

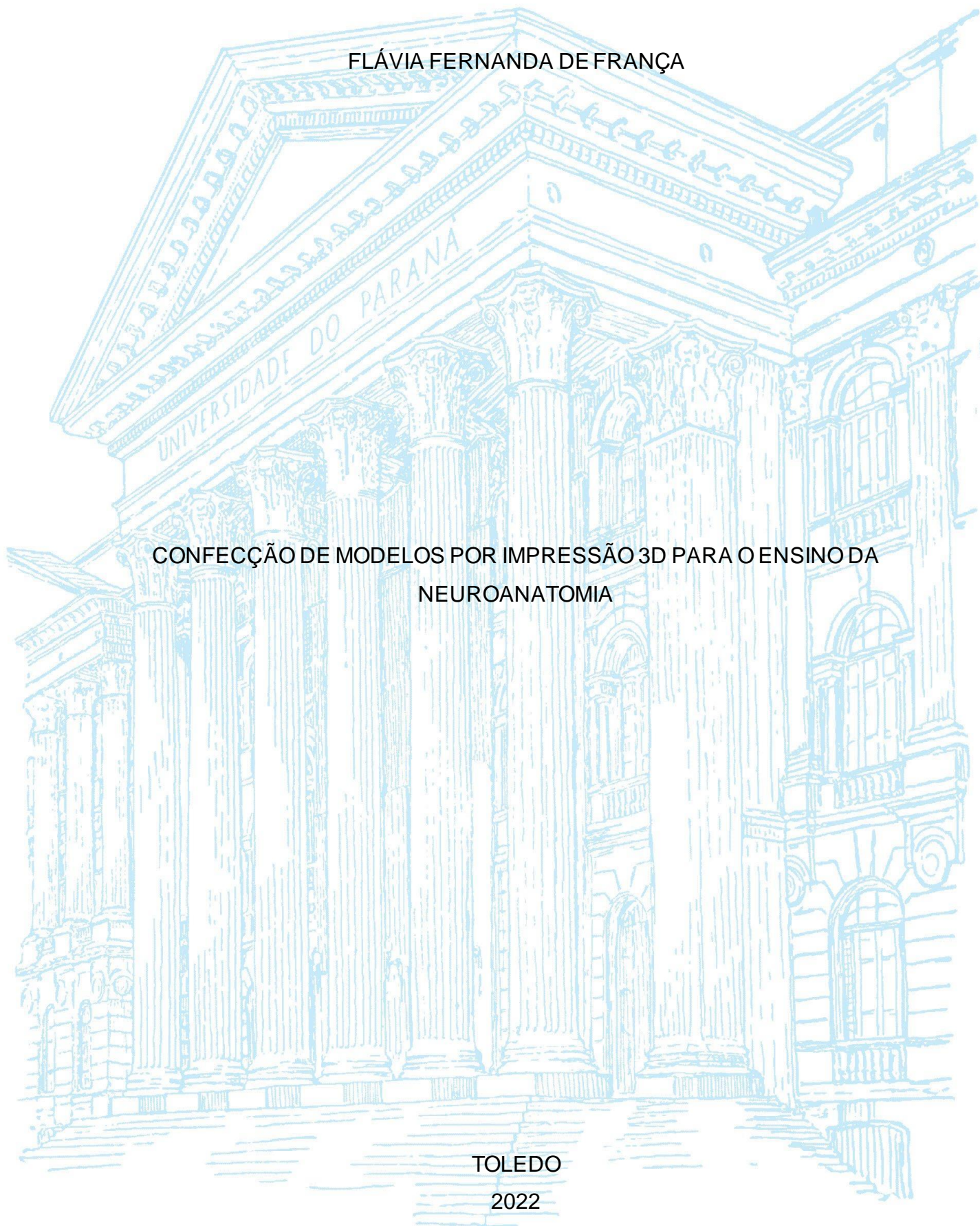
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FLÁVIA FERNANDA DE FRANÇA

CONFEÇÃO DE MODELOS POR IMPRESSÃO 3D PARA O ENSINO DA  
NEUROANATOMIA

TOLEDO

2022



FLÁVIA FERNANDA DE FRANÇA

CONFECÇÃO DE MODELOS POR IMPRESSÃO 3D PARA O ENSINO DA  
NEUROANATOMIA

Trabalho de curso apresentado ao curso de medicina da Universidade Federal do Paraná-Campus Toledo, como requisito parcial de obtenção do título de Bacharel em medicina.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Fernando Pereira.

TOLEDO

2022

Dedico este trabalho ao Biopark e a toda equipe do laboratório de manufatura aditiva, pela cessão do espaço, disponibilização de materiais e equipamentos, os quais foram fundamentais para a execução do trabalho.

Dedico, ainda, ao responsável técnico pelo laboratório, Eduardo Garcia, que foi membro essencial, do início ao fim, para execução de todas as fases do projeto, desempenhando extremo comprometimento e dedicação. E aos meus colegas que compunham o projeto de voluntariado acadêmico que inspirou esse trabalho, Raquel Kreuz e Rodrigo Azzolini, que junto a mim, idealizaram e arquitetaram a confecção dos modelos apresentados nesse projeto.

Por fim, dedico ao meu orientador, Dr. Prof. Kleber Fernando Pereira, a quem tanto prezou pela execução desse trabalho e que mesmo em meio a contratempos e complicações de saúde, manteve-se firme e comprometido com a execução do projeto.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso e da realização deste trabalho.

Aos meus familiares, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Aos amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei a este trabalho.

Ao meu namorado, Henrique Rodrigues Thomé, o qual foi meu alicerce durante o meu percurso acadêmico e forneceu apoio incondicional a realização desse trabalho.

Ao Dr. Prof. Kleber Fernando Pereira, por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal função com extrema dedicação. Pelo suporte, suas correções e incentivo.

A toda equipe do projeto de voluntariado acadêmico que inspirou a realização deste trabalho: Raquel Kreuz, Eduardo Garcia e Rodrigo Azzolini. Em especial ao Eduardo, o qual conduziu ensinamentos que permitiram um melhor desempenho na realização deste trabalho.

Ao Biopark, pela cessão do laboratório de manufatura aditiva e material para o desenvolvimento da pesquisa que possibilitou a realização deste trabalho.

À instituição de ensino UFPR - campus Toledo, seu corpo docente e direção, essencial no meu processo de formação profissional, por tudo o que aprendi até agora ao longo dos anos do curso.

E a todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o meu processo de aprendizado, meu muito obrigada.

**"Faça o teu melhor, na condição que você tem, enquanto você não tem condições melhores, para fazer melhor ainda".  
(MÁRIO SÉRGIO CORTELLA)**

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2 ARTIGO .....</b>	<b>10</b>
<b>3 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>23</b>
<b>4 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>24</b>
<b>ANEXO 1 – NORMAS DA REVISTA.....</b>	<b>25</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Uma era tecnológica domina o atual cenário global com ilustres inovações em diversas áreas do conhecimento, sobretudo na área do ensino médico. A tecnologia por impressão em três dimensões (3D) é um exemplo dessas inovações. Por meio dela, modelos projetados virtualmente por softwares de computadores se tornam objetos reais (VENTOLA, 2014; ISHENGOMA; MTAHO, 2014).

Em meio a inúmeras vertentes para uso dessa tecnologia, a aplicação na área da medicina ganha destaque e é amplamente estudada com expectativas revolucionárias que compreendem desde a utilização farmacêutica, confecção de tecidos vivos e órgãos, próteses e implantes, até a confecção de modelos anatômicos (GROSS et al., 2014).

O advento da possibilidade de criação de modelos anatômicos 3D, supre, atualmente, um grande desfalque nas universidades de medicina em relação à falta de cadáveres, pois visam a solução desse cenário com a confecção de modelos precisos, sob medida e compreendendo uma ampla gama de detalhes das estruturas, sendo, muitas vezes, superiores aos modelos convencionais (MCMENAMIN et al., 2014).

Modelos neuroanatômicos, em particular, fornecem as representações das estruturas mais complexas do corpo humano, como toda a arquitetura do crânio, por exemplo, com seus diversos nervos, vasos e estruturas cerebrais difíceis de visualização em radiografias bidimensionais (2D) (KLEIN; LU; WANG, 2013).

Perante esse cenário têm-se a tecnologia em impressão 3D como uma ferramenta de desenvolvimento de modelos anatômicos, entre outras utilidades, com um papel crucial para o ensino da medicina básica e clínica, visando facilitar e aprimorar o conhecimento entre os estudantes. Por essa razão, o presente estudo teve como questionamento: É possível produzir modelos neuroanatômicos dos núcleos da base e da vascularização do encéfalo por impressão 3D?

Em concordância com a questão supracitada, o presente estudo teve como objetivo geral, criar modelos neuroanatômicos por meio de impressão 3D para o ensino da neuroanatomia. Sendo os objetivos específicos, modelar núcleos da base do encéfalo a partir de exames de imagens médicas e literatura; modelar a vascularização da base do encéfalo a partir de exames de imagens médicas e literatura e fabricar os modelos por meio de impressão 3D.

## 2 ARTIGO

O presente estudo foi realizado em formato de artigo conforme deliberação da Comissão de Trabalho de Curso da UFPR – Campus Toledo e será submetido à Revista: **International Journal of Morphology**, com o título: Confeção de modelos por impressão 3D para o ensino da neuroanatomia.

## CONFECÇÃO DE MODELOS POR IMPRESSÃO 3D PARA O ENSINO DA NEUROANATOMIA

Flávia Fernanda de França <sup>1</sup>, Kleber Fernando Pereira <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Acadêmica de medicina, Universidade Federal do Paraná (UFPR). Toledo, Paraná, Brasil.

<sup>2</sup> Doutor, Professor de Anatomia Humana, Universidade Federal do Paraná (UFPR). Toledo, Paraná, Brasil.

**Autor correspondente:** Flávia Fernanda de França; São João, 6786, apt. 03, Centro, Toledo, PR, Brasil, CEP 85900050, +55 45-99802-0836, flaviafernandafranca@gmail.com.

**RESUMO:** Uma ampla dificuldade em obter cadáveres para aulas práticas de anatomia em escolas de medicina permeia o atual cenário de ensino e são inúmeros os empecilhos atribuídos a tal instância. Aliado a isso, algumas áreas da medicina, como a neuroanatomia, são detentoras de uma complexidade de estruturas de difícil ou até mesmo impossível dissecação e demonstração em laboratórios de anatomia. Frente às vertentes expostas, a literatura científica demonstra que a tendência mundial entre as escolas médicas é a substituição de material cadavérico por material anatômico alternativo, sem prejuízo de aprendizagem. O presente trabalho teve como objetivo criar modelos neuroanatômicos por meio de impressão 3D para o ensino da neuroanatomia na Universidade Federal do Paraná - Campus Toledo. As estruturas de eleição para criação foram os núcleos da base e vascularização da base do encéfalo humano. Softwares de computador, imagens médicas e literatura, foram extensamente utilizadas a fim de se criar os modelos, posteriormente impressos tridimensionalmente com termoplásticos. As características gerais das estruturas anatômicas foram preservadas de acordo com imagens de literatura, dessa forma, espera-se o surgimento de novos estudos que validem o uso dos modelos em aulas de anatomia tendo em vista sua fidelidade anatômica.

**PALAVRAS-CHAVE:** impressão tridimensional; modelos anatômicos 3D; neuroanatomia; inovação em educação médica.

### INTRODUÇÃO

O uso de cadáveres em aulas práticas de anatomia nas escolas médicas tem sido alvo de conflitos e controvérsias quanto a sua relevância. A dificuldade para aquisição, custos extremos para armazenamento e manutenção de laboratórios, risco de contaminação de alunos e funcionários, e o questionamento sobre ainda ser apropriado ou não para o ensino da medicina moderna, são circunstâncias atribuíveis (Raja & Sultana, 2016); (Mcmenamin et al., 2014). Em face do exposto, o ensino da anatomia vem sendo repensado para corresponder às considerações atuais a fim de não prejudicar a qualidade do processo ensino-aprendizagem dos futuros profissionais (Fornaziero & Gil, 2003).

O advento do moderno e significativo campo da modelagem tridimensional ganha ênfase nesse cenário permitindo criar objetos em três dimensões (3D) a partir de softwares de computador, gerando modelos de ensino com alta verossimilhança

que servem como alternativa ou complemento ao ensino baseado em preparações cadavéricas (Mcmenamin et al., 2014)

Em particular, algumas áreas, como a neuroanatomia, são beneficiadas com essa técnica emergente. As estruturas do sistema nervoso são constituídas de patente complexidade, o que culmina em difícil ou impossível dissecação cadavérica, com precisão, para o ensino da neuroanatomia. Dessa forma, evitando-se que os alunos adquiram conhecimento enviesado, impreciso e fictício, devido a precária visualização desses componentes *in situ* ou em imagens bidimensionais (2D) estáticas, a impressão 3D tem por objetivo revolucionar o ensino e proporcionar a visualização das estruturas neuroanatômicas com riqueza de detalhes e fidedignas à realidade.

Dessa forma, o estudo teve por objetivo criar modelos neuroanatômicos físicos por meio de impressão 3D, para a disciplina de neuroanatomia da Universidade Federal Paraná - Campus Toledo, possibilitando conceber uma nova opção e perspectiva para o ensino. As estruturas eleitas para confecção foram os núcleos da base (putâmen, globo pálido, claustrum e núcleo caudado) e vascularização da base do encéfalo humano, por serem partes anatômicas de difícil visualização em peças cadavéricas e, também, inexistentes em modelos convencionais comercialmente disponíveis. Para isso, conciliou-se imagens médicas e de literatura a fim de obter-se impressões em 3D, conferindo a esse estudo um caráter científico tecnológico.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Esse estudo enquadra-se como uma pesquisa aplicada, a qual tem como conceito ser o método científico específico que envolve a aplicação prática da ciência, onde os trabalhos executados têm o objetivo de adquirir novos conhecimentos para o desenvolvimento ou aprimoramento de produtos, processos e sistemas (Appolinário, 2011).

O trabalho foi executado em duas fases: estudo teórico e subsequente estudo prático. Primeiro, o estudo teórico, deu-se por embasamento a respeito da anatomia dos modelos escolhidos para criação - núcleos da base e vascularização da base do encéfalo humano -, em livros de anatomia e pesquisa em artigos nas bases de dados Pubmed, Scielo e SpringerLink. Foram pesquisados artigos em inglês e português, indexados pelos termos: Impressão Tridimensional, modelos anatômicos 3D, neuroanatomia e inovação em educação médica. Os que demonstraram associação com o tema foram selecionados e analisados, de forma a reunir conteúdo acerca das características de cada estrutura a ser confeccionada e a tecnologia 3D existente.

Em um segundo momento, deu-se a etapa prática, em que decorreu a confecção dos modelos neuroanatômicos propriamente ditos. Nesse momento foram definidas as imagens anatômicas, a estratégia de modelagem, os softwares de computador utilizados para a criação do modelo 3D virtual e, também, os mais adequados filamentos para impressão 3D.

A escolha das imagens anatômicas a serem utilizadas baseou-se em literatura médica previamente explorada em estudo teórico. Imagens que conferiam maior criteriosidade e clareza nos detalhes referente a anatomia estudada, foram selecionadas a partir de imagens de livros de anatomia e bancos de imagens de domínio público, atentando-se a cada corte topográfico para abranger maior detalhismo das estruturas.

A estratégia mais adequada neste momento, pensando em criar material como recurso didático para aulas de neuroanatomia, foi a modelagem virtual. As imagens anatômicas escolhidas foram usadas como referência para esboço do modelo, sendo delineadas as estruturas de interesse das imagens, modeladas de acordo com suas particularidades e transformadas em um modelo 3D virtual para posterior impressão. Os softwares utilizados para a fase de modelagem foram o Fusion 360° e Meshmixer. Posteriormente, deu-se a impressão 3D dos modelos, sendo o software Cura utilizado para o planejamento deste processo.

Estratégias de modelagem e impressão diferentes foram propostas tanto para os núcleos da base como para os vasos da base do encéfalo, a fim de se testar diferentes opções de desenvolvimento do projeto e ampliar a gama de possibilidades para projetos futuros. Dessa forma, para criação do modelo e posterior impressão dos núcleos da base, estabeleceu-se a seguinte sequência:

1. Importou-se a imagem anatômica previamente selecionada dos núcleos da base em determinada topografia, para um plano de rascunho do software Fusion 360°.
2. Delineou-se os elementos anatômicos de interesse por meio das ferramentas de desenho do software, criando um esboço sobre a imagem anatômica.
3. Utilizou-se a ferramenta de extrusão para que um corpo 3D fosse gerado a partir do esboço.
4. O modelo foi então salvo como formato STL e importado para o software Meshmixer a fim de refinar detalhes geométricos. Foi necessário, nesse momento, esculpir os núcleos da base, considerando suas características

intrínsecas anatômicas, visto que os modelos criados a partir do Fusion 360° apresentavam aspecto bruto e que prejudicariam o resultado final.

5. Após esse processo, novamente o modelo foi salvo em STL para posteriormente ser aberto pelo software Cura. Neste software foi feito o planejamento do processo de impressão 3D, conhecido como fatiamento, onde um Gcode é gerado e exportado para a impressora.
6. O polímero termoplástico ABS na forma de filamento foi utilizado para a impressão. A fim de demonstrar com mais clareza as estruturas, utilizou-se as cores preto, azul e branco. A impressora 3D utilizada foi a Funmat HT, fabricada pela empresa chinesa Intamsys, pertencente ao Biopark - anexo à UFPR - Campus Toledo.
7. Após impressão 3D, deu-se os acabamentos finais do modelo impresso.

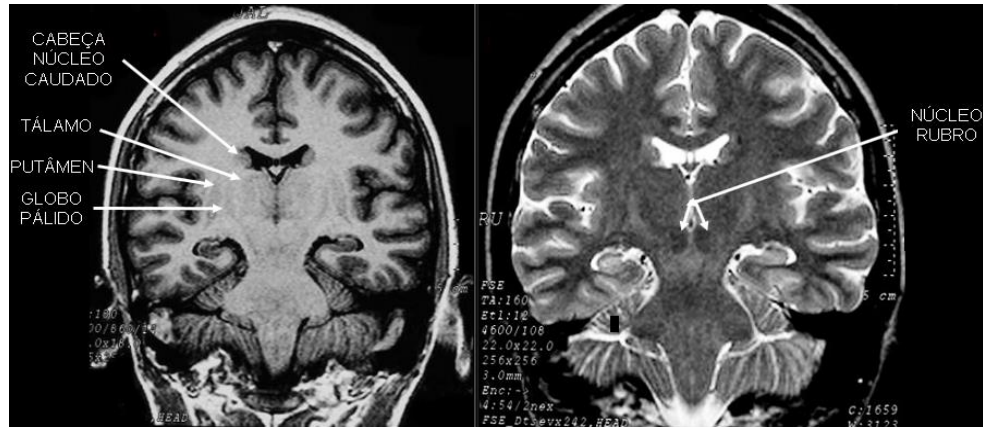
Para a criação do modelo dos vasos da base do encéfalo, o que diferiu no processo de modelagem e impressão em relação aos núcleos da base foi que não houve a necessidade de esculpir estruturas no Meshmixer (etapa 4), sendo a estrutura somente esboçada, modelada e transformada em um modelo 3D pelo software Fusion 360° e posteriormente exportado para o Software Cura (etapa 5). No quesito impressão, foi utilizado apenas uma cor de polímero ABS.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O advento da criação de modelos anatômicos 3D, supre, atualmente, um grande desfalque nas universidades de medicina em relação a falta de cadáveres, pois visam a solução desse cenário com a confecção de modelos precisos, sob medida e compreendendo uma ampla gama de detalhes das estruturas, tornando-se, muitas vezes, superiores aos modelos convencionais (Mcmenamin et al. 2014).

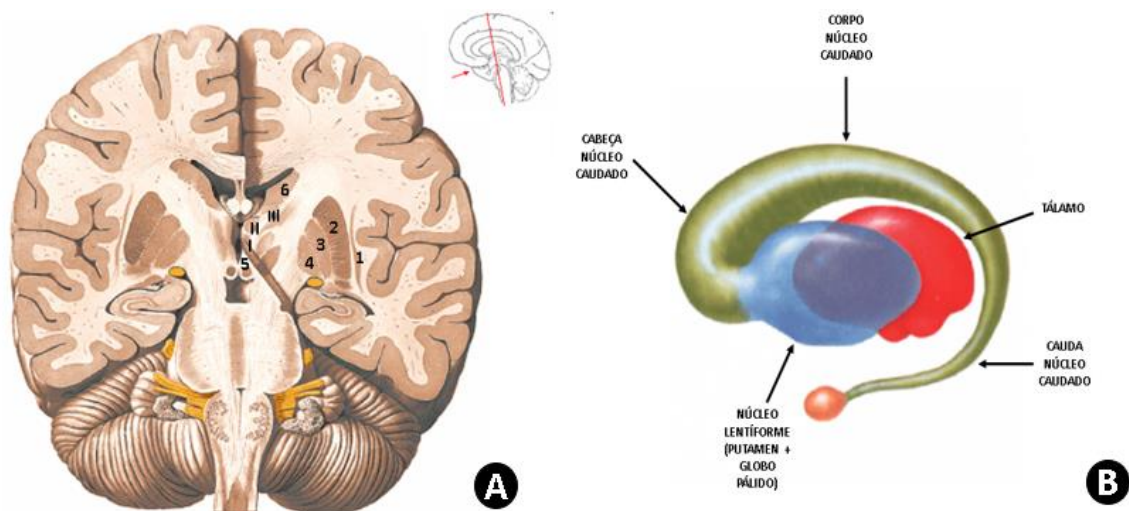
Existem várias técnicas para confeccionar modelos anatômicos para impressão 3D, sendo apenas suficiente existir uma representação de forma virtual da estrutura que se deseja imprimir. Por meio de design de computador, os modelos podem ser recriados - desenhados/modelados - como derivados de técnicas de imagens como a tomografia computadorizada (TC) ou a ressonância magnética (RM), delineamento de imagens 2D, gerados por meio da digitalização de superfície 3D ou obtidos em repositórios on-line (Shui et al., 2017). Em nossa experiência com a tecnologia de impressão 3D, foi possível a criação de modelos neuroanatômicos dos núcleos da base e da vascularização da base do encéfalo, a partir da modelagem 3D.

Em relação aos núcleos da base do encéfalo, imagens de (TC) são qualitativamente limitadas para identificar com clareza tais estruturas, sendo melhor visualizadas em (RM), mas ainda com algum grau de precariedade nos detalhes para possibilitar fiel reconstrução (figura 1), dessa forma, tendo em vista a natureza didática desse trabalho essa técnica não fora utilizada.



**Figura 1.** Ressonância magnética do cérebro, demonstrando os núcleos da base e suas correlações anatômicas. **Fonte:** Neupatimagem-Unicamp (2021).

Além disso, não foram encontradas tais estruturas em repositórios 3D online, dessa forma, a maneira mais adequada em termos de eficiência didática para criação dessas estruturas foi delinear-las por meio de imagens 2D contidas em literatura específica e depois modelá-las em software, devido à complexidade de detalhes. A imagem da literatura escolhida, precisava ser o mais próximo da realidade e abranger principalmente os núcleos da base (claustrum, putâmen, caudado e globo pálido), mas também outras estruturas adjacentes para melhor correlação anatômica para estudo. Dessa forma, a topografia escolhida foi um corte transversal da face posterior do mesencéfalo, atingindo inferiormente os núcleos rubros (figura 2).

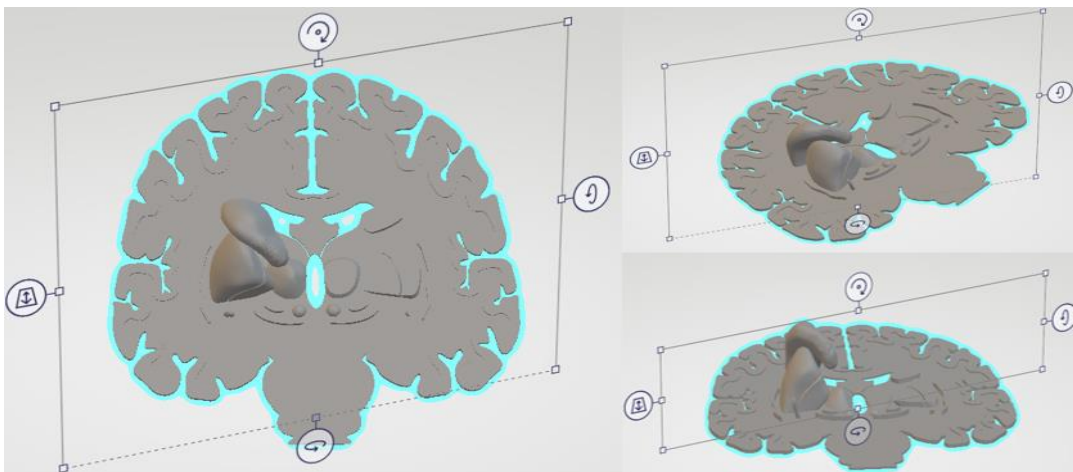


**Figura 2 – (A)** Imagem de núcleos da base e suas correlações anatômicas utilizada para delimitação das estruturas a serem modeladas. (1) Claustrum; (2) Putâmen; (3) e (4) Globo pálido; (5) Núcleo rubro;

(6) Cabeça do núcleo caudado; (I), (II) e (III) Tálamo. (B) Imagem ilustrativa dos núcleos da base demonstrando a estrutura integralmente. **Fonte:** (A) Sobotta (2013); (B) Netter (2011).

Imagens de livros são alternativas didáticas para ensino anatômico, no entanto, a visualização espacial é de suma relevância para que o aluno possa estabelecer relações visuais com as estruturas adjacentes. Dessa forma, métodos de ensino como imagens ilustrativas de livros de anatomia, estáticas e de forma bidimensional, conferem grande limitação em termos de visualização espacial (Smith et al., 2017). Manipular estruturas anatômicas se faz necessário para a efetiva consolidação do conhecimento de modo a exercer habilidade visual-espacial.

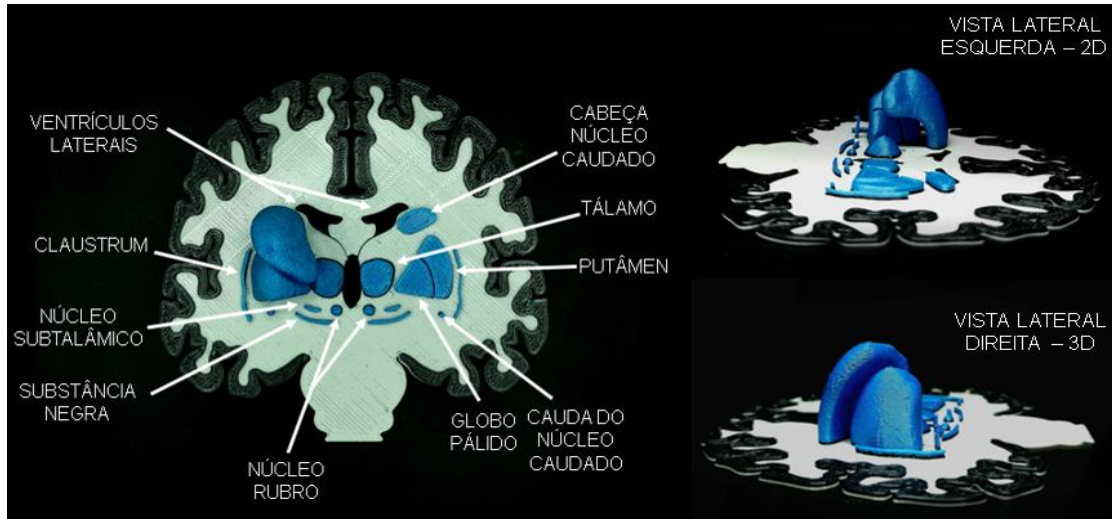
Isto posto, em nossa representação dos núcleos da base do encéfalo em 3D, devido a simetria bilateral, propôs-se uma visualização híbrida 3D e 2D, com a finalidade de proporcionar uma diferenciação didática entre as diferentes vertentes de visualização. Dessa forma, exportou-se a imagem pré-selecionada para o software Fusion 360° e deu-se o delineamento e criação do esboço das estruturas de interesse. Seguido a isso, deu-se a extrusão de metade e espelhamento por simetria. O modelo então foi transferido para o software meshmixer, no qual executou-se a modelagem das estruturas dos núcleos da base de uma hemiface, os aprimorando e criando detalhes necessários de acordo com o contido na literatura e não manifestados na imagem de base. Sendo assim, estabeleceu-se uma hemiface em 3D, mantendo a outra em 2D (figura 3).



**Figura 3.** Modelo dos núcleos da base e suas correlações anatômicas exportado do software meshmixer para posterior impressão. **Fonte:** O autor (2021).

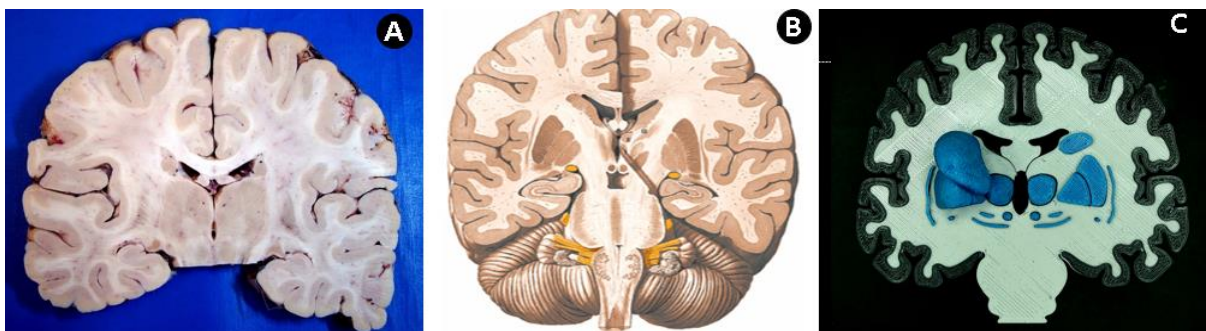
O processo de impressão, próximo passo, advém de um método parecido com o comum, na qual a imagem a ser impressa é visualizada previamente no computador. No entanto, funciona por meio de deposição e sobreposição de finas camadas de

polímero, possibilitando a formação dos objetos tridimensionais por meio do modelo digital (Hoy, 2013). Foi proposta três cores de polímeros termoplásticos para impressão dos núcleos da base do encéfalo, por cunho meramente didático para facilitar a diferenciação das estruturas (figura 4).



**Figura 4.** Modelo final dos núcleos da base e suas correlações anatômicas após impressão 3D. Correlacionando vistas laterais com mescla 3D e 2D. **Fonte:** O autor (2021)

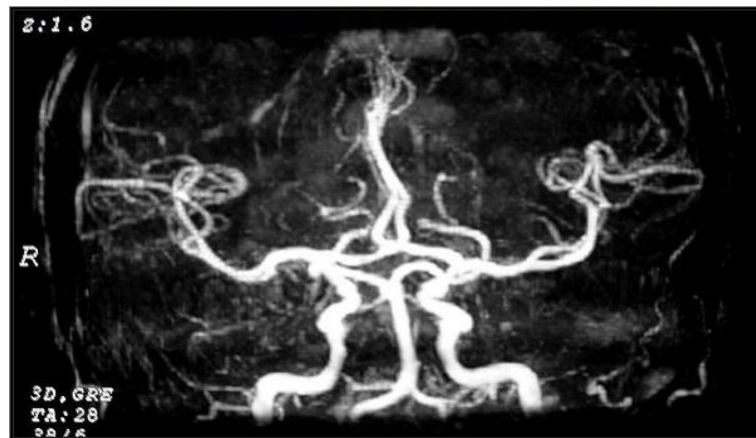
Diante do resultado, uma comparação entre modelos cadavéricos, imagem de literatura e impressão 3D (figura 5), de modo a comparar a verossimilhança entre eles, foi disposta. Observa-se que a visualização dessas estruturas em uma peça cadavérica é de difícil domínio e sua representação não possibilita o entendimento tridimensional como um todo. Muito semelhante é a imagem de literatura, didática - com diferentes cores facilitando o aprendizado - mas estática, sem possibilitar a execução da habilidade visual-espacial. Já o modelo em 3D proposto, possibilita essa habilidade, além de dispor da vertente 2D para comparação e manipulação. Nota-se preservação das estruturas e fidelidade aos detalhes nessa exposição.



**Figura 5.** (A) Peça anatômica cadavérica; (B) Peça anatômica da literatura; (C) Peça anatômica em 3D. **Fonte:** (A) Neupatimagem-Unicamp (2021); (B) Sobotta (2013); (C) O autor (2021).

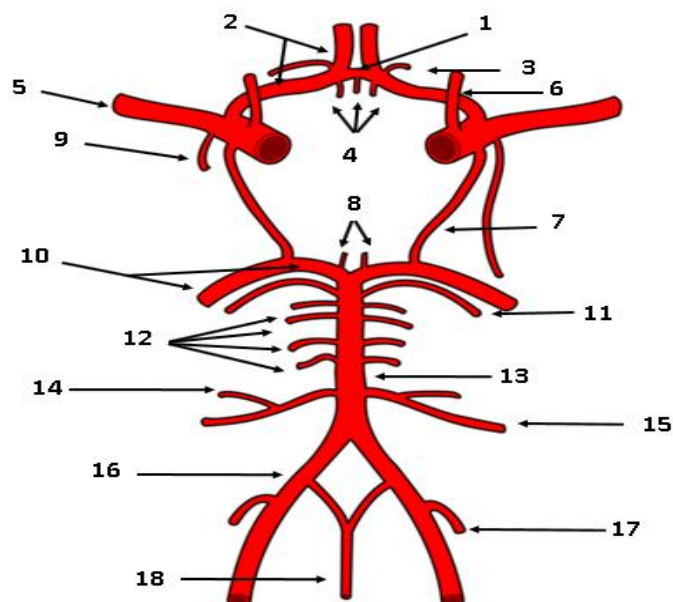
Em relação aos vasos da base do encéfalo, imagens de angiorressonância arterial demonstram a anatomia fidedigna de tal estrutura, sendo cogitadas para a

criação do modelo 3D (figura 6). No entanto, modelos advindos por meio desse recurso seriam tecnicamente rústicos e menos compreensíveis para serem usados de forma didática em aulas, tendo em vista sua complexa anatomia. Além disso, há modelos 3D, das referente estruturas, em repositórios 3D online para aquisição não gratuita, os quais poderiam ser apenas impressos, porém, devido à natureza de pesquisa e didática do presente trabalho e afim de minimizar custos, optou-se por confeccionar um modelo próprio.



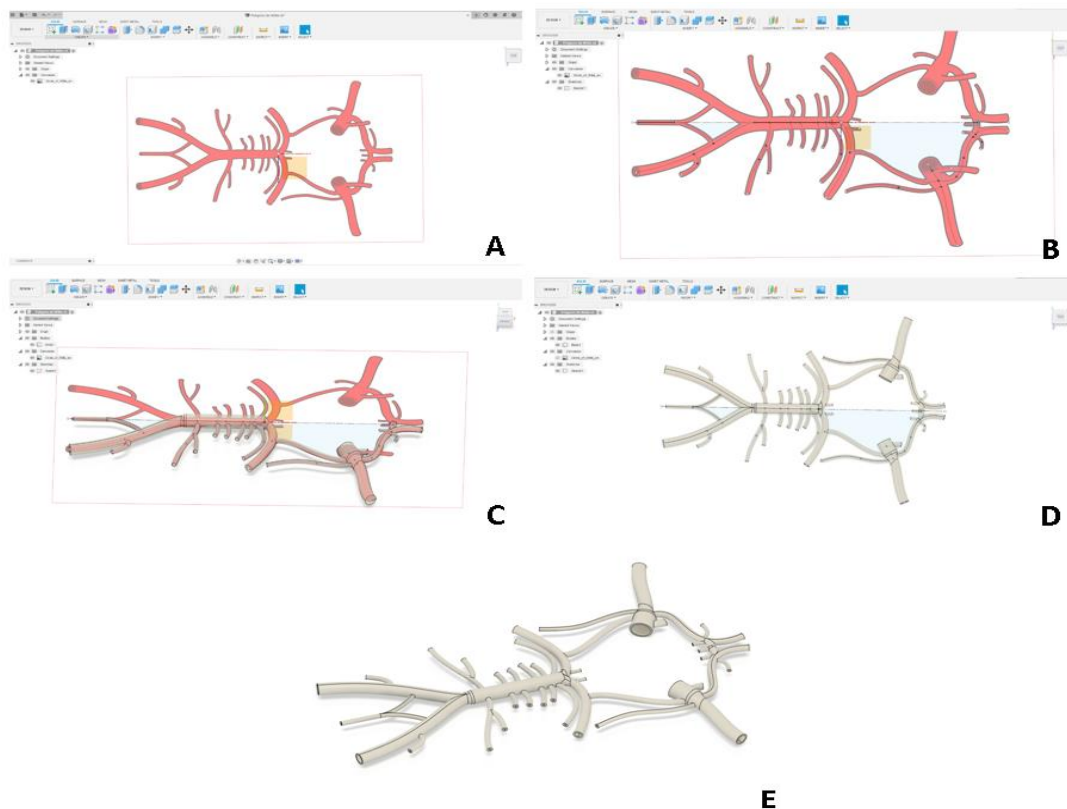
**Figura 6.** Imagem de angiorressonância arterial demonstrando os vasos da base do encéfalo. **Fonte:** Neupatimagem-Unicamp (2021).

A estratégia adotada para confecção foi semelhante à criação dos núcleos da base. O delineamento das estruturas de uma imagem anatômica da vascularização da base do encéfalo, contida em bancos de imagem de domínio público (figura 7), foi proposto a fim de gerar um esboço. A imagem de escolha foi a mais didática possível, para possibilitar memorização, compondo uma ampla gama de detalhes anatômicos, condizentes com a realidade, de acordo com a literatura verificada previamente.



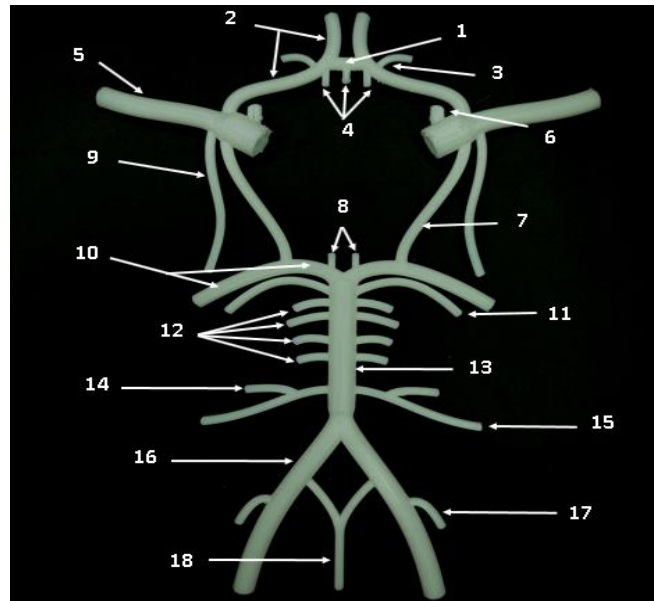
**Figura 7** - Imagem dos vasos da base do encéfalo, contida em banco de imagens de domínio público, utilizada para delimitação das estruturas e criação de esboço. 1- artéria comunicante anterior; 2- artéria cerebral anterior; 3- artéria estriada distal medial; 4- artérias centrais ântero-mediais; 5- artéria cerebral média; 6- artéria oftálmica; 7 -artéria comunicante posterior; 8- artérias centrais pósteromediais; 9- artéria coróideia anterior; 10- artéria cerebral posterior; 11- artéria cerebelar superior; 12- artérias da ponte; 13- artéria basilar; 14- artéria labiríntica; 15- artéria cerebelar inferior anterior; 16- artéria vertebral; 17- artéria cerebelar inferior posterior; 18- artéria espinal anterior. **Fonte:** Wikipédia (2019).

Todo o processo deu-se em etapas por meio do software Fusion 360<sup>o</sup> (figura 8). A imagem pré-selecionada foi importada para o software e seguiu-se com o delimitamento de superfície das estruturas e criação do esboço, após, houve a extrusão de metade da estrutura delimitada e posterior espelhamento por simetria, resultando em um modelo final 3D para impressão. Devido a linearidade da estrutura não houve a necessidade de se utilizar o software meshmixer para aprimoramento. Essa técnica permite transformar qualquer imagem em um objeto 3D para ser impresso, preservando todos os detalhes visíveis, sendo útil para fins didáticos.



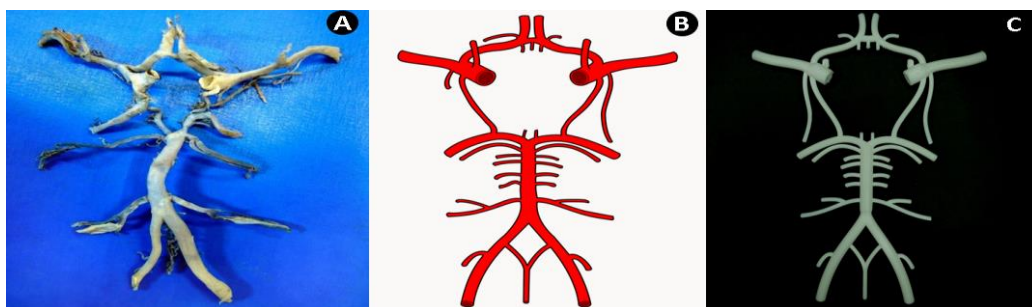
**Figura 8.** (A) Imagem pré-selecionada importada para software Fusion 360<sup>o</sup>; (B) Delimitação de superfície; (C) Extrusão de metade; (D) Espelhamento por simetria; (E) Modelo final para impressão. **Fonte:** O autor (2021).

Com o modelo finalizado, deu-se o processo de impressão 3D. Foi utilizada apenas uma cor de polímero termoplástico, resultando em um modelo monocromático fiel à imagem de base, por meio da deposição e sobreposição das camadas de polímero, formando o modelo 3D (figura 9).



**Figura 9.** Modelo final dos vasos da base do encéfalo, impressos em 3D. 1- artéria comunicante anterior; 2- artéria cerebral anterior; 3- artéria estriada distal medial; 4- artérias centrais ântero-mediais; 5- artéria cerebral média; 6- artéria oftálmica; 7- artéria comunicante posterior; 8- artérias centrais póstero-mediais; 9- artéria coróideia anterior; 10- artéria cerebral posterior; 11- artéria cerebelar superior; 12- artérias da ponte; 13- artéria basilar; 14- artéria labiríntica; 15- artéria cerebelar inferior anterior; 16- artéria vertebral; 17- artéria cerebelar inferior posterior; 18- artéria espinal anterior. **Fonte:** O autor (2021)

Quando observamos a comparação entre o modelo cadavérico, imagem de literatura e impressão 3D (figura 10), destacamos a rigorosa verossimilhança entre a imagem de literatura e o modelo em 3D, sendo amplamente semelhantes, porém um estático e outro manipulável. Em comparação com a peça cadavérica é possível observar que a mesma possui algumas estruturas não contidas na imagem de literatura, que podem ter sido perdidas durante o processo de dissecação. Dessa forma, têm-se a possibilidade de criar modelos anatômicos de vasos da base do encéfalo para fins didáticos.



**Figura 10.** (A) Peça anatômica cadavérica; (B) Peça anatômica da literatura; (C) Peça anatômica em 3D. **Fonte:** (A) Neupatimagem-Unicamp (2021); (B) Wikipédia (2019); (C) O autor (2021).

Portanto, a tecnologia de impressão 3D é emergente no quesito produção de modelos anatômicos voltados para o ensino na área da anatomia em geral (Reis et al., 2017). Julga-se que o modelo 3D pode beneficiar docentes por meio de aulas práticas, de modo a ser usado para exemplificar de modo prático, interativo e dinâmico

as estruturas anatômicas, saindo da esfera teórica (Judas, 2019). Isto posto, a utilização de exames de imagem para confecção de modelos 3D se mostra efetiva em termos de demonstrar fidelidade das estruturas, porém nem todas as estruturas são beneficiadas de fiel visualização para reconstrução, como o caso dos núcleos da base do encéfalo, necessitando assim de métodos alternativos.

Dessa forma, comprovou-se a possibilidade de criar modelos físicos de peças complexas de neuroanatomia, com características verossímeis, dos núcleos da base e da vascularização da base do encéfalo, por meio da técnica apresentada. E almeja-se propiciar melhor entendimento prático e didático dessas estruturas diante da ausência de peças cadavéricas na presente Universidade, necessitando, assim, de estudos futuros que validem a eficácia dos modelos desenvolvidos na aplicação prática em aulas de neuroanatomia.

**RESUMO:** Uma ampla dificuldade em obter cadáveres para aulas práticas de anatomia em escolas de medicina permeia o atual cenário de ensino e são inúmeros os empecilhos atribuídos a tal instância. Aliado a isso, algumas áreas da medicina, como a neuroanatomia, são detentoras de uma complexidade de estruturas de difícil ou até mesmo impossível dissecação e demonstração em laboratórios de anatomia. Frente às vertentes expostas, a literatura científica demonstra que a tendência mundial entre as escolas médicas é a substituição de material cadavérico por material anatômico alternativo, sem prejuízo de aprendizagem. O presente trabalho teve como objetivo criar modelos neuroanatômicos por meio de impressão 3D para o ensino da neuroanatomia na Universidade Federal do Paraná - Campus Toledo. As estruturas de eleição para criação foram os núcleos da base e vascularização da base do encéfalo humano. Softwares de computador, imagens médicas e literatura, foram extensamente utilizadas a fim de se criar os modelos, posteriormente impressos tridimensionalmente com termoplásticos. As características gerais das estruturas anatômicas foram preservadas de acordo com imagens de literatura, dessa forma, espera-se o surgimento de novos estudos que validem o uso dos modelos em aulas de anatomia tendo em vista sua fidelidade anatômica.

**PALAVRAS CHAVE:** impressão tridimensional; modelos anatômicos 3D; neuroanatomia; inovação em educação médica.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao responsável técnico do laboratório em que a pesquisa foi realizada, Eduardo Garcia, sendo membro essencial, do início ao fim, para execução de todas as fases do projeto, envolvendo extremo comprometimento e dedicação, e sem conflitos de interesse. E aos colegas do projeto de voluntariado acadêmico que inspirou esse trabalho, (Raquel Kreuz e Rodrigo Azzolini), que junto a mim, idealizaram e arquitetaram a confecção dos modelos apresentados nesse projeto.

## REFERÊNCIAS

Appolinário, F. Dicionário de metodologia científica: Um Guia para a Produção do Conhecimento Científico. 2. ed. São Paulo, Atlas, 2011.

Contribuidores da Wikipédia. Círculo arterial cerebral. In: Wikipédia, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2019. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=C%C3%ADrculo\\_arterial\\_cerebral&oldid=56395262](https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=C%C3%ADrculo_arterial_cerebral&oldid=56395262)>. Acesso em: 25 nov. 2021.

Contribuidores da Unicamp. Site didático de Anatomia Patológica, Neuropatologia e Neuroimagem. In: Neupatimagem-Unicamp, São Paulo: Faculdade de ciências médicas da Unicamp, 2021. Disponível em: <<http://anatpat.unicamp.br/neupimportal.html>>. Acesso em: 25 nov. 2021.

Fornaziero, C. & Gil R. Novas Tecnologias Aplicadas ao Ensino da Anatomia Humana. Rev Bras Edu Med., 27 (2):141-146, 2003.

Hoy, M. B. et al. Impressão 3D: Fazendo coisas na biblioteca. 2013. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02763869.2013.749139>. Acesso em: 09 nov. 2021.

Judas, Blog São. O que é uma impressora 3D? Disponível em: <https://www.unimonte.br/blog/impressora-3d-um-revolucao-no-metodo-deaprendizagem/>. Acesso em: 22 Nov. 2021.

Mcmenamin, G. *et al.* The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. Anatomical Sciences Education., 7 (6): 479-486, 2014.

Netter, F. Atlas of human anatomy. Gânglios da base do cérebro. 5ª edição, Panamericana, 2011.

Putz, R. & Pabst, R. Sobotta. Atlas de anatomia humana. 23ª edição. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2013.

Raja, S. & Sultana, B. Potential health hazards for students exposed to formaldehyde in the gross anatomy laboratory. J Environ Health., 74 (6):36-40, 2012.

Reis, D. et al. Biomodelos Ósseos Produzidos por Intermédio da Impressão 3D: Uma Alternativa Metodológica no Ensino da Anatomia Veterinária. Rev. Grad. Usp, São Paulo, 2(3):1-7, 2017.

Shui, W. et al. The production of digital and printed resources from multiple modalities using visualization and three-dimensional printing techniques. Int J Comput Assist Radiol Surg., 12 (1):13-23, 2017.

Smith, C. F. et al. Take away body parts! An investigation into the use of 3Dprinted anatomical models in undergraduate anatomy education. Anatomical Science Education., 11(1): 44-53, 2017.

### **3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Perante a concretização da possibilidade de se modelar e fabricar peças anatômicas, que permitiram a visualização das características difíceis do sistema neural humano, no caso, os núcleos da base e da vascularização da base do encéfalo, espera-se que em um ambiente de estudo, possam propiciar o melhor entendimento prático e didático dessas estruturas, diante da ausência de peças cadavéricas. Sendo assim, existe a necessidade em se delinear novos estudos que comprovem a eficácia dos modelos confeccionados em aulas práticas de neuroanatomia.

#### 4 REFERÊNCIAS

GROSS, Bethany C. et al. Evaluation of 3D Printing and Its Potential Impact on Biotechnology and the Chemical Sciences. **Analytical Chemistry**, [S.L.], v. 86, n. 7, p. 3240-3253, 30 jan. 2014.

ISHENGOMA, Fredrick R.; MTAHO, Adam B. 3D Printing: Developing Countries Perspectives. **International Journal of Computer Applications**, Dodoma, v. 104, n. 11, p. 30-34, out. 2014.

KLEIN, Geraldine T; LU, Yi; WANG, Michael y. 3D printing and neurosurgery--ready for prime time? **World Neurosurg**, [S.L.], v. 80 (3-4), p. 233-235, set. 2013.

MCMENAMIN, Paul G. et al. The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. **Anatomical Sciences Education**, [S.L.], v. 7, n. 6, p. 479-486, 27 jun. 2014.

VENTOLA, C Lee. Medical Applications for 3D Printing: Current and Projected Uses. **Pharmacy And Therapeutics**: A peerreviewed journal for formulary management, Bethesda Md, v. 39, n. 10, p. 704-711, out. 2014.

## ANEXO 1 – NORMAS DA REVISTA

### INSTRUÇÕES PARA OS AUTORES

Forma e preparação de manuscritos

Os manuscritos devem ser tão concisos quanto possível (**não mais do que 12 páginas, incluindo texto, ilustrações e referências**).

- O manuscrito deverá ser preparado em formato **Word, em tamanho carta, utilizando fonte Arial, tamanho 12, espaçamento 1,5 pt, com margem de 3 cm.**
- Os manuscritos devem ser enviados por e-mail (Texto e Tabelas em Word e Figuras em formato jpg, no mínimo 300 dpi e em arquivos separados).
- Em estudos com humanos e animais experimentais, os autores devem enviar uma cópia da aprovação do Comitê de Ética Institucional. Caso a Revista considere necessário, solicitará o termo de consentimento livre e esclarecido (ver acima “Cumprimento dos padrões éticos”).

Somente manuscritos escritos em **inglês e espanhol** serão considerados. Devem ser organizados da seguinte forma: Página de Título, Resumo e Palavras-chave, Introdução, Material e Método, Resultados, Discussão, Resumo e Palavras-chave em **espanhol (a tradução do resumo será realizada pela revista)**, Agradecimentos e Referências.

- **Página de título:** deve conter: título, nome completo do (s) autor (es), afiliação institucional com endereço completo, **nome, endereço, telefone e e-mail do autor correspondente**; ao final do nome de cada autor, o nome do Departamento e da Instituição aos quais cada autor esteve vinculado durante a execução do trabalho de pesquisa deve **ser identificado em algarismos arábicos, em sobrescrito**. Se o manuscrito foi subsidiado, indique o patrocínio ou concessão e o número do processo no final da página.
- **Resumo (estruturado):** não deve exceder **300 palavras e deve ser formatado para servir no lugar de um resumo final**. Deve referir-se de forma concisa ao resto do artigo. **Palavras-chave: 3 a 5** palavras-chave dos MeSH Headings (Medical Subject Headings - [www.nlm.nih.gov/mesh/](http://www.nlm.nih.gov/mesh/)).
- **Texto:** Introdução, Material e Método, Resultados e Discussão.

- **Tabelas e Figuras:** Cada tabela deve ter um título autoexplicativo, ser numerada em ordem de aparecimento com algarismos romanos e citada em ponto apropriado do texto. As tabelas devem apresentar comparações de dados que são muito complicados para serem descritos no texto. **As figuras são numeradas com algarismos arábicos** (as figuras são todas as ilustrações que não são tabelas, gráficos, imagens de raio-x, apresentações, etc.).

As abreviaturas utilizadas nas figuras devem ser definidas na legenda e devem coincidir exatamente com as utilizadas no texto. Se necessário, use letras, números ou símbolos transferíveis.

- **Agradecimentos:** Colaboradores que não atendem aos critérios de autoria devem ser mencionados nesta seção. Espera-se que aqueles que foram reconhecidos tenham dado permissão para serem identificados.
- **Referências:** Máximo de 25 referências. As referências textuais da literatura devem ser organizadas em ordem alfabética pelo sobrenome do autor, seguindo as normas do formato técnico da revista. Cada autor deve ser citado nas referências. No texto, quando houver mais de dois autores, use o nome do primeiro autor e et al. acompanhado do ano de publicação entre parênteses. Quando forem feitas referências a mais de um artigo do mesmo autor, publicado no mesmo ano, referencie-as como a, b, c, etc., junto com o ano de publicação entre parênteses. O ano deve ser repetido a cada citação se o autor tiver mais de um artigo citado.
- **Nomenclatura:** a terminologia deve ser utilizada de acordo com a última edição de Terminologia Anatômica, Terminologia Histológica, Terminologia Embriológica. Os termos em latim podem ser traduzidos para a língua nativa (inglês ou espanhol).
- **Abreviações ou símbolos:** deve estar em conformidade com a nomenclatura científica internacional. Use o Sistema de Medição Internacional (SI).