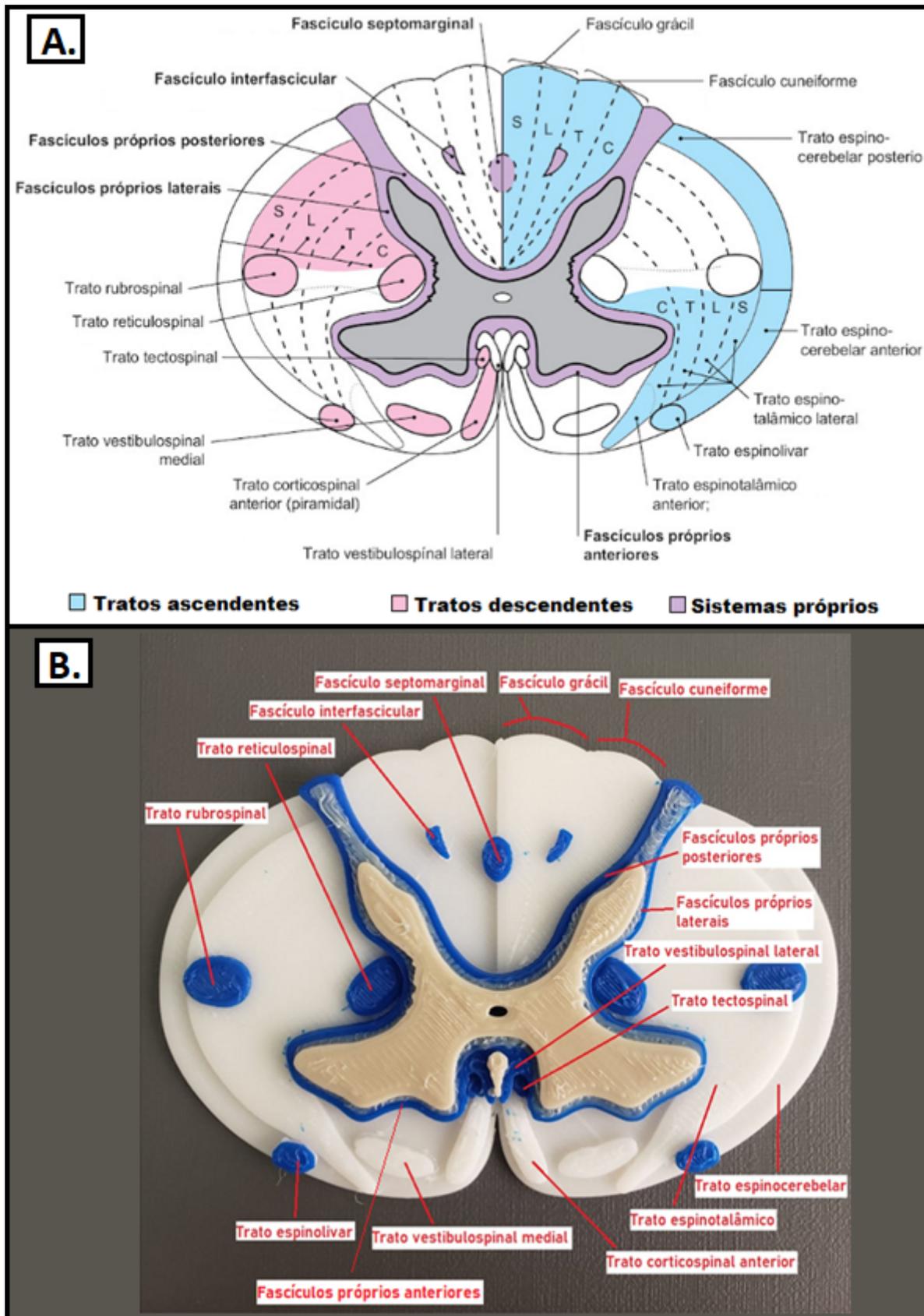
Figura 4 - Cortes da medula espinal. A1, B1, C1 representam os cortes cadavéricos cervical, torácico e lombar da medula humana; A2, B2, C2 e D2 representam os cortes cervical, torácico, lombar e sacral, respectivamente, nas formas ilustrativas; A3, B3, C3 e D3 representam os cortes cervical, torácico, lombar e sacral, respectivamente, nos modelos feitos pelo Fusion 360; A4, B4, C4 e D4 representam os cortes cervical, torácico, lombar e sacral, respectivamente, nas peças impressas em 3D.



Fonte: A1, B1 e C1 –Sobotta (2015, p.228); A2, B2, C2 e D1 – Meneses (2014, p. página 92); A3, A4, B3, B4, C3, C4, D2 e D3 – elaborado pelos autores

No corte da substância branca com seus tratos (reticuloespinal, rubroespinal, espinolivar, vestibuloespinal medial, vestibuloespinal lateral, corticoespinal anterior, espinotalâmico, espinocerebelar e tectospinal) e fascículos (interfascicular, septomarginal, grácil, cuneiforme, próprios posteriores e próprios laterais), diferenciamos essas estruturas neuroanatômicas por meio de relevo e mantivemos medidas similares aos cortes cervical, torácico e lombar, com seu maior diâmetro medindo aproximadamente 10 cm e espessura em torno de 5 mm (FIGURA 5).

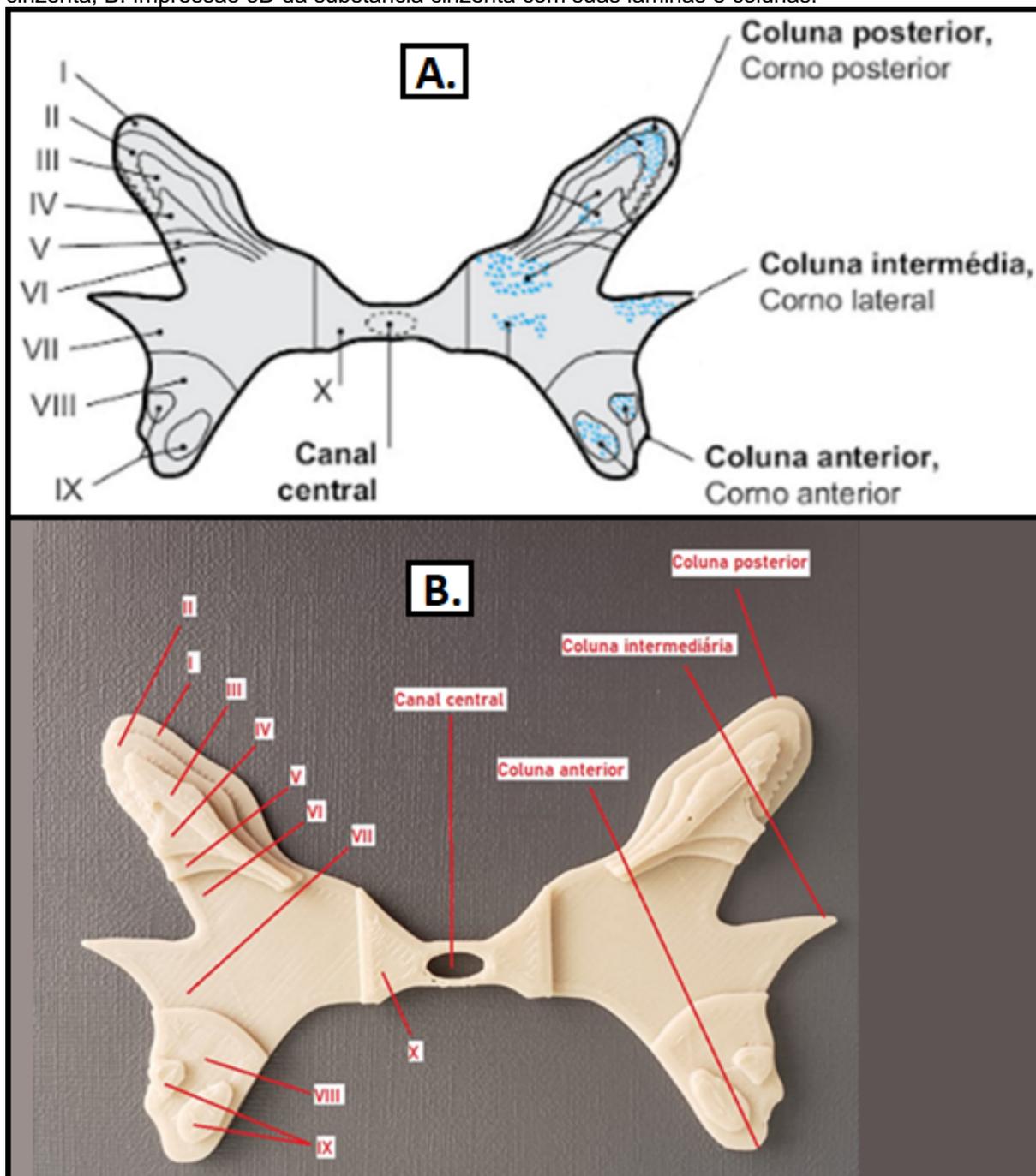
Figura 5 - Tratos e fascículos da medula espinal. A. Ilustração dos tratos e fascículos presentes na substância branca; B. Impressão 3D da substância branca com seus tratos e fascículos.



Fonte: A – Waschke (2019, p. 724); B – elaborado pelos autores

No corte da substância cinzenta foi esquematizado as estruturas das lâminas de I a X em relevo e a divisão da substância em colunas anteriores, intermédias e posteriores, sendo também mantida as medidas diâmetro de aproximadamente 10 cm e espessura em torno de 5 mm. (FIGURA 6).

Figura 6 - Lâminas e colunas da medula espinal. A. Ilustração das lâminas e colunas da substância cinzenta; B. Impressão 3D da substância cinzenta com suas lâminas e colunas.



Fonte: A – Waschke (2019, p. 723); B – elaborado pelos autores

4. Discussão

Dentre as várias possibilidades de uso da impressão 3D, os usos médicos, tanto real e potencial, incluem: fabricação de tecidos vivos e órgãos; uso farmacêutico e criação e personalização de próteses, implantes e modelos anatômicos. À frente dessas aplicabilidades da impressão 3D na medicina, também podemos citar possíveis benefícios conquistados a partir dessas aplicações, como: a customização e personalização de produtos médicos, medicamentos e equipamentos; aumento da eficácia de procedimentos conhecidos e aumento da reprodução das técnicas inovadoras (Matozinhos *et al.*, 2017).

Em relação ao seu funcionamento, as impressoras 3D se assemelham bastante as impressoras comuns utilizadas no dia a dia, sendo que suas principais diferenças são o material utilizado e o motor, o qual conta com um a mais na impressora 3D para regular a altura do objeto impresso. Para se realizar uma impressão 3D, é preciso ter primeiramente um modelo tridimensional do objeto em meio digital como nos *softwares* de CAD (*Computer Aided Design*), onde o objeto é desenvolvido e preparado para ser impresso. Quando há conexão entre a impressora e o computador que possui o *software*, ocorre o funcionamento de um dispositivo mecânico que dispõe e une minúsculas partículas de um ou mais materiais em finas camadas (Pinheiro *et al.*, 2018).

Dessa maneira, o *software* tem por função analisar o arquivo CAD e determinar como ele será impresso, fatiando o objeto em finas camadas (o máximo que a impressora consegue manipular) e desenvolver uma estrutura de apoio que tenha o máximo de rigidez com o mínimo de material necessário. Como resultado, essas camadas são sobrepostas uma a uma até a formação do objeto desejado, sendo esse objeto maciço ou oco. O molde que será impresso pode ser confeccionado de duas maneiras. A primeira, por meio de um *software*, o que exige conhecimentos mais aprofundados sobre o programa e modelagem digital. A segunda, por meio do escaneamento do objeto a ser copiado, podendo ser realizado pelo *smartphone*, *tablet* ou *kinect* (Pinheiro *et al.*, 2018).

Nesse viés, a eficiência da impressão 3D no aprendizado da anatomia humana vem sendo descritas por muitos autores na literatura. Cada vez mais modelos anatômicos são criados por impressoras 3D a fim de somar conhecimentos nos estudos da anatomia humana comparados a utilização do estudo tradicional (Mcmenamin *et al.*, 2014; Costello *et al.*, 2014; Lim *et al.*, 2016).

No que tange o uso da impressora 3D para a fabricação de peças neuroanatômicas, não foram encontrados modelos tridimensionais de medula espinal e seus cortes em repositórios 3D online. Nessa situação, foi preciso um estudo aprofundado dessas estruturas e sua elaboração no *software* do Fusion 360 a partir de imagens 2D presentes na literatura.

Anatomicamente, a medula espinal é uma estrutura cilíndrica e levemente achatada no sentido anteroposterior a qual se caracteriza como um condutor de informações que permite a comunicação entre o cérebro e a periferia (Moore, 2019; Cho, 2015). Desse modo, a medula espinal completa foi impressa respeitando essa anatomia mediante a ligação das faces que representavam os cortes cervical, torácico, lombar e sacral da figura 9.6 do livro de Meneses (2011, p. 92), por meio do eixo que percorreu a figura 4.39 do livro de Moore (2022, p. 126), favorecendo a verossimilhança com as peças cadavéricas e ilustrações presentes na literatura.

Além disso, a medula é uma continuação do bulbo (medula oblonga) localizada no canal espinal sem percorrer por completo o canal vertebral, sendo a parte caudal do tronco encefálico e podendo chegar entre 42 a 45 cm de comprimento em adultos

(homens em torno de 45 cm e mulheres em torno de 43 cm) ao se estender do forame magno no osso occipital até o nível da vértebra L I ou L II (Moore, 2019; Sobotta, 2018; Bican *et al.*, 2013). Em vista disso, o tamanho escolhido em torno de 40 cm na impressão da medula completa propicia também sua verossimilidade com as peças cadavéricas, permitindo uma melhor noção de comprimento da estrutura para os acadêmicos, pois está o mais próximo do real ao se considerar um indivíduo adulto.

Contudo, um grande desafio desse trabalho foi a escassez de cortes para a montagem da medula espinal completa, pois com apenas um corte de cada região (cervical, torácica, lombar e sacral), o *software* do programa Fusion 360 não conseguia unir todos os cortes preservando a localização dos sulcos e da fissura mediana anterior, precisando fazer várias adaptações ao longo da estrutura para que o programa permitisse a formação do objeto sólido. Em outras palavras, tivemos apenas poucas peças de um quebra-cabeça, sendo que para formar a imagem completa desse quebra-cabeça, foram necessários adaptações da maior parte das peças faltantes com base nas poucas peças disponíveis, as quais proporcionaram uma ideia de como seria a continuação da imagem, sendo boa parte feita de maneira intuitiva e criativa, juntamente com nosso conhecimento prévio em neuroanatomia.

Outrossim, mesmo não havendo limites nítidos entre os segmentos da medula espinal, nas regiões cervical e lombar há alargamentos claramente aparentes que dão origem para as raízes nervosas de braços e pernas, respectivamente. Assim, esses alargamentos nas duas regiões relacionadas com a inervação dos membros são nomeados de intumescência cervical, a qual se estende dos segmentos C4 a T1 e supre os membros superiores pelo plexo braquial de nervos, e intumescência lombossacral, a qual se estende dos segmentos T11 a S1 e supre os membros inferiores pelos plexos lombar e sacral de nervos (Moore, 2019; Bican *et al.*, 2013). Todavia, em nenhuma das literaturas investigadas foram encontrados os valores concretos de aumento das intumescências da medula espinal em relação as outras partes da medula. Dessa forma, o aumento também foi pensado e adaptado das imagens em 2D presentes na literatura, deixando bem nítidas as dilatações nessa área para uma melhor didática possível.

Ao se analisar a medula espinal por meio de um corte transversal, podemos observar um sulco mediano posterior e fissura mediana anterior que divide a medula em metades simétricas, um canal central que conduz o LCR e um núcleo em formato de H constituído células nervosas, axônios e dendritos da substância cinzenta o qual é circundado por uma substância branca constituída de axônios longitudinalmente que formam os tratos ascendentes e descendentes (Netter, 2021; Cho, 2015; Sheerin, 2004). Como resultado, a impressão final da medula espinal completa em comparação com a peça cadavérica e as demais ilustrações presentes na literatura (FIGURA 1 e FIGURA 2) foi planejada com uma melhor didática devido a maior definição dos sulcos juntamente com a fissura e uma evidente diferenciação de relevo entre a substância branca e substância cinzenta na vista superior da medula.

Adicionalmente, ao se comparar diferentes níveis de secção transversal da medula espinal, além da alteração do diâmetro da medula espinal, também se observa uma diminuição da quantidade de substância branca no sentido craniocaudal. Logo, ela é melhor desenvolvida na medula cervical, pois há um aumento de vias sensitivas que se unem na medula espinal de caudal para cranial e, paralelamente, há uma diminuição na quantidade de vias motoras que deixam a medula espinal, sendo as regiões de intumescência as que possuem a maior quantidade de substância cinzenta em decorrência do maior número de nervos necessários para a inervação da musculatura. (Netter, 2021; Sobotta, 2018; Sheerin, 2004).

Desse modo, como não foi possível visualizar essa mudança de proporcionalidade da substância branca e substância cinzenta na impressão da medula espinal completa, foram feitas impressões de cortes transversais das regiões cervical, torácica, lombar e sacral. Pensando em uma boa visualização dos materiais para os acadêmicos, as estruturas possuem 10 cm no seu maior diâmetro, com exceção do corte sacral, que possui 5 cm no seu maior diâmetro. O corte sacral foi feito propositalmente menor, para lembrar ao aluno que essa região é proporcionalmente menor em relação aos demais cortes.

Em comparação com os cortes cadavéricos da medula humana e as imagens ilustrativas dos cortes cervical, torácico, lombar e sacral (FIGURA 3), os cortes dessas regiões impressos foram reproduzidos de maneira bem fidedigna aos cortes reais e aos modelos de base ilustrativos, mostrando nos moldes impressos uma diferenciação da substância branca e cinzenta por meio do relevo e da coloração distinta, além da proporção diferente entre essas substâncias ao longo dos cortes para complementar o material da medula espinal completa.

Em relação a estrutura da substância branca, as fibras presentes na substância branca podem ser subdivididas naquelas que permanecem na medula espinal (aparelho próprio) e aquelas que estabelecem uma conexão com outras partes do SNC (aparelho de conexão ou de condução). Assim, os tratos ascendentes (aférentes), os quais possuem fibras proprioceptivas e fibras de condução da dor, e os tratos descendentes (eferentes), os quais possuem fibras autônomas e fibras nervosas motoras, estão distribuídos entre os funículos medulares espinais, sendo que ambos os tratos exibem uma estrutura somatotópica e compõem o aparelho de conexão ou de condução. Dentre os tratos ascendentes, destacam-se como os mais proeminentes o trato espinotalâmico (dor, temperatura e toque grosseiro) e via feita pela coluna posterior do lemnisco medial (vibração, propriocepção e toque fino) onde estão contidos o fascículo grácil e cuneiforme. Por outro lado, dentre os tratos descendentes, destaca-se como o mais proeminente o trato corticoespinal (piramidal), frequentemente referido como um trato longo devido a sua passagem ininterrupta do córtex motor primário no giro pré-central ao corno anterior (Martinez, 2014; Sobotta, 2018; Cho, 2015).

Nessa perspectiva, como os tratos e fascículos da substância branca não são possíveis de serem visualizados nos cortes cadavéricos (FIGURA 3), houve a necessidade de um novo corte da medula com apresentação dos tratos e fascículos usando como modelo a figura 12.74 do livro de Waschke (2018, p. 723). Em comparação com o modelo utilizado do livro (FIGURA 4), a peça impressa obteve ótima similaridade, apresentando seus tratos e fascículos por meio de diferentes relevos aliado a outra coloração.

A substância cinzenta, especialmente na porção toracolombar, divide-se em coluna posterior, coluna lateral e coluna anterior. Esses termos podem ser substituídos nessa mesma ordem por coluna posterior, coluna intermediária (lateral) e coluna anterior quando se descreve esta área tridimensionalmente. Ademais, as várias centenas de milhares de neurônios por segmento da substância cinzenta estão alojadas dentro de uma base citoarquitetônica denominada de lâminas (I-X). Desse modo, a coluna posterior abrange as lâminas de I-VI, a coluna intermediária abrange a lâmina VII e a coluna anterior abrange as lâminas VII-IX, sendo a lâmina X proximal ao canal central (Sobotta, 2018; Hochman, 2007).

Da mesma maneira que os tratos e fascículos da substância branca, as estruturas presentes na substância cinzenta, principalmente as lâminas de I a X, não são possíveis de serem visualizadas nos cortes cadavéricos (FIGURA 3), sendo

necessário um novo corte da medula com apresentação das lâminas e divisão das colunas usando como modelo a figura 12.75 do livro de Waschke (2018, p. 724). Em comparação com o modelo utilizado do livro (FIGURA 5), a peça impressa também apresentou ótima similaridade, com as lâminas de I a X bem definidas por meio do relevo e as colunas anterior, intermediária e posterior bem delimitadas bilateralmente.

4. Considerações Finais

Face ao exposto, apesar das dificuldades presentes em razão da complexidade das estruturas neuroanatômicas, foi possível a confecção de peças neuroanatômicas por meio da impressão 3D para fins didáticos, totalizando 7 peças (um protótipo de medula espinal completa, um corte da medula cervical, um corte da medula torácica, um corte da medula lombar, um corte da medula sacral, um corte da medula com seus tratos e fascículos e um corte da substância cinzenta com suas lâminas).

Desse modo, o uso da impressão 3D se mostra promissor para diversas áreas, especialmente para a área da saúde, complementando os recursos disponíveis para os estudos em neuroanatomia. Outrossim, com as peças já confeccionadas, agora será preciso mais estudos que demonstrem a aplicabilidade dessas peças no melhor desempenho em avaliações dos acadêmicos do curso de medicina da UFPR Campus Toledo.

Referências

BIALY, Safaa El; WENG, Robin; JALALI, Alireza. Development of a 3D printed neuroanatomy teaching model. **University of Ottawa Journal of Medicine**, [s.l.], v. 9, n. 1, p. 49-53, 17 maio 2019.

BICAN, Orhan; MINAGAR, Alireza; PRUITT, Amy. The spinal cord. **A Review of Functional Neuroanatomy**, Philadelphia, USA, 31. ed. , p. 1-18, 2013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23186894/> . Acesso em: 25 ago. 2022.

BLOG 3D RECYCLER. **Como funciona a impressora 3D**. 2018. Não paginado. Disponível em: <http://3drecycler.blogspot.com/2018/04/como-funciona-uma-impressora-3d.html>. Acesso em: 12 ago. 2022.

CHO, Tracey. Spinal cord functional anatomy. Spinal Cord, **American Academy of Neurology**, v. 21, p. 13-25, 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25651215/>. Acesso em: 28 ago. 2022.

COSTELLO, John P. *et al.* Utilizing three-dimensional printing technology to assess the feasibility of high-fidelity synthetic ventricular septal defect models for simulation in medical education. **World Journal For Pediatric And Congenital Heart Surgery**, [S.l.], v. 5, n. 3, p. 421-426, 23 jun. 2014.

FLEURY, Maria; WERLANG, Sergio. **Pesquisa aplicada: conceitos e abordagens**. Pesquisa, GV Pesquisa, 2017. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/apgvpesquisa/article/view/72796/69984>. Acesso em: 25 ago. 2022.

HOCHMAN, Shawn. Spinal cord. **Central Nervous System**, Georgia, USA, v. 17, n. 22, 2007. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18029245/>. Acesso em: 28 ago. 2022.

LIM, KahHeng Alexander *et al.* 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**, [s.l.], v. 9, n. 3, p. 213-221, maio 2016.

MARTIN, John H. **Neuroanatomia**. Porto Alegre: Grupo A, 2014. *E-book*. ISBN 9788580552645. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580552645/>. Acesso em: 25 ago. 2022.

MARTINEZ, Ana Maria Blanco; ALLODI, Silvana; UZIEL, Daniela. **Neuroanatomia essencial**. 1. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. Disponível em: <<https://www.meulivro.biz/neuroanatomia/3783/neuroanatomia-essencial-1-ed-pdf/>>. Acesso em: 5 set. 2022.

MATOZINHOS, Izabela; MADUREIRA, Angélica; SILVA, Gabriel; MADEIRA, Glícia; OLIVEIRA, Isabel; CORRÊA, Cristiane. Impressão 3D inovações no campo da medicina. **Revista Interdisciplinar Ciências Médicas**, p. 143-162, 2017.

MCMENAMIN, Paul G., *et al.* The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology: 3D printing in anatomy education. **Anatomical Sciences Education**. [s.l.], v. 7, n. 6, novembro de 2014, p. 479–86. DOI.org (Crossref). Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ase>. 1475. Acesso em: 5 set. 2022

MENESES, Murilo S. **Neuroanatomia aplicada**. [Rio de Janeiro]: Grupo GEN, 2011. *E-book*. ISBN 978-85-277-2074-8. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-277-2074-8/>. Acesso em: 25 ago. 2022.

MOORE, Keith L.; DALLEY, Arthur F.; AGUR, Anne M. R. **Anatomia orientada para a prática clínica**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2019.

MOORE, Keith L.; DALLEY, Arthur F.; AGUR, Anne M R. **Anatomia Orientada para Clínica**. [Rio de Janeiro]: Grupo GEN, 2022. *E-book*. ISBN 9788527734608. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788527734608/>. Acesso em: 25 ago. 2022.

NETTER, Frank H. **Atlas de anatomia humana**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2021.

PAYNES, G.; SILVA, V.; MOREIRA, J. **A utilização da impressão 3D na medicina: projetos e relatórios de estágios**, v.2, n.1, 30 maio 2020: Projeto de conclusão de cursos técnicos. Disponível em: <http://raam.alcidesmaya.com.br/index.php/projetos/article/view/192>. Acesso em: 19 set. 2022

PINHEIRO, Cristiano Max Pereira, *et al.* Impressoras 3D: uma mudança na dinâmica do consumo. **Signos do Consumo**. [s.l.], vol. 10, no 1, jan. 2018, p. 15. DOI.org (Crossref). Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.1984-5057.v10i1p15-22>. Acesso em: 15 ago. 2022.

ROMERO, Alicia Del Carmen Becerra; AGUIAR, Paulo Henrique Pires. Impressão em três dimensões: aplicações em neurocirurgia. **Jornal Brasileiro de Neurocirurgia**, [s.l.], p. 195-202, 20 out. 2016.

SHEERIN, Fintan. Spinal cord injury: anatomy and physiology of the spinal cord. Anatomy and physiology of the spinal cord., **Emergency nurse**, v. 12, 8. ed., 2004. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15635928/>. Acesso em: 29 ago. 2022.

SILVA, Yslaíny Araújo, *et al.* Confecção de modelo neuroanatômico funcional como alternativa de ensino e aprendizagem para a disciplina de neuroanatomia. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação**, jul. 2017, p. 1674–88. periodicos.fclar.unesp.br. Disponível em: <https://doi.org/10.21723/riaee.v12.n.3.2017.8502>. Acesso em: 29 set. 2022.

SOBOTTA, Johannes. **Atlas de anatomia humana: cabeça, pescoço e neuroanatomia**. 24. ed. Rio De Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A., 2018.

Sobotta, Johannes. **Atlas colorido de citologia, histológica e anatomia microscópica humana**. 2015. Disponível em: https://issuu.com/heberbensi/docs/atlas_colorido_de_histologia/233. Acesso em: 25 ago. 2022.

TANK, Patrick; GEST, Thomas R. **Atlas de anatomia humana**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

WASCHKE, Jens. **Sobotta anatomia clínica**. [Rio de Janeiro]: Grupo GEN, 2018. *E-book*. ISBN 9788595151536. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595151536/>. Acesso em: 25 ago. 2022.

WHITAKER, Matthew. The history of 3D printing in healthcare. **The Bulletin of the Royal College of Surgeons of England**. [s.l.] v. 96, n. 7, jul. 2014, p. 228–29. DOI.org (Crossref). Disponível em: <https://doi.org/10.1308/147363514X13990346756481>. Acesso em: 24 ago. 2022.