



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
MESTRADO PROFISSIONAL EM BIOTECNOLOGIA EM SAÚDE
ANIMAL E HUMANA

VICENTE BRUNO DE FREITAS GUIMARÃES

DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DIDÁTICOS PARA PRÁTICA
EM NEUROANATOMIA ATRAVÉS DE IMPRESSÃO 3D

FORTALEZA – CEARÁ

2018

VICENTE BRUNO DE FREITAS GUIMARÃES

**DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DIDÁTICOS PARA PRÁTICA
EM NEUROANATOMIA ATRAVÉS DE IMPRESSÃO 3D**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Biotecnologia em Saúde Humana e Animal do Programa Profissional de Pós-Graduação em Biotecnologia em Saúde Humana e Animal da Universidade Estadual do Ceará, como requisito à obtenção do título de mestre em Biotecnologia em Saúde Animal e Humana.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ivelise Regina Canito Brasil

FORTALEZA – CEARÁ

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Universidade Estadual do Ceará

Sistema de Bibliotecas

Guimarães, Vicente Bruno de Freitas.

Desenvolvimento de modelos didáticos para prática em neuroanatomia através de impressão 3D [recurso eletrônico] / Vicente Bruno de Freitas Guimarães. - 2018.

1 CD-ROM: il.; 4 ¼ pol.

CD-ROM contendo o arquivo no formato PDF do trabalho acadêmico com 48 folhas, acondicionado em caixa de DVD Slim (19 x 14 cm x 7 mm).

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Estadual do Ceará, Faculdade de Veterinária, Mestrado Profissional em Biotecnologia em Saúde Humana e Animal, Fortaleza, 2018.

Área de concentração: Biotecnologia em Saúde.

Orientação: Prof.ª Dra. Ivelise Regina Canito Brasil.

1. Impressora 3D. 2. Modelos anatômicos. 3. Neuroanatomia. I. Título.

VICENTE BRUNO DE FREITAS GUIMARÃES

DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DIDÁTICOS PARA PRÁTICA EM
NEUROANATOMIA ATRAVÉS DE IMPRESSÃO 3D.

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Biotecnologia em Saúde Humana e Animal da Faculdade de Veterinária da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de mestre em Biotecnologia. Área de concentração: Biotecnologia em Saúde.

Aprovada em: 17 de dezembro de 2018.

BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Ivelise Regina Canito Brasil (Orientadora)
Universidade Estadual do Ceará - UECE



Prof. Dr. Gerson Luis Mareghello de Abreu
Universidade Estadual do Ceará - UECE



Prof. Dr. Rodrigo Martins Porto
Universidade Estadual do Ceará - UECE

A meu pai, AluÍzio Rodrigues Guimarães,
professor, e minha mãe, Maria Veronilda Silva
de Freitas, do lar, por nunca medirem esforços
e sacrifÍcios pela educação dos trÊs filhos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, sobretudo, por todas as graças concedidas a mim e por sempre colocar pessoas maravilhosas em meu caminho.

À Profa. Dr^a. Ivelise Regina Canito Brasil, em especial, pelo apoio e compreensão durante a elaboração deste trabalho, pelos conselhos maternais em minha vida profissional, pelo apoio a mim concedido desde o ingresso no programa e pela profunda e salutar amizade que me concede.

Ao Prof. Dr. José Afonso Bruno, pelo incentivo que sempre me conferiu a continuar estudando Anatomia e a ingressar na carreira docente, pela honra de ter sido seu aluno e depois colega docente e pelo exímio anatomista que é, cuja oratória e didática admiro.

Ao Prof. Dr. Gerson Luís Mareghello de Abreu, por aceitar participar dessa banca e por avaliar meu trabalho, pelo constante apoio que me dá para seguir a carreira docente.

Ao Prof. Dr. Rodrigo Martins Porto, por prontamente aceitar fazer parte da banca de avaliação deste trabalho, pelas valorosas contribuições e pela parceria na cadeira da Anatomia dos cursos da saúde da UECE.

Aos amigos do Laboratório de Anatomia, os técnicos Raimundo Nonato da Silva e Robson Cruzoé de Moraes e Teixeira, pelo apoio e incentivo constantes.

A todos meus alunos, cujas sugestões me ajudam a crescer.

À querida Kirley Batista, pela ajuda e compreensão durante a execução deste trabalho.

À Universidade Estadual do Ceará, que me fez Médico e que abre as portas para todos que querem crescer profissionalmente.

RESUMO

Os métodos de ensino em anatomia têm evoluído juntamente com o progresso tecnológico. Os recursos didáticos, disponíveis hoje em dia, perpassam entre modelos sintéticos, atlas interativo e atlas em 3D, sem, contudo, perda da relevância do ensino da anatomia no cadáver. Aliando praticidade e tecnologia, elabora-se neste trabalho a criação de um kit básico de peças de neuroanatomia, como recurso didático complementar, a partir de impressão 3D. Apesar de terem se popularizado recentemente, os princípios tecnológicos que culminariam na invenção de uma impressora 3D datam do século XIX. As aplicações hoje em dia são inúmeras, tanto na indústria quanto na área da saúde para produção de próteses e órteses, por exemplo. As peças idealizadas neste trabalho foram baseadas no Atlas de Anatomia Humana de Netter, esculpidas através da plataforma gráfica Zbrush e impressas com a impressora Makerbot Replicator™ 2. A matéria prima utilizada foi uma fibra plástica denominada plástico poliácido láctico (PLA). As peças se mostram versáteis, de baixo custo, quando comparadas com modelos comerciais, com potencial de serem utilizadas como método complementar de ensino.

Palavras-chave: Impressora 3D. Modelos anatômicos. Neuroanatomia.

ABSTRACT

The methods of teaching in anatomy have evolved along with the technological progress. The didactic resources, available today, span between synthetic models, interactive atlases and 3D atlases, without, however, losing the relevance of anatomy teaching in the corpse. Combining practicality and technology, we elaborate in this work the creation of a basic kit of neuroanatomy pieces, as complementary didactic resource, from 3D printing. Although they were popularized recently, the technological principles that would culminate in the invention of a 3D printer date back to the 19th century. The applications nowadays are numerous, in the industry as well as in the health area for the production of prostheses and orthoses, for example. The pieces designed in this work were based on the Atlas of Human Anatomy by Netter, sculpted through the Zbrush graphics platform and printed with the printer Makerbot Replicator™ 2. The raw material used was a plastic fiber called poly lactic plastic (PLA). The pieces are versatile, inexpensive, when compared to commercial models, with the potential to be used as complementary teaching method.

Keywords: 3D printer. Anatomical models. Neuroanatomy.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	GERAL.....	13
2.2	ESPECÍFICO.....	13
3	METODOLOGIA.....	14
4	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
4.1	EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA IMPRESSÃO EM 3D.....	15
4.2	PROCESSOS DE TRANSFORMAÇÃO.....	16
4.3	PRINCÍPIOS DA MANUFATURA ADITIVA NA IMPRESSORA 3D.....	17
4.4	PRINCIPAIS TÉCNICAS EM IMPRESSÃO 3D.....	17
4.4.1	Estereolitografia.....	17
4.4.2	Deposição por Material Fundido (FDM – <i>Fused Deposition Modeling</i>).....	18
4.4.3	Sinterização por Laser Seletivo (SLS – <i>Selective Laser Sintering</i>).....	18
4.4.4	Impressão Tridimensional (3DP – <i>Three Dimensional Printing</i>).....	18
4.4.5	Impressão por Jato de Tinta (IJP – <i>Ink Jet Printing</i>).....	18
4.4.6	Modelagem por Laser de Engenharia (LENS – <i>Laser Engineered Net Shaping</i>).....	19
4.4.7	Modelagem de Objeto por Laminação (LOM – <i>Laminated Object Modeling</i>).	19
5	RESULTADOS.....	20
5.1	CONSTRUÇÃO DO MODELO GRÁFICO.....	20
5.2	IMPRESSÃO DO MODELO GRÁFICO.....	21
6	DISCUSSÃO.....	23
7	CONCLUSÃO.....	27
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28
	ANEXOS.....	31
	ANEXO A – ILUSTRAÇÕES.....	32
	ANEXO B – KIT DIDÁTICO DE NEUROANATOMIA	46
	ANEXO C – KIT DIDÁTICO DE NEUROANATOMIA – MANUAL	47

1 INTRODUÇÃO

Etimologicamente, Anatomia deriva do grego *anatomé*, resultado a união de *ana* (= distributivo, em partes) com *tomé* (= corte) ou *temnein* (= cortar, incisionar). No conceito moderno da palavra, Anatomia é definida como um ramo das Ciências Morfológicas que trata da forma, arquitetura e estrutura dos seres vivos. Quando relacionada aos seres humanos é caracterizada como Anatomia Humana. A própria definição etimológica da palavra já revela sua principal técnica ou método de estudo, que é a dissecação (FREITAS, 2004).

O cadáver, por anos, constituiu o objeto de estudo da anatomia e matéria-prima da prática da dissecação. Como o indivíduo vivo não pode ser dissecado, o anatomista e o estudante devem utilizar aquilo que mais se aproxima do ser vivo, para manipulá-lo e assim adquirir conhecimento sobre sua estrutura. A dissecação pura e simples não é a única forma de estudar a peça cadavérica, mas outras técnicas anatômicas foram aperfeiçoadas com os anos e são bem estabelecidas hoje em dia como por exemplo as técnicas de injeção de polímeros para estudos dos vasos, a diafanização, a maceração, a plastinação, entre outras (RODRIGUES, 2005).

Ainda hoje, o cadáver é o principal meio pelo qual a anatomia é estudada, mas não mais o único. Os métodos de ensino na anatomia, acompanharam também o desenvolvido tecnológico sofrido pela ciência nos últimos anos. A invenção do microscópio óptico possibilitou o desenvolvimento da Histologia, por exemplo. A descoberta dos Raios-X promoveu o advento da chamada Anatomia Radiológica. Outra descoberta tecnológica importantíssima para a biologia em geral foi promovida pelo microscópio eletrônico. A partir dele foi possível o estudo de estruturas com cortes ainda menores do que aquelas possíveis com o microscópio eletrônico, abrindo caminho para o desenvolvimento da biologia ultra-estrutural (DI DIO, 2002).

O professor Liberato Di Dio, em seu editorial “Anatomia: presente e futuro”, aponta que a nova revolução didática na anatomia está sendo promovida pelo uso do computador. De fato, esta tecnologia aliou-se a métodos de estudo precedentes em toda a medicina de modo geral. Na radiologia, agregou-se com o Raio-X, originando a Tomografia Computadorizada. Na anatomia não seria diferente, o computador tem se mostrado um recurso didático valioso, seja na sua utilização em aulas, seja como método de estudo interativo, como os atlas eletrônicos.

Como podemos ver, a evolução tecnológica da ciência promoveu uma evolução nas técnicas e métodos de estudo da anatomia. Hoje em dia, muitas instituições têm considerado a utilização de cadáver um método obsoleto (GUTTMAN ET AL, 2004; MCLACHLAN, 2004). Essa idéia, aliada a uma diversificação do currículo médico, que resultou numa diminuição drástica na carga horária destinada à anatomia, tem levado as instituições a adotar um menor tempo nas salas de dissecação e sua substituição por prossecções, modelos plásticos e recursos multimídia (MCLACHLAN, 2004). Como resultado, o ensino da anatomia tem sido relatado nos últimos anos, como estando em um nível abaixo do adequado (WARNER E RIZZOLO, 2006; TURNEY, 2007).

Sugand et al (2007) categorizou os vários métodos de ensino na anatomia em cinco modalidades, sendo elas: (1) a dissecação (estudar ativamente a peça cadavérica) e prossecção (estudar em uma peça cadavérica anteriormente preparada para fins demonstrativos); (2) recursos interativos de multimídia; (3) anatomia cirúrgica (de procedimentos); (4) anatomia de superfície e clínica; (5) imagenologia. Dentre os métodos complementares de ensino, aqueles que mais se destacam são os recursos multimídia. Existe uma infinidade de atlas virtuais interativos à disposição do professor e do aluno. Destacam-se por exemplo o Acland's DVD Atlas of Human Anatomy (ACLAND, 2003), 3D Anatomy Human Software DVD (Primal Picture, 2007) e o site Anatomy.TV (2006), que trazem estruturas das mais variadas formas, com possibilidade de dissecação virtual e observação giratória em 3D.

É importante destacar que a grande utilização desses recursos alternativos de ensino na anatomia atualmente deve-se, não unicamente ao advento do computador, mas também devido a escassez de cadáveres. Atualmente, a realidade brasileira tem sido uma diminuição na quantidade de cadáveres adquiridos pelas instituições, ao ponto de algumas delas chegarem a dispensar a sua utilização. A Lei 8501 de 30 de novembro de 1992 é a lei brasileira que dispõe sobre a utilização do cadáver não reclamado para fins de estudo e pesquisa quando disponibilizado para as instituições. No Ceará, a Lei 15985 de 22 de março de 2016, criou a CEDICE (Conselho Estadual de Distribuição de Cadáveres para fins de Ensino), entidade que inclui as instituições de ensino e que versa por promover e regulamentar a distribuição de cadáveres para as universidades.

O campo de estudo da anatomia é amplo, ou seja, possui subdivisões. A partir de uma abordagem da anatomia sistêmica, a Neuroanatomia corresponde ao estudo do sistema nervoso (D'ÂNGELO E FATTINI, 2011). Seu estudo dá-se tanto pelas aulas teóricas, onde se

utilizam diagramas, esquemas e imagens para propiciar um melhor entendimento. Tem-se ainda também as aulas práticas que permitem uma melhor visualização da peça real, permitindo a comparação pelo aluno com os conhecimentos teóricos adquiridos (SILVA ET AL, 2017).

A complexidade de entendimento pelo aluno dos assuntos da neuroanatomia nem sempre é bem suprida com gráficos, esquemas e imagens presentes nos livros. Além disso, outras situações também comprometem como a dificuldade de obtenção de peças cadavéricas, para as aulas práticas, a própria obtenção de peças específicas de neuroanatomia, que requer técnicas de conservação diferenciadas, a imperícia técnica no manuseio das peças já disponíveis, que levam ao desgaste com o tempo (RODRIGUES, 2005).

Por conta das dificuldades inerentes à própria complexidade do conteúdo de neuroanatomia, associado às dificuldades de entendimento com gráficos e, também muitas vezes, à falta de peças neuroanatômicas para aulas práticas, torna os métodos complementares bem-vindos. Nisso, propõe-se o presente trabalho a elaborar um kit de peças básicas, que permitam ao aluno tê-las consigo e lhe permita associar o estudo teórico, com as peças modeladas em 3D em qualquer ambiente.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

- Elaboração de modelos para prática em neuroanatomia, modeladas em impressão 3D, como recurso didático para o aluno.

2.2 ESPECÍFICO

- Compreender os processos de produção de materiais, utilizando impressora 3D;
- Compreender os processos de modelação gráfica de imagens em 3D;

3 METODOLOGIA

Este trabalho trata-se de um estudo metodológico, que possui como objetivo investigar os métodos de obtenção, organização e análise de dados para elaboração de instrumentos didáticos (POLIT; BECK, 2011).

As peças aqui produzidas foram baseadas em imagens do Atlas de Anatomia Humana de Netter. Delas, partiu a idéia para elaboração do projeto gráfico computacional.

A etapa de produção do modelo gráfico e sua posterior impressão foi realizada com a parceria da empresa CRAFF TECNOLOGIA EM IMPRESSÃO 3D.

Utilizando o software de escultura digital ZBrush, o projetista pode realizar o projeto gráfico, ou seja, o modelo computacional que pode ser modificado até que a peça completa esteja elaborada. Esse arquivo é salvo em uma extensão do tipo OBJ, um ficheiro de gráficos 3D. Após realizado a parte gráfica, o mesmo foi avaliado quanto a sua forma, presença de detalhes importantes ao propósito da peça. Depois de avaliada, o arquivo é encaminhado para impressora do tipo Makerbot Replicator™ 2. Esse tipo de impressora utiliza como tecnologia de impressão o método de modelagem por deposição de material fundido (FDM). Sua matéria-prima é o PLA (poliácido láctico). Esse material é um polímero sintético termoplástico, formado pela repetição de várias cadeias de ácido láctico. Em geral apresenta boa vantagem em relação a outros plásticos por ser biodegradável. No ato da impressão, a peça é produzida com os chamados excessos. São partes que não fazem parte do objeto final, mas que são necessários ao processo de impressão. Após a peça impressa, os excessos são retirados.

Os primeiros modelos produzidos pelo trabalho foram peças que retratam o sistema ventricular do sistema nervoso central, ao nível do encéfalo, tronco encefálico e cerebelo.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA IMPRESSÃO EM 3D

O princípio da impressão 3D baseia-se em dois conceitos principais, que se mantêm mesmo com toda a evolução e modernização que a tecnologia apresentou ao longo do tempo. O primeiro deles é a fabricação de objetos através da deposição camada a camada, resultando, após sua superposição, em uma peça geométrica. Em segundo, a fabricação é controlada e baseada em uma representação gráfica, cujos parâmetros, hoje em dia, são colocados em um programa de computador (software).

Apesar da popularização e uso doméstico da impressora 3D ser algo relativamente recente, os princípios e técnicas anteriores que resultariam nessa tecnologia datam desde o século XIX. Em seu trabalho, Bourell (2009) desenhou, como vê-se na figura abaixo, em uma linha do tempo as várias patentes, cujos princípios técnicos e idéias confluíam na patente de Hull em 1986, quando se originou o primeiro sistema de impressão 3D a ser comercializado.

A topografia e a fotoescultura são dois campos, cujos princípios juntos, levaram a criação da tecnologia para impressão 3D. Do campo da topografia, incorpora-se o conceito presente desde a patente de Blather de 1890. Ele utilizava a idéia de construção por camadas do mapa do relevo topográfico (BOURELL, 2009). Para isso, Blather utilizava placas de cera, que tinham o formato de cada linha do relevo. Elas eram então empilhadas e uniformizadas, gerando assim a superfície tridimensional do relevo, como mostra a figura seguinte.

Outros inventores trabalharam no campo da topografia, elaborando diversas outras patentes, cujo princípio baseava-se no de Blather, mas trabalhando com outros materiais, como papel ou placas transparentes (MONTEIRO, 2015).

A fotoescultura apresentava o objetivo de replicar formas tridimensionais de qualquer objeto, incluindo silhuetas humanas. Uma das primeiras tecnologias bem-sucedidas desse processo foi patenteada por François Willème em 1860. Willème propôs um método de fotoescultura, onde um objeto era fotografado por 24 ângulos diferentes por câmeras, dispostas como mostra a figura abaixo. A partir de cada fotografia, uma parte da silhueta do objeto (1 sobre 24 avos – 1/24) era esculpida, resultando no contorno inteiro do objeto como resultado final.

Em 1951, Munz patenteou uma técnica que pode ser considerada a precursora da atual estereolitografia e que combinava princípios da topografia e da fotoescultura. A partir de um objeto escaneado, ele utilizava camadas de uma fotoemulsão transparente, que era exposta a uma fonte de radiação e a substâncias fixadoras para fazer uma seção transversal da silhueta do objeto. Depois de feito todo o processo, o cilindro resultante apresentava uma imagem do objeto que era depois esculpido manual ou quimicamente.

Com o aprimoramento e união dos conceitos das técnicas da topografia e da fotoescultura, associado ao aprimoramento da ciência computacional, Chuck Hull desenvolveu em 1984 a primeira técnica de produção de um objeto a partir de um arquivo virtual (DABAGUE, 2014). A estereolitografia ou *Stereolithography* (SLA), como ele denominava, foi patenteada em 1986. Hull utilizava-se de uma resina fotocurável, que se solidificava após ser exposta a raios ultravioleta. Assim, a partir de um arquivo virtual e manipulado por computador, um feixe ultravioleta era lançado sobre a resina que se solidificava, formando camadas do objeto sobre uma plataforma. Após uma camada pronta, a plataforma descia e uma nova camada era feita sobre a anterior, como mostra a figura abaixo.

4.2 PROCESSOS DE TRANSFORMAÇÃO

A fabricação de materiais ocorre através basicamente de três princípios: subtração, conformação e adição (MONTEIRO, 2015).

A elaboração de um produto final, peça ou objeto, pela impressão 3D, desde a sua técnica inicial (SLA), pode ser classificada como um processo transformativo por adição, por conta de seu princípio básico de depositar camadas de objeto a partir dos parâmetros de um molde virtual, comandados por computador.

Na adição, conforme exposto, um material é colocado em um molde que leva a forma final do objeto. Diferente deste, outros dois processos podem ser destacados: a subtração e a conformação.

De uma maneira simples, a subtração parte do princípio onde um bloco grosseiro de matéria prima vai sendo modelado, a partir da remoção do excesso de material até que ganhe a forma do produto final. É o que ocorre na escultura, no torneamento, na eletroerosão, dentre outros. Na conformação, também se parte de uma peça única, que é deformada, até adquirir a forma do produto final, como ocorre no forjamento, laminação e metalurgia, por exemplo.

4.3 PRINCÍPIOS DA MANUFATURA ADITIVA NA IMPRESSORA 3D

Monteiro (2015) resumiu as etapas de elaboração do produto final pela impressora 3D em basicamente 8 etapas, como exemplificados na figura 6.

A primeira etapa, criação da geometria, corresponde ao passo inicial, onde a geometria/formato do objeto é inserida em um ambiente/plataforma virtual (software). Então, esses parâmetros são convertidos em um arquivo compatível ou que pode ser lido pela impressora. É a etapa de conversão do arquivo. Isso ocorre, pois, o equipamento da impressora tem formato específico de arquivos que consegue ler, sendo os principais o STL (*stereolithography*) e o IGES (*Initial Graphics Exchange Specification*). Depois do arquivo convertido, ele é enviado para o equipamento (transferência para a máquina).

A configuração de trabalho corresponde ao ajuste dos parâmetros da impressora para seu correto funcionamento durante a elaboração da peça. Após todos esses ajustes, o processo de fabricação é iniciado. Essa etapa é praticamente toda automatizada, necessitando de mínima interferência, a não ser a vigilância para captar ou corrigir eventuais erros durante o processo. Uma vez terminada a peça, a depender de como ela foi produzida, deve passar pela remoção de eventuais matérias ou excessos, principalmente os chamados suportes. As etapas de pós-processamento e aplicabilidade são os passos finais até o produto estar disponível para o consumidor. No primeiro, a peça passar por uma etapa de limpeza e terminando por seu acabamento final na última etapa.

4.4 PRINCIPAIS TÉCNICAS EM IMPRESSÃO 3D

Como foi dito, a SLA ou estereolitografia, proposta por Hull em sua patente em 1986, foi a primeira técnica de impressão 3D registrada. Hoje em dia, ela corresponde a uma das técnicas que podem ser utilizadas. As principais técnicas utilizadas por impressoras 3D serão elencadas a seguir.

4.4.1 Estereolitografia

Nesse processo, utiliza-se um fotopolímero líquido. Um feixe de luz laser percorre uma determinada área da camada do líquido, promovendo assim o endurecimento do polímero, conforme a figura a seguir. A camada, agora sólida do polímero fica apoiada sobre uma plataforma. Após terminada, a plataforma desce alguns decímetros de milímetros,

promovendo uma nova camada de líquido sobre a anterior endurecida. Essa nova camada será submetida ao laser, promovendo seu endurecimento também, assim camada a camada do objeto vai sendo criada e depositada uma sobre a outra até sua confecção final. A desvantagem dessa técnica é que a peça é produzida com um único tipo de material e os polímeros fotossensíveis disponíveis não apresentam grande resistência, além do custo de operação e manutenção da máquina que ainda dificulta sua utilização a nível doméstico.

4.4.2 Deposição por Material Fundido (FDM – *Fused Deposition Modeling*)

Utilizando-se de um material plástico, ele é cuidadosamente exteriorizado por um bico extrusor. Durante a produção da camada, o material é depositado no contorno periférico do objeto, que será então preenchido. A camada é confeccionada em uma plataforma que desce alguns decímetros de milímetros, para que uma nova camada seja feita sobre a anterior. Tem a vantagem de uma grande variedade de materiais poder ser utilizado como matéria-prima, além de apresentar um custo mais reduzido que a torna uma tecnologia mais popular.

4.4.3 Sinterização por Laser Seletivo (SLS – *Selective Laser Sintering*)

Utilizando-se de uma camada de pó, depositada sobre uma superfície, um feixe laser de alta potência percorre uma área específica da camada de pó. Este, ao entrar em contato com o laser, solidifica-se. A camada confeccionada desce alguns decímetros de milímetros e um rolo joga nova camada de pó. Tem a vantagem de o pó não sinterizado pode servir como suporte para partes das peças pendentes, e o pó não utilizado podem ser reaproveitado.

4.4.4 Impressão Tridimensional (3DP – *Three Dimensional Printing*)

Na impressão tridimensional, a cabeça de impressão libera cola ou substância adesiva sobre uma camada de matéria-prima em pó, depositada sobre uma plataforma. Após a colagem da camada, a plataforma desce, e um sistema de rolo espalha uma nova camada de pó sobre a anterior, para que seja reiniciada a colagem. Apresenta como vantagem o fato de não utilizar laser, diminuindo o consumo energético, além da grande variedade de pó que pode ser utilizado (amido, pó de vidro, serragem, pó de metais). Também possibilita a impressão multicolor.

4.4.5 Impressão por Jato de Tinta (IJP – *Ink Jet Printing*)

É uma das tecnologias mais recentes. Nele combina-se uma cabeça de impressão que libera camadas finas em jatos de um polímero líquido que entram em contato com luz

UV, sofrendo processo de catalisação, solidificando-se. Apesar de permitir a possibilidade de utilização de vários materiais, ainda apresenta pouca variedade de materiais disponíveis.

4.4.6 Modelagem por Laser de Engenharia (LENS – *Laser Engineered Net Shaping*)

Nesse sistema, uma cabeça de impressão lança jatos de material em pó em direção a um feixe laser de alta potência, promovendo uma fusão quase que instantânea, sobre uma plataforma. A vantagem desse processo é poder utilizar materiais resistentes como titânio e aço, o que despertou o interesse das grandes indústrias no processo de impressão 3D, principalmente a aeroespacial e a automotiva.

4.4.7 Modelagem de Objeto por Laminação (LOM – *Laminated Object Modeling*)

Diferente das outras impressoras, as LOM não utilizam uma cabeça de impressão, mas sim folhas laminadas da matéria-prima (papel, plástico ou metal). Uma faca ou luz laser corta a folha seguindo a geometria do produto final. Terminado o corte, uma camada de adesivo é depositada, seguida de uma nova lâmina da matéria-prima. O adesivo funde-as, gerando assim o objeto sólido.

Todos essas técnicas de impressão podem ser classificadas de acordo com o material utilizado pela impressora ou a matéria-prima da seguinte maneira (ANTAS, 2007; VOLPATO, 2007):

- Sistemas baseados em líquidos:
 - Estereolitografia (SL – *StereoLithography*)
 - Impressão por jato de tinta (IJP – *Ink Jet Printing*)
- Sistemas baseados em sólidos:
 - Deposição de material fundido (FDM – *Fused Deposition Modeling*)
 - Modelagem por objeto laminado (LOM – *Laminated Object Manufacturing*)
- Sistemas baseados em pó:
 - Impressão tridimensional (3DP – *3 Dimensional Printing*)
 - Sinterização por laser seletivo (SLS – *Selective Laser Sintering*)
 - Modelagem por laser de engenharia (LENS – *Laser Engineered Net Shaping*)

5 RESULTADOS

5.1 CONSTRUÇÃO DO MODELO GRÁFICO

A construção dos modelos gráficos foi auxiliada por um projetista/designer gráfico, já experiente na elaboração de formatos 3D em computador. O trabalho gráfico foi desenvolvido no software de modelagem tridimensional denominado ZBrush®, criado pela empresa Pixologic.

A base de imagens para construção dos modelos gráficos foi feita a partir de imagens selecionadas do Atlas de Anatomia Humana de Netter. Selecionamos inicialmente, tanto pelo formato mais simples quanto pela importância, imagens do sistema ventricular, em especial dos ventrículos laterais, III ventrículo, IV ventrículo e tronco encefálico. Essas imagens irão servir de referência (figura 14).

Essas imagens irão servir de referência para modelação no software. A partir delas, é criada uma esfera-conceito na área de trabalho do ZBrush®. A partir dessa esfera e visando as referências das figuras selecionadas, é iniciado um processo denominado de Blocagem. Nessa etapa o conceito é deformado em sua superfície a partir de formas poligonais, inicialmente, utilizando-se poucos polígonos, como exemplificado na figura abaixo:

A blocagem vai propiciar que a forma, inicialmente esférica, comece a adquirir o formato, ainda que grosseiro. Após isso, é feito um aumento da resolução da malha do modelo para fazer um ajuste mais fino das arestas, adicionar os detalhes como reentrâncias ou depressões na superfície, até que se obtenha um modelo gráfico à semelhança das figuras selecionadas, prezando pela manutenção da maior quantidade de estruturas anatômicas de cada estrutura (figura 16).

Depois de pronto o modelo, ele é salvo em um arquivo do tipo OBJ, que é o tipo de extensão de arquivo compatível com a impressora que será utilizada na fabricação da peça.

5.2 IMPRESSÃO DO MODELO GRÁFICO

Com o arquivo já pronto, realizam-se eventuais cortes profissionais. Como a estrutura tridimensional tem superfície irregular, procede-se a um plano de corte. O objetivo é promover uma superfície plana que sirva de base para que a impressão seja executada. As figuras 17 e 18 exemplificam o corte na peça do tronco encefálico.

Depois das peças prontas e dos cortes realizados, o arquivo com o modelo está pronto para impressão.

A impressora utilizada neste trabalho é do tipo MAKERBOT REPLICATOR™ 2X (figura 19). Seu método de impressão é por Deposição de Material Fundido (FDM). Usou-se como matéria prima uma fibra plástica denominada plástico poliácido láctico (PLA) (figura 20). O filamento é introduzido no bico do extrusor, onde é aquecido até seu ponto de fusão, tornando-o mais maleável. O filamento fundido vai então sendo depositado sobre uma plataforma, a partir das coordenadas limites do modelo gráfico, de baixo para cima.

Depois de terminada a impressão (figura 21), a peça já pode ser manuseada para estudo. Eventualmente, em algumas peças podem ficar excessos de matéria-prima, que são facilmente retirados. Esses excessos, muitas vezes, podem ser colocados de maneira proposital, pois em um modelo de superfície muito irregular, ou com projeções que se distanciam muito da parte principal, seria esperado que, ao depositar filamento dessa parte particular, o mesmo tombasse. Dessa maneira o excesso de matéria-prima teria função de suporte. Fazendo uma analogia, se fôssemos imprimir o Cristo Redentor, imediatamente após a deposição do primeiro filamento do membro superior, como se afasta muito do corpo, seria esperado que ele caísse. A figura 22 mostra um dos ventrículos laterais impresso, com pequenos excessos em sua borda.

A tabela 1 relaciona as principais características das peças feitas, bem como seus custos relacionados.

Tabela 1: características e custos dos modelos anatômicos

Peça	Tamanho (cm)	Custo projeção	Custo produção
Ventrículos laterais (2)	11,5 x 6,8 x 7,5	R\$ 500,00	R\$ 75,50
Terceiro ventrículo	4,1 x 2,5 x 0,9		
Tronco encefálico	15 x 3 x 3		R\$ 200,00
Encéfalo	17,92 x 14,82 x 2,31	R\$ 600,00	R\$ 274,88

Fonte: Elaborado pelo autor.

6 DISCUSSÃO

De acordo com Volpato (2007), o ciclo da Prototipagem Rápida inicia-se com a etapa de criação de um modelo 3D. Existem três formas principais de se obter um modelo 3D, os quais estão resumidos no esquema da figura 23, sendo eles: a modelagem em sistemas CAD, os scanners ópticos e os scanners médicos.

O sistema CAD (Computer Aided Design – desenho assistido por computador) refere-se a um nome comum para vários softwares diferentes, utilizados para a criação de projetos e desenhos técnicos, como representa a figura 24.

Foi utilizando uma dessas plataformas, no caso o ZBrush, que os modelos tridimensionais bases para impressão das peças deste trabalho foram elaboradas.

Os scanners ópticos são também chamados de scanners industriais a laser ou luz branca. Esse método copia modelos já prontos, muitas vezes fabricados manualmente. A geometria do objeto físico é copiada para um sistema gráfico como uma nuvem de pontos, que, em seguida, é convertida para uma superfície (GOMES, 2014), como está representado na figura 25.

Os scanners médicos utilizam imagens obtidas através de Tomografia Computadorizada (TC) ou Ressonância Magnética (RNM), onde as imagens da anatomia interna de um paciente são tratadas, segmentadas e reconstruídas em modelos 3D através de softwares específicos (VOLPATO, 2007), como representado na figura 26.

De uma maneira geral, a tomografia é um processo de obtenção de imagem a partir de uma seção reta do objeto a ser analisado. Essa seção é chamada de tomograma (FERRAZ, 2003), como mostra a figura 27.

A partir do conjunto dos tomogramas, que são feitos em cortes muitos próximos, é que são gerados as imagens e reconstruções tridimensionais na TC. O conjunto dos pixels das imagens bidimensionais geram os voxels, que são unidades de volume. Um software de processamento e computação gráfica é responsável pela geração das imagens tridimensionais, como mostrado na figura 28.

Vê-se que para a etapa inicial deste trabalho que tratou da formação de imagens 3D que seriam a base para impressão das peças, poderia ter isso utilizado tanto sistemas CAD, como de fato foi feito, quanto scanners médicos. Estes com certa vantagem em relação à

obtenção de imagens sobre aqueles, visto que, para modelar numa plataforma gráfica é necessário um bom nível de conhecimento técnico de computação gráfica, além de experiência. Já imagens de TC ou RNM estão já prontas e disponíveis, se, de maneira simplificada, pensarmos na quantidade de clínicas de imagem que existem, cada uma com incontável quantidade já armazenada em seus bancos de dados. Entretanto, para utilização dessas imagens médicas, algumas dificuldades se especulariam, principalmente de natureza ética e técnica.

Pela questão ética, deve-se pensar que, apesar de já existirem inúmeras imagens em clínicas que poderiam ser utilizadas, essas mesmas imagens foram geradas a partir de pessoas (pacientes), que, no curso de sua moléstia, precisaram se submeter a procedimentos diagnósticos de imagem. Questiona-se então: essas imagens podem ser utilizadas livremente ou são imagens privativas de uma pessoa, apenas sob a guarda de um profissional ou clínica?; há necessidade de consultar o paciente para solicitar a utilização da imagem com um termo de consentimento?

A outra dificuldade refere-se a questões técnicas. Os aparelhos e softwares de TC de RNM apresentam especificações definidas e geram imagens em um formato chamado DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine). Esse formato não é lido pelos programas de impressora 3D, devendo as mesmas serem tratadas, convertidas para outros formatos através de softwares específicos, permitindo assim que as reconstruções possam ser lidas pelas impressoras. Isso exige conhecimento técnico e preparo de profissionais que trabalham diuturnamente com imagens médicas como técnicos e médicos radiologista.

Como mencionado anteriormente, a matéria-prima da Makerbot Replicator 2 é o PLA. Como não há acréscimo ou mistura de outros componentes durante o processo de fabricação da peça, ela então, adquire as mesmas características e propriedades do PLA. O filamento PLA ou Poliacido Láctico é um poliéster termoplástico, produzido a partir do amido de milho ou cana de açúcar, sendo, portanto, um material biodegradável, de fácil utilização e manipulação e que não emite odor ou gás durante o processo de impressão, podendo ser lavado e inclusive, pintado externamente, constituindo assim uma vantagem do produto frente a outros modelos comerciais produzidos a partir de plásticos comuns, onde o aluno pode, por exemplo, pintar os componentes da peça a medida que avança no conhecimento e, posteriormente, retirar a tinta (necessária que a mesma seja solúvel em água, como a tinteira guache).

O custo de produção das peças do kit de neuroanatomia também constituem um atrativo, visto serem menores do que o preço dos modelos comerciais. Pesquisando em sites que disponibilizam comercialmente modelos anatômicos, vemos que duas principais empresas, 3B SCIENTIFIC e CENTERMEDICAL, apresentaram as faixas de preço de acordo com a tabela 2.

Tabela 2: faixas de preço de modelos anatômicos

	KIT 3D DE NEUROANATOMIA	3B SCIENTIFIC	CENTERMEDICAL
Ventrículos laterais (2)	R\$ 75,50	R\$ 726,00	Não dispõe
Terceiro ventrículo			
Tronco encefálico	R\$ 200,00	Não dispõe	Não dispõe
Encéfalo	R\$ 274,88	R\$ 444,00 – R\$ 4456,00	R\$ 292,32 – R\$ 1680,84

Fonte: Elaborado pelo autor

Uma terceira empresa, a PROLAB, também comercializa alguns modelos anatômicos, entretanto, não disponibiliza faixa de preço em seu site. Apesar disso, também não dispõe, em sua lista de peças, de modelos dos ventrículos nem do tronco encefálico.

As figuras 29, 30 e 31 são representativas de alguns modelos disponíveis no site das referidas empresas.

Uma outra vantagem de poder utilizar a impressão 3D para elaborar peças para um Kit de Neuroanatomia é maior poder de versatilidade, ou seja, maior capacidade de planejar uma peça específica e de produzi-la a preço acessível. Vemos, por exemplo, que nenhuma das 3 empresas pesquisadas dispõem de um modelo comercial do Tronco Encefálico e apenas uma delas, a 3B SCIENTIFIC, dispõe de peça do sistema ventricular.

Essa vantagem, citada anteriormente, de versatilidade das peças alia-se a outro ponto positivo que é o fato de as impressoras 3D estarem cada vez mais domésticas e com preço mais acessível à população em geral que pode, desse modo, adquirir um equipamento dessa natureza para uso pessoal. A exemplo disso, em sites populares de venda de produtos, como Mercado Livre, têm-se à venda o mesmo tipo de impressora utilizada pela empresa que

elaborou as peças deste trabalho, a MAKERBOT REPLICATORTM2, com faixa de preço entre R\$ 6500,00 e R\$ 19000,00.

Alguns pontos a serem melhorados no método realizado neste trabalho diz respeito principalmente ao fato dos modelos serem monocromáticos e ao processo de modelagem gráfica. As peças foram produzidas em cor única, principalmente, como consequência do método de impressão, no caso a deposição de material fundido, que só é capaz de utilizar filamento de PLA em uma única cor, não sendo possível parar a impressão para substituir filamento. Isso, entretanto, pode ser contornado pela substituição do método, visto já existem outras impressoras capazes de imprimir peças 3D com cores variadas.

O outro ponto, correspondente a modelagem gráfica, relaciona-se ao fato de que as plataformas de computação gráfica, sistemas CAD, nem sempre são de fácil uso, principalmente, para quem não tem intimidade com computação gráfica. Nesse caso, seria vantajoso a maior utilização de imagens advindas de scanners médicos, apesar de ainda apresentar a dificuldade de reconstruir a imagem tomográfica (que necessitaria de suporte de um profissional especializado) e converter a imagem médica (DICOM) para imagens suportadas pelos softwares das impressoras 3D.

7 CONCLUSÃO

A elaboração de modelos anatômicos para estudo serve para diversificar os recursos didáticos disponíveis no ensino da anatomia, propicia melhor estudo por parte do estudante, que pode levar suas peças para casa, comparar com os atlas impressos, permitindo maior aquisição de conhecimento. Isso propicia maior segurança ao estudante, ainda que sejam necessários estudos para validação do produto, em se posicionar anatomicamente e melhor reconhecer e localizar estruturas, quando se deparar com peças cadavéricas.

Frente a isso, a utilização de equipamentos de impressão 3D para construção desses modelos anatômicos apresenta a vantagem adicional de apresentarem custo relativamente baixo, matéria-prima de qualidade e fácil de ser manipulada.

Ainda mais, as fontes de modelagem gráfica para construção e imagens 3D também se mostram versáteis, seja aquelas elaboradas em sistemas CAD, como as que poderiam ser obtidas por scanners médicos. Isso possibilita maior variedade de modelos passíveis de serem construídos com a impressão 3D, ocasionando maior variedade de peças para estudo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3B SCIENTIFIC. Disponível em: < <https://www.3bscientific.com.br/>>. Acesso em: 3 dez. 2018.

AB ANA BELY. Disponível em: < <https://www.anabely.com.br/>>. Acesso em: 3 dez. 2018.

ANTAS, Ana Filipa Filgueiras. **Utilização das tecnologias de prototipagem rápida na área médica**. 2007. 150 f. Dissertação (Mestrado em Design Industrial) – Escola Superior de Artes e Design de Matosinhos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2007.

BLOG DA ENGENHARIA. Disponível em: <<https://blogdaengenharia.com/para-aprender-autocad-apostila-gratuita-com-exercicios/>>. Acesso em: 3 dez. 2018.

BOURELL, David L. BEAMAN, Joseph J, Jr, LEU, Ming C. ROSEN, David W. A brief history of additive manufacturing and the 2009 roadmap for additive manufacturing: looking back and looking ahead. In: – **RAPID, TECH 2009: US-TURKEY WORKSHOP ON RAPID TECHNOLOGIES**, 2009. **Paper...** Istanbul, 2009.

CABELLO, Carlos Alberto de Souza. A contribuição e socialização dos conhecimentos da neuroanatomia no contexto da sala de aula, no processo de ensino e aprendizagem. **Revista Ibero-americana de Educação**, Espanha, n. 51, dez. 2009.

CANCIGLIERI JÚNIOR, Osiris; SELHORST JÚNIOR, Aguilar; SANT’ANNA, Ângelo Márcio Oliveira. Método de decisão dos processos de prototipagem rápida na concepção de novos produtos. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 22, n. 2, p. 345-355, 2015.

CENTER MEDICAL. Disponível em: < <https://www.centermedical.com.br/>>. Acesso em: 3 dez. 2018.

COUTINHO, K. D. *et al.* Modelagem 3D de imagens tomográficas para uso em prototipagem rápida: fabricação de prótese bucomaxilofacial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA, 24, 2014, Uberlândia. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Engenharia Biomédica, 2014, p. 1365-1369.

DANGELO, José Geraldo. FATTINI, Carlo Américo. **Anatomia Humana Sistêmica e Segmentar**. 3. ed. São Paulo: Atheneu, 2011.

DI DIO, Liberato João Alfonso. **Tratado de Anatomia Sistemica e Aplicada**. 2. ed. São Paulo: Atheneu. 2002.

FERRAZ, Inhaúma Neves. CONCI, Aura. Processamento de imagens na Tomografia Computadorizada. In: CONGRESSO TEMÁTICO DE APLICAÇÕES DE DINÂMICA E CONTROLE DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, 2, 2003, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: SBMAC, 2003.

FILAMENTO PLA (POLIÁCIDO LÁCTICO). Disponível em: < <https://cliever.com/assets/tutoriais/informacoes-filamento-pla.pdf> >, acessado em 13 de dezembro de 2018.

FREITAS, Valdemar de. **Anatomia: conceitos e fundamentos**. Porto Alegre: Artmed, 2004.

KONDRAT, Evandro. **Scanner 3D: aquisição de pontos 3D por raio laser**. 2011. 31 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências da Computação). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

LANA, Sebastiana Luiza Bragança; KRUCKEN, Lia; MONTEIRO, Marco Túlio Ferreira. Potencialidades da impressão 3D sob a perspectiva do design: uma análise do setor de joalheria de Belo Horizonte. **Blucher Design Proceedings**, São Paulo, v. 1, n. 4, nov. 2014.

MCLACHLAN, John C. BLIGH, John. BRADLEY, Paul. SEARLE, Judy. Teaching anatomy without cadavers. **Medical Education**, v. 38, n. 4, abril, 2004.

MONTEIRO, Marco Túlio Ferreira. **A impressão 3D no meio produtivo e o design: um estudo na fabricação de jóias**. 2015, 130 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Programa de Pós-graduação em Design, Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

POLIT, Denise F. BECK, Cheryl Tatano. Fundamentos de pesquisa em enfermagem: avaliação de evidências para as práticas da enfermagem. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011.

PROLAB. Disponível em: < <http://www.prolab.com.br/produtos/modelos-anatomicos/modelos-anatomicos-cerebro/> >, acessado em 13 de dezembro de 2018.

RODRIGUES, Hildegarde. **Técnicas anatômicas**. 4.ed. Vitória: GM Gráfica e Editora, 2010.

SILVA, Dayana Maria Serafim da. Metodologias de ensino para anatomia humana: diminuindo as dificuldades e ampliando o processo de aprendizagem. In: JORNADA DE ENSINO PESQUISA E EXTENSÃO, 13, 2013, Recife. **Anais...** Recife: UFRPE, 2013.

SILVA, M. C. OLIVEIRA, S. V. DE. ARAÚJO, E. M. Propriedades mecânicas e térmicas de sistemas de PLA e PBAT/PLA. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 9, n. 2, p. 112-117, 2014.

SUGAND, Kapil. ABRAHAMS, Peter. KHURANA, Ashish. The anatomy of anatomy: a review for its modernization. **Anatomical Sciences Education**, v. 3. p. 83-93, march/april. 2010.

UVP INC. Charles W. Hull. **Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography**. US 4,575,330, 8 ago. 1984, 11 mar. 1986.

VOLPATO, Neri. **Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2007.

ANEXOS

ANEXO A - ILUSTRAÇÕES

TOPOGRAPHY	PHOTOSCULPTURE
Blanther patent filed 1890	1860 Willeme photosculpture
Perera patent filed 1937	1902 Baese patent filed
Zang patent filed 1962	1922 Monteah patent filed
Gaskin patent filed 1971	1933 Morioka patent filed
Matsubara patent filed 1972	1940 Morioka patent filed
DiMatteo patent filed 1974	1951 Munz patent filed
Nakagawa laminated tool fabrication 1979	
	1968 Swainson patent filed
	1972 Ciraud patent filed
	1979 Housholder patent filed
	1981 Kodama patent filed
	1982 Herbert patent filed
	1984 Maruntani patent filed, Masters patent filed, Andre patent filed, Hull patent filed
	1985 Helysis founded, Denken venture started
	1986 Pomerantz patent filed, Feygin patent filed, Deckard patent filed, 3D founded, Light Sculpting started
	1987 Fudim patent filed, Arcella patent filed, Cubital Founded, DTM founded, Dupont Somos venture started
	1988 First shipment by 3D, CMET founded, Stratasys founded
	1989 Crump patent filed, Helsinki patent filed, Marcus patent filed, Sachs patent filed, EOS founded, BPM Tech. founded
	1990 Levant patent filed, Quadrax founded, DMCC founded
	1991 Teijin Seiki venture started, Föeckale & Schwartz founded, Soligan founded, Meiko founded, Mitsui venture started
	1992 Penn patent filed, Quadrax acquired by 3D, Kira venture started, Laser 3D founded, First shipment by DTM
	1994 Sanders Prototyping started
	1995 Aaroflex venture started
	1997 AeroMet formed, Optomec restarted, ZCorp started
	1998 Objet founded, Keicher patent filed
	1999 POM founded, BPM closed
	2000 Helysis closed, Solidica started
	2001 3D and DTM merge

Figura 1 – linha do tempo de patentes relacionadas com a tecnologia de impressão 3D (BOURELL, *et al*, 2009).

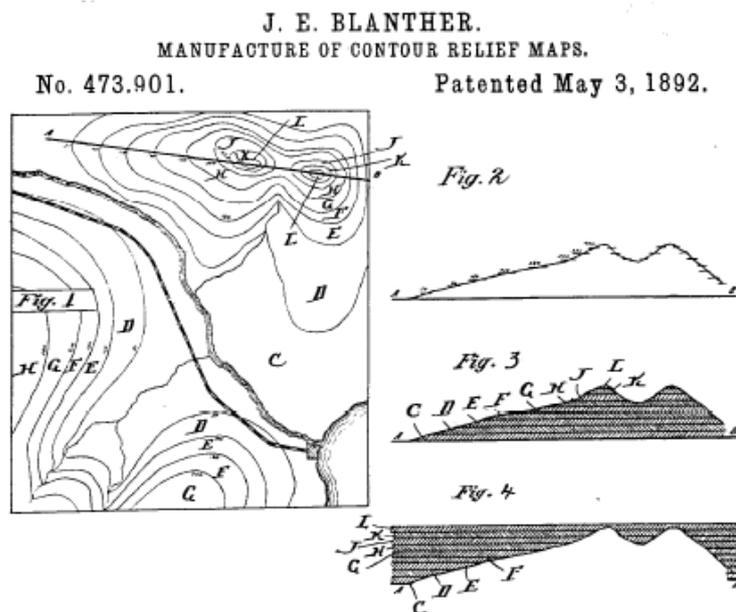


Figura 2 – ilustração da patente de Blanther, 1890 (BOURELL, *et al*, 2009).



Figura 3 – sala de fotografia para fotoescultura de Willème (BOURELL, *et al*, 2009).

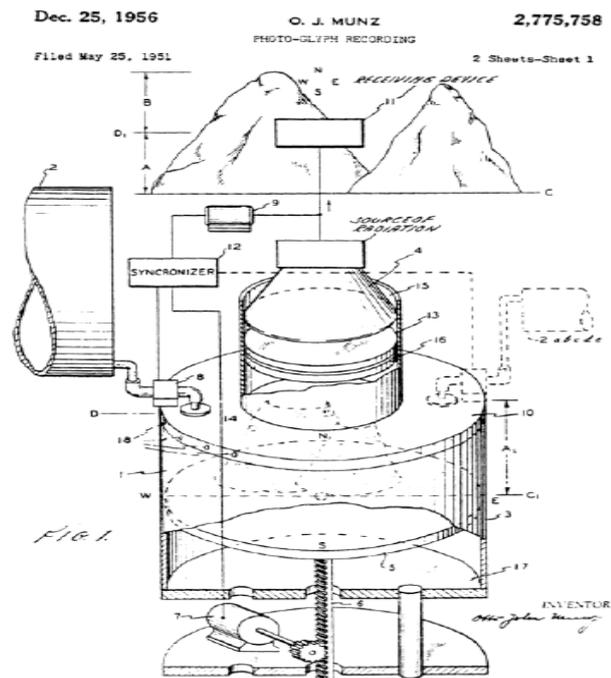


Figura 4 – técnica da patente de Munz (BOURELL, *et al*, 2009).

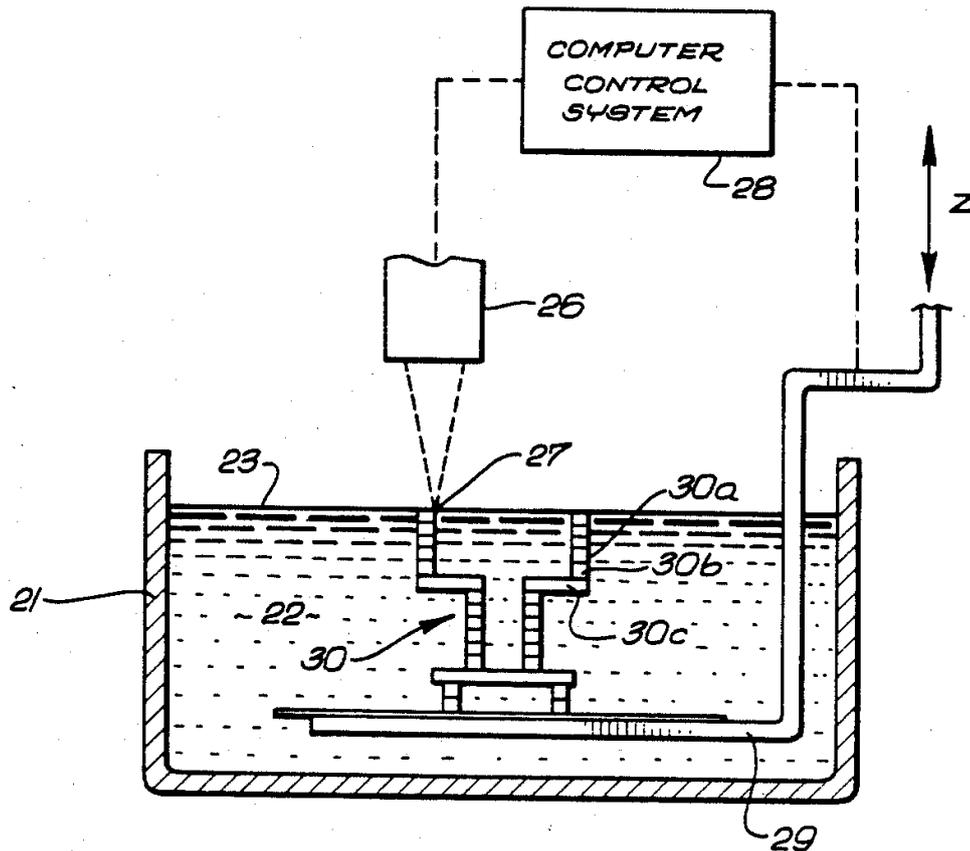


Figura 5 – ilustração do método patenteado por Hull (BOURELL, *et al*, 2009).



Figura 6 – etapas da elaboração do produto pelo processo aditivo da impressora 3D (MONTEIRO, 2015, baseado em GIBSON, ROSEN e STUCKER, 2010).

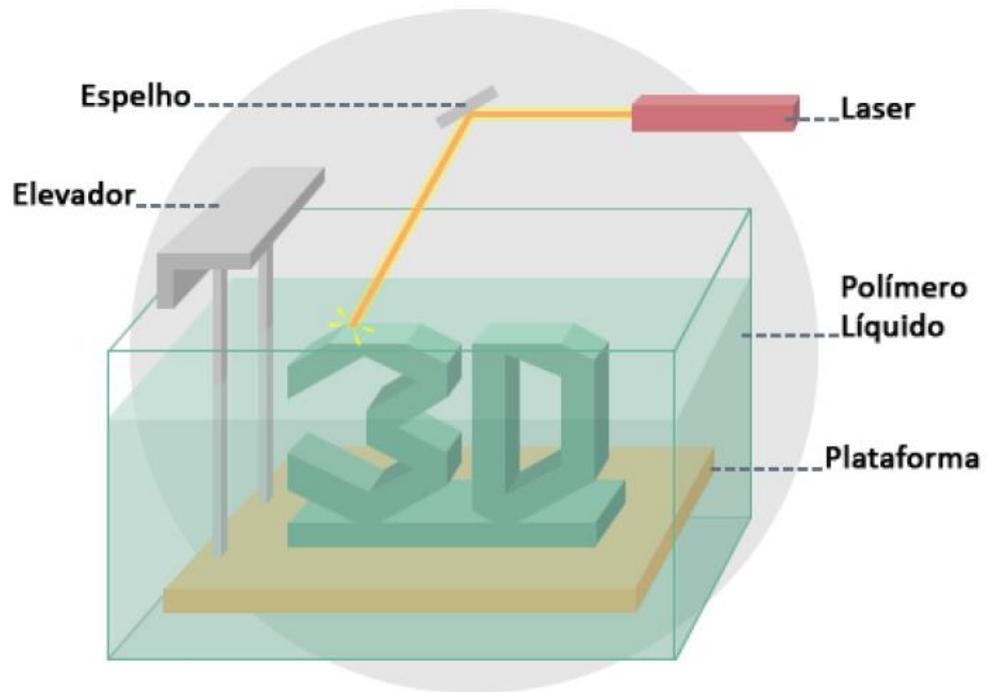


Figura 7 – representação esquemática da estereolitografia (MONTEIRO, 2015, retirado de THRE3D, 2014)

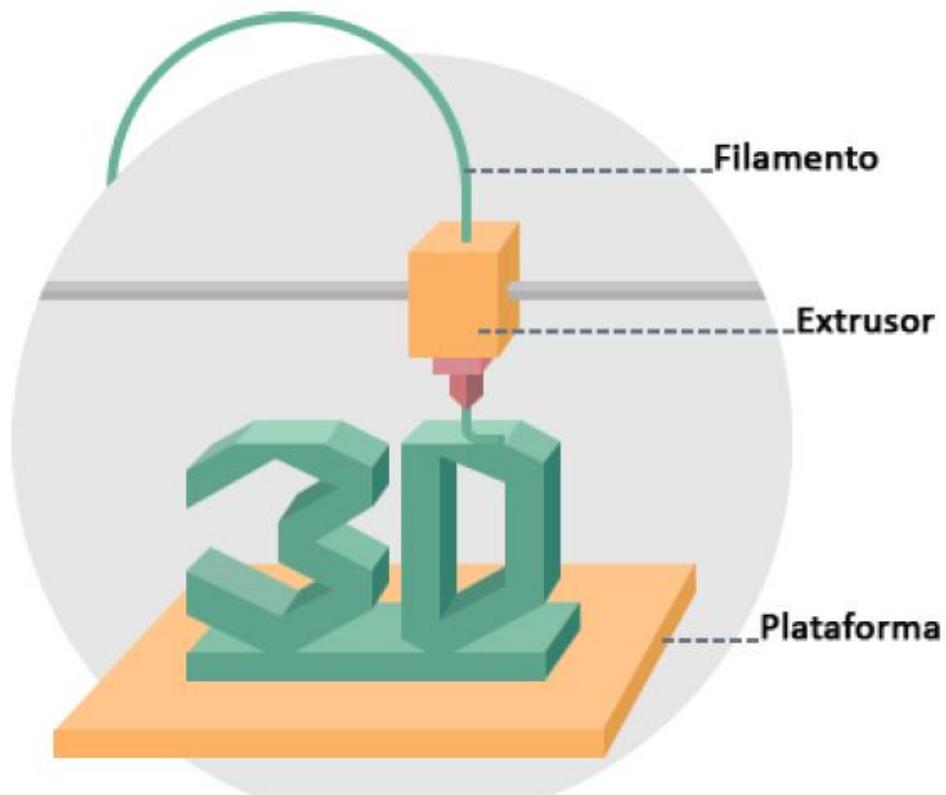


Figura 8 – representação esquemática da Deposição por Material Fundido (MONTEIRO, 2015, retirado de THRE3D, 2014)

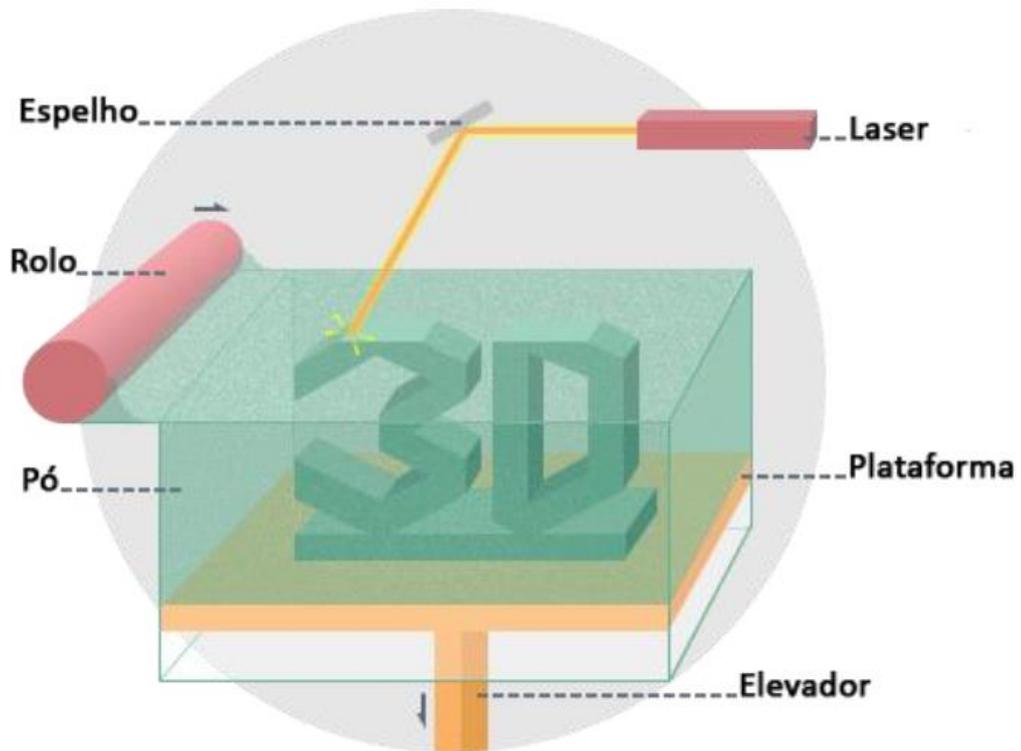


Figura 9 – representação esquemática do processo de Sinterização por Laser Seletivo (MONTEIRO, 2015, retirado de THRE3D, 2014)

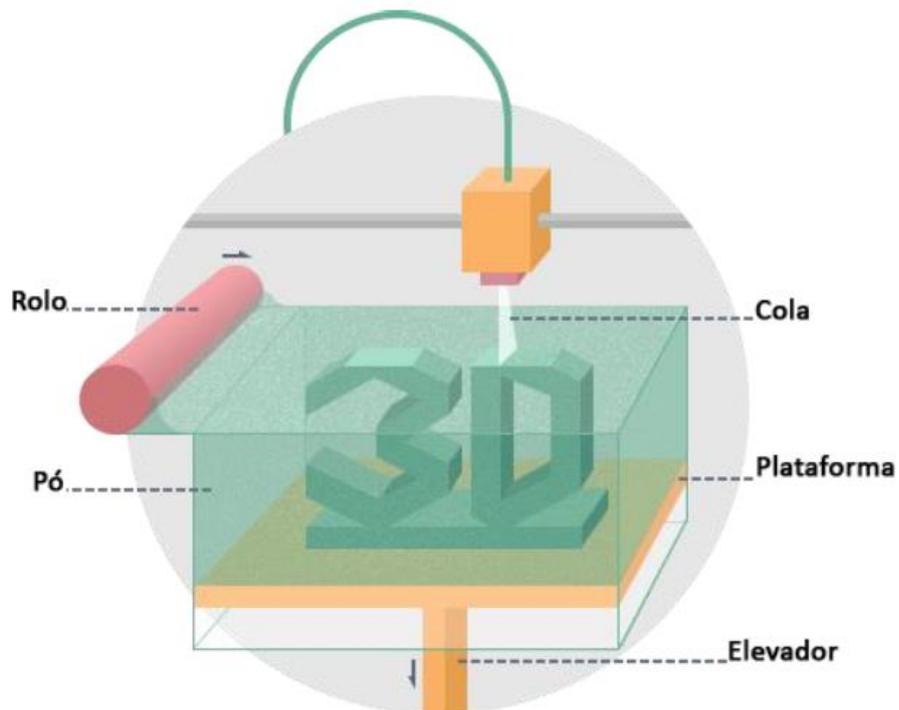


Figura 10 – representação esquemática da Impressão Tridimensional (MONTEIRO, 2015, retirado de THRE3D, 2014)

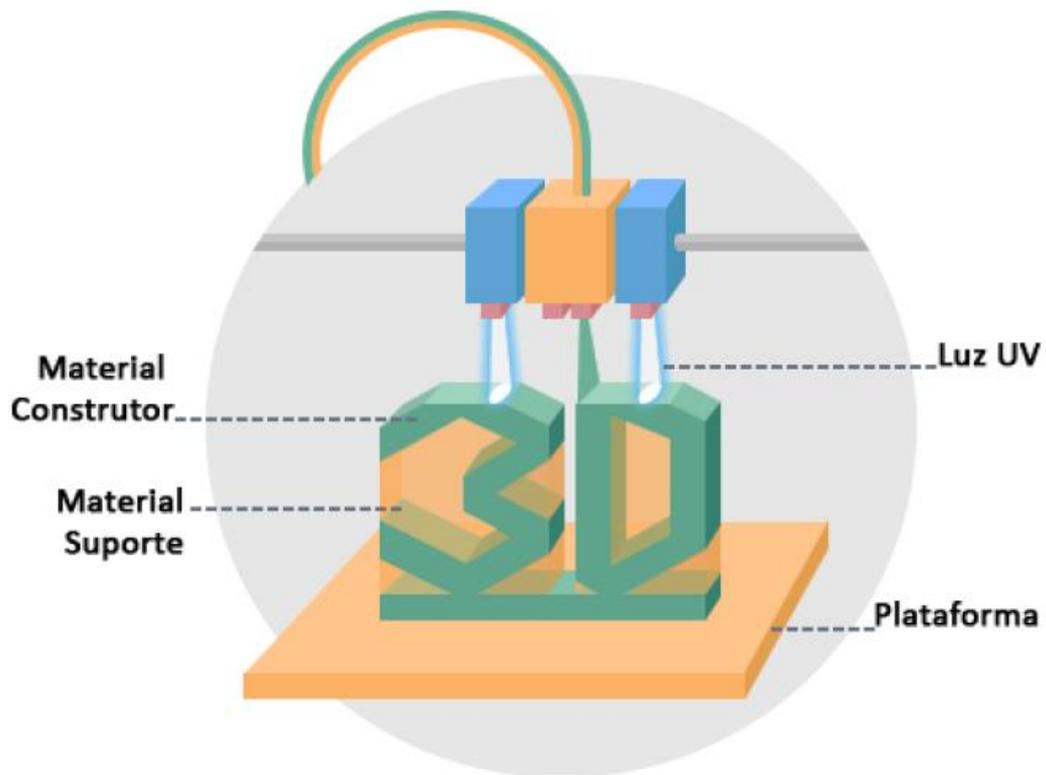


Figura 11 – representação esquemática da Impressão por Jato de Tinta (MONTEIRO, 2015, retirado de THRE3D, 2014)

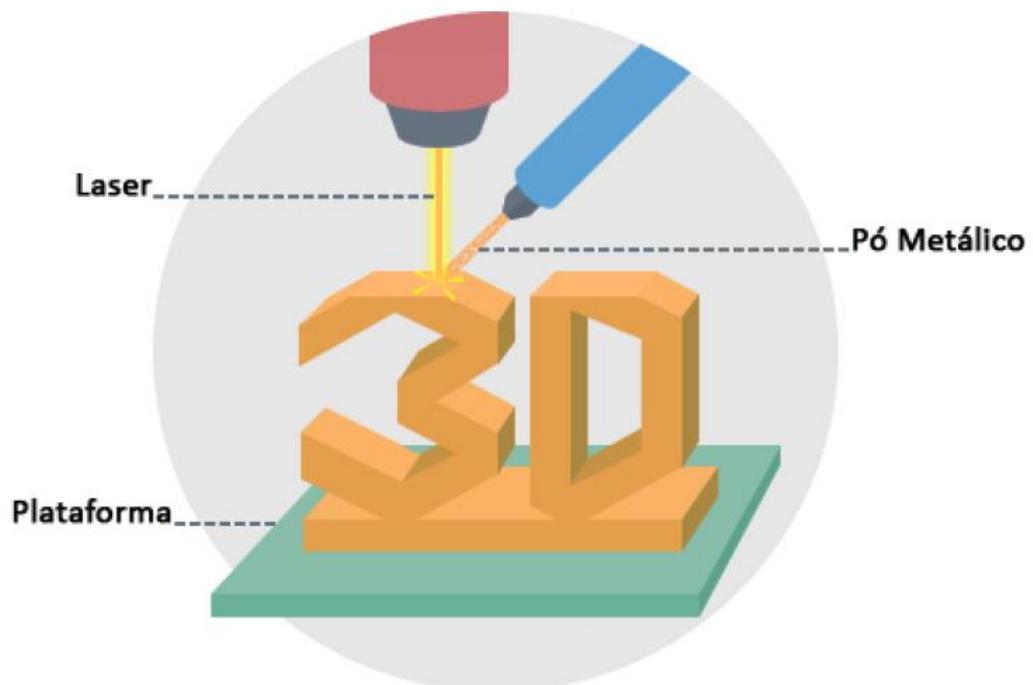


Figura 12 – representação esquemática da Modelagem por Laser de Engenharia (MONTEIRO, 2015, retirado de THRE3D, 2014)

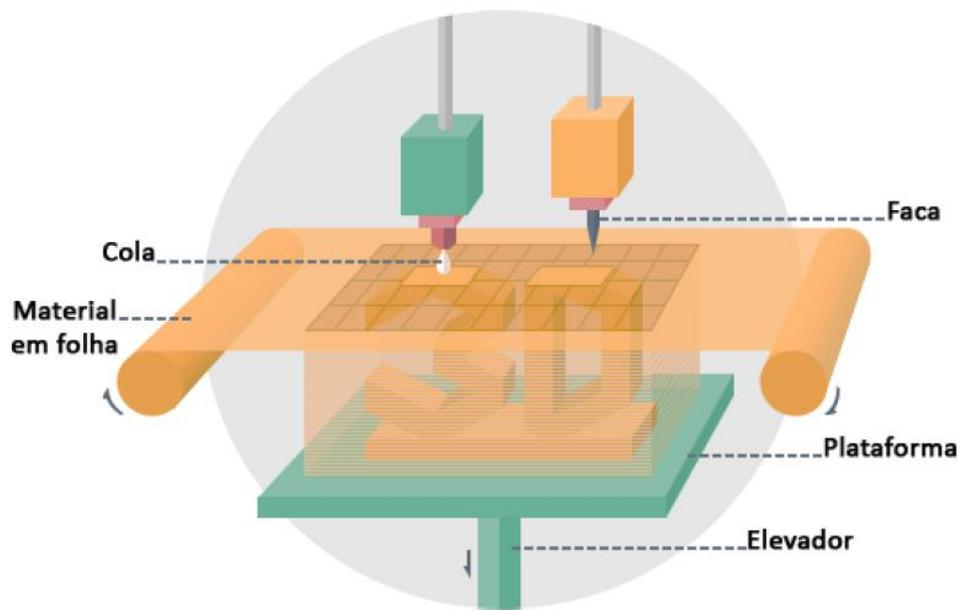


Figura 13 – representação esquemática da Modelagem de Objeto por Laminação (MONTEIRO, 2015, retirado de THRE3D, 2014)

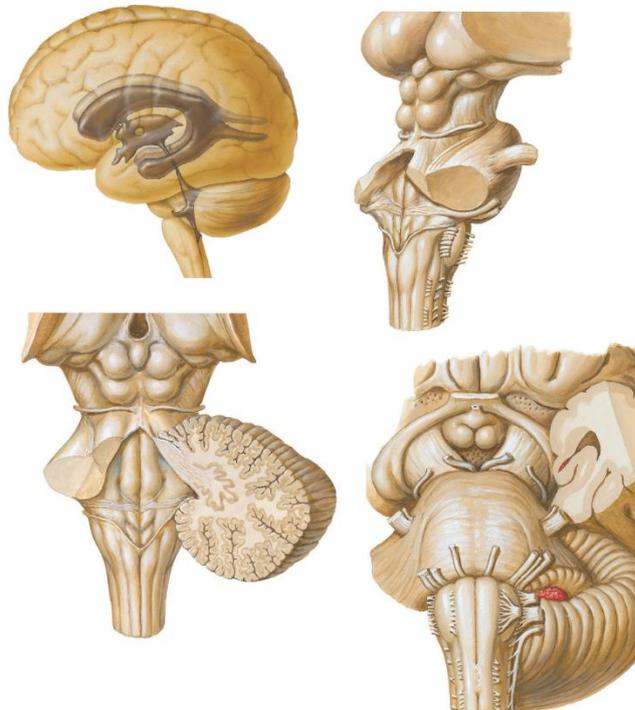


Figura 14 – imagens do sistema ventricular e tronco encefálico retiradas do Atlas Anatomia Humana de Netter.



Figura 15 – deformação do conceito inicial na etapa de blocagem (representação da internet, disponível em: <<http://thebyang.blogspot.com/2011/10/ola-galera-vou-fazer-uma-preve.html>>, acessado em 12 de dezembro de 2018)



Figura 16 – modelo gráfico do tronco encefálico, após etapas de blocagem e refinamento com detalhes da estrutura preservados.



Figura 17 – plano de corte representado pela linha vermelha.

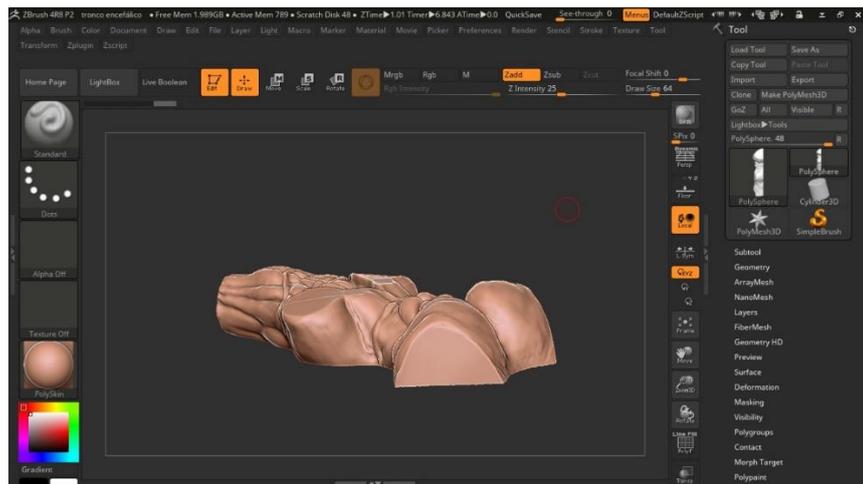


Figura 18 – representação do modelo do tronco encefálico, tendo o plano de corte como base para impressão da peça.



Figura 19 – impressora 3D, com detalhe da parte móvel.



Figura 20 – filamento de PLA.



Figura 21 – peça do tronco encefálico impressas.



Figura 22 – pelas do sistema ventricular, note o ventrículo lateral com irregularidades na superfície, correspondendo aos excessos de matéria-prima.

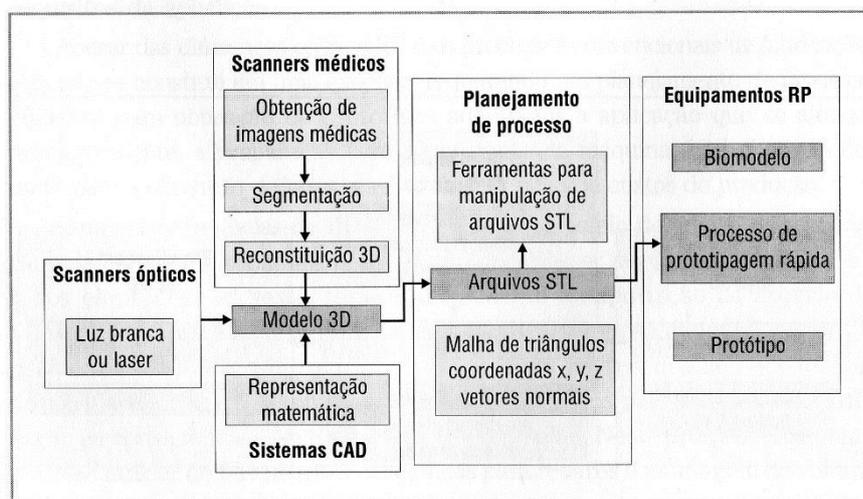


Figura 23 – representação dos métodos de obtenção de modelos 3D, com seqüência para método de prototipagem rápida

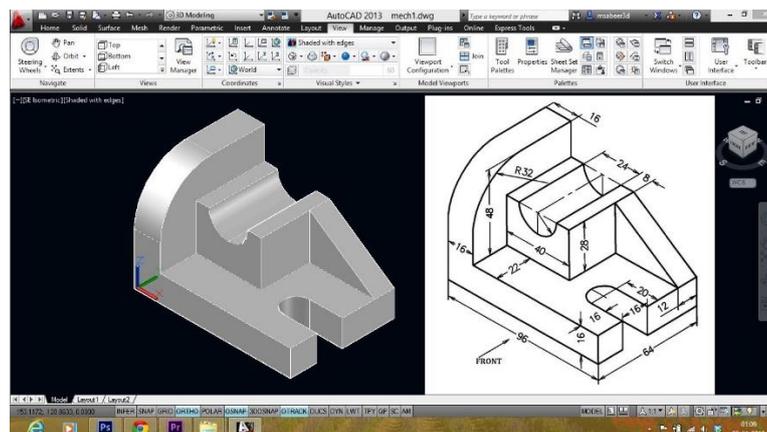


Figura 24 – modelagem gráfica em 3D através de sistema CAD (disponível na internet <https://blogdaengenharia.com/para-aprender-autocad-apostila-gratuita-com-exercicios/>).

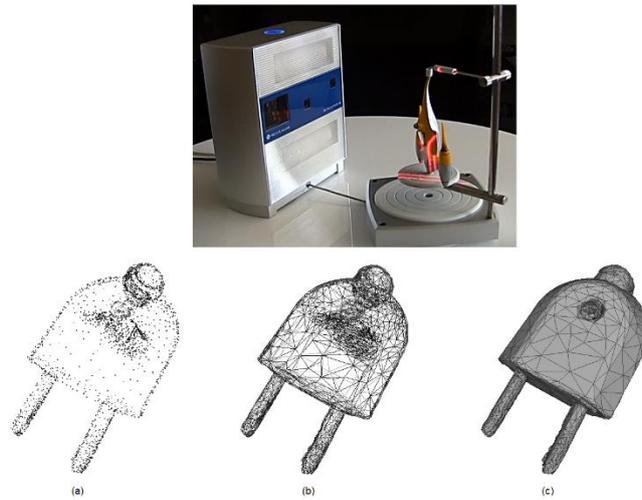


Figura 25 – scanner industrial e sequência de modelagem gráfica da nuvem de pontos até a malha de superfície triangular (adaptado de GOMES, 2014).

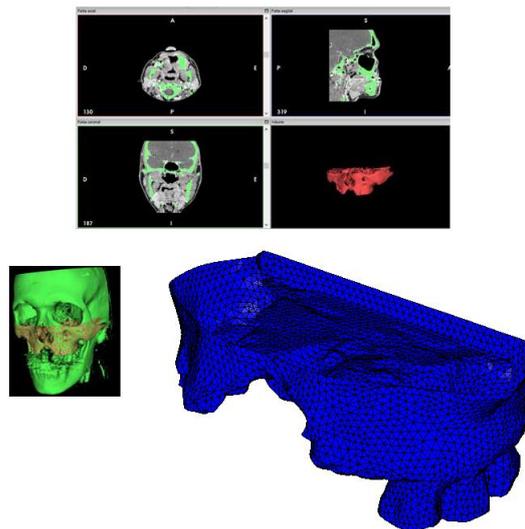


Figura 26 – modelo gráfico 3D obtido a partir de imagem de Tomografia Computadorizada (adaptado de COUTINHO *et al*, 2014).

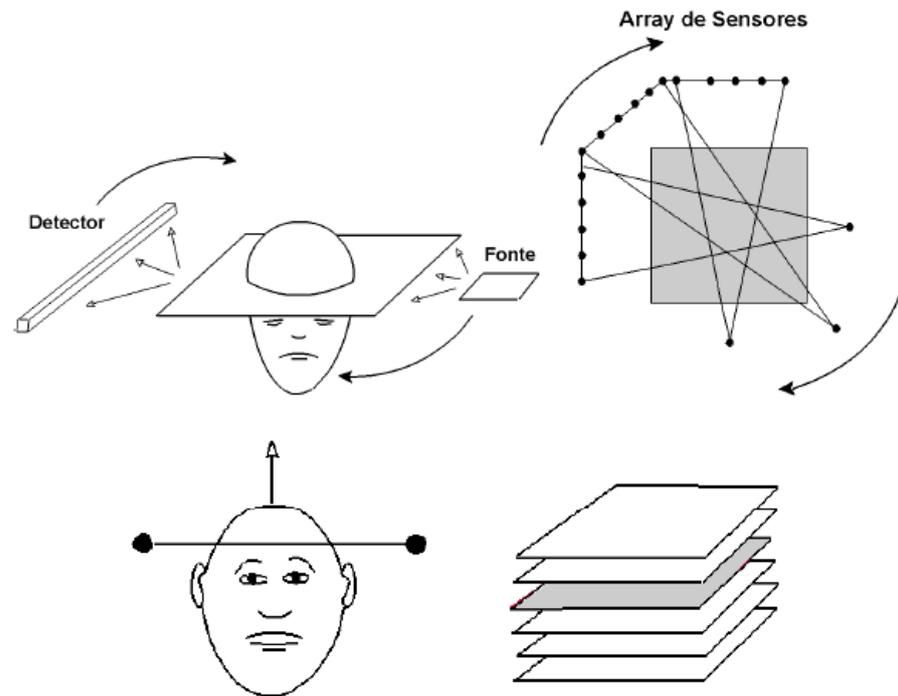


Figura 27 – esquema representando a formação de um tomograma (adaptado de FERRAZ, 2003).

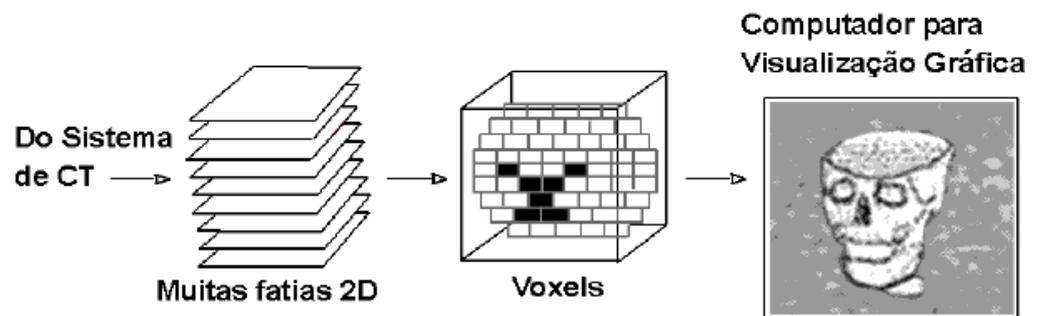


Figura 28 – esquema representativo da construção de imagens tridimensionais nos aparelhos de TC, a partir de imagens bidimensionais (adaptado de FERRAZ, 2003).



Ventrículo Cerebral

R\$ 726,00 Item: 1001262 [VH410]

Este modelo mostra os ventrículos de ambos os lados, o 3º e o 4º ventrículo e o aqueduto do cérebro (Sylvius). Disponível em base. [mais](#)

[Adicionar à lista](#)



Modelo do Cérebro

R\$ 993,00 Item: 1019542

Modelo de cérebro segmentado de tamanho real apresenta um lado normal e um lado seccionado em três peças com patologias, bem como Círculo de Willis com aneurisma. O cérebro, acomodado em crânio parcial ... [mais](#)

[Adicionar à lista](#)



Modelo de Meio Cérebro

R\$ 511,00 Item: 1019543

O modelo da metade direita do cérebro normal apresenta: lobo frontal, parietal, occipital e temporal, cerebelo, adesão intertalâmica, corpo caloso, ponte, pedúnculo central cerebral, bulbo olfativo, nervo ó ... [mais](#)

[Adicionar à lista](#)



Seção do cérebro

R\$ 2.081,00 Item: 1005113 [W19026]

Uma seção ampliada e muito detalhada do hemisfério cerebral direito, incluindo uma parte do crânio. A pia-máter foi removida. O modelo é bilateral e apresenta uma coloração detalhada. Uma de suas superfícies passa pela linha mediana e inclui ... [mais](#)

[Adicionar à lista](#) Offline

Figura 29 – parte de anúncio de peças do catálogo da 3B SCIENTIFIC (disponível em: https://www.3bscientific.com.br/cerebro_pg_13.html acesso em 13 de dezembro de 2018).

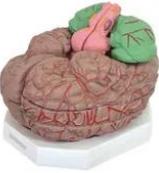
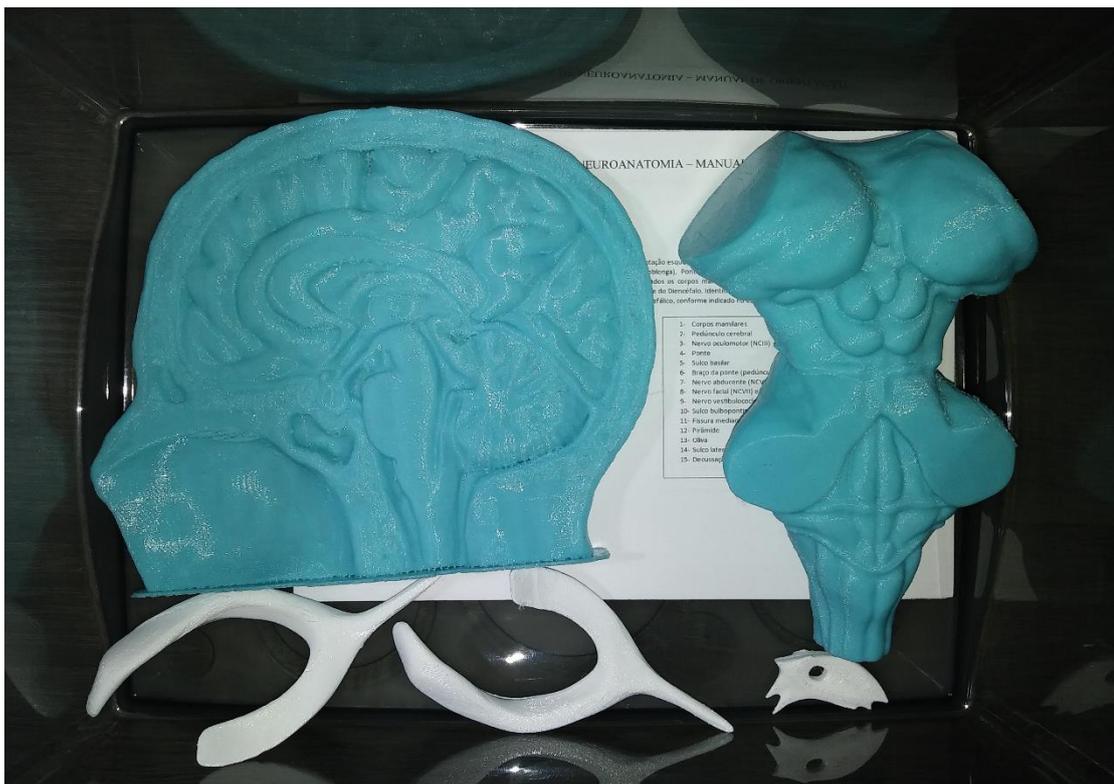
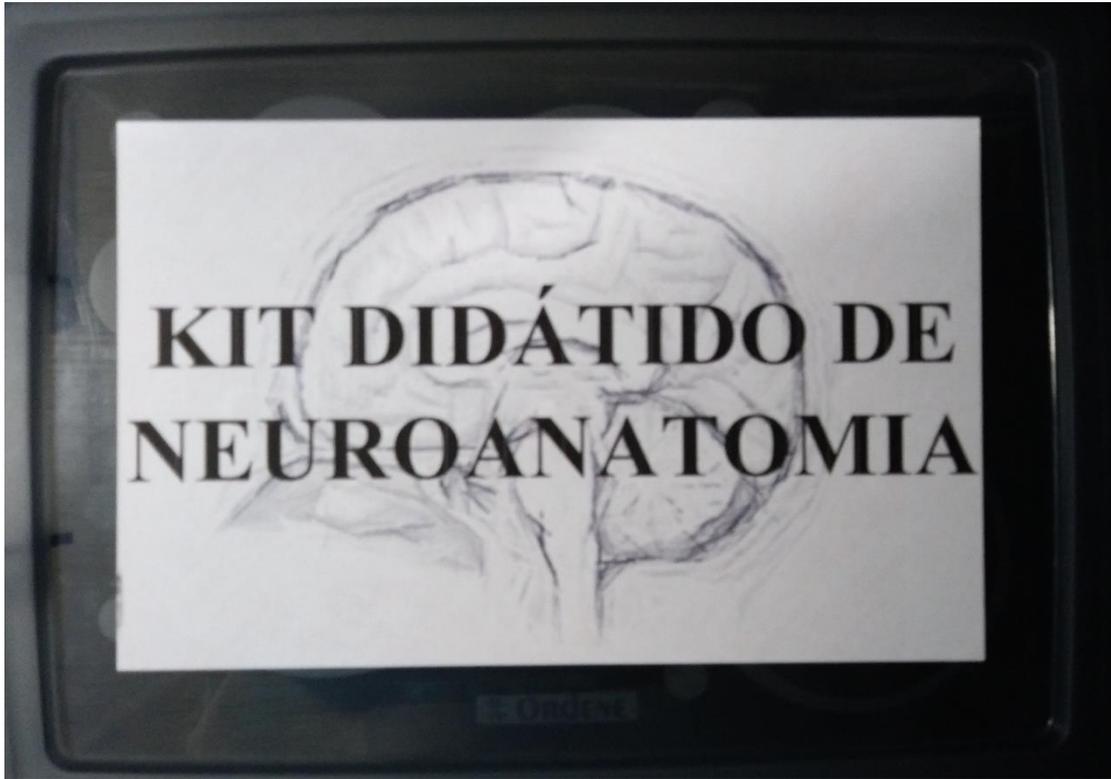
			
Cérebro c/ Região Funcional do Córtex	Cérebro com Artérias em 09 Partes - Anatomic	Cérebro com 08 Partes - Anatomic	Cérebro Ampliado com 11 Partes - Anatomic
CenterMedical	Anatomic	Anatomic	Anatomic
R\$ 1.299,99 R\$ 1.096,20	R\$ 2.100,00 R\$ 1.432,37	R\$ 314,99 R\$ 292,32	R\$ 1.985,73 R\$ 1.680,84
6x de R\$ 182,70 sem juros ou em até 12x com juros	6x de R\$ 238,72 sem juros ou em até 12x com juros	6x de R\$ 48,72 sem juros ou em até 12x com juros	6x de R\$ 280,14 sem juros ou em até 12x com juros
ou em R\$ 986,58 no Boleto Bancário	ou em R\$ 1.289,13 no Boleto Bancário ★★★★☆ (1)	ou em R\$ 263,09 no Boleto Bancário ★★★★★ (1)	ou em R\$ 1.512,76 no Boleto Bancário

Figura 30 – parte do anúncio de peças do catálogo da CENTERMEDICAL (disponível em: <https://www.centermedical.com.br/modelo-anatomico/cerebro>), acesso em 13 de dezembro de 2018).

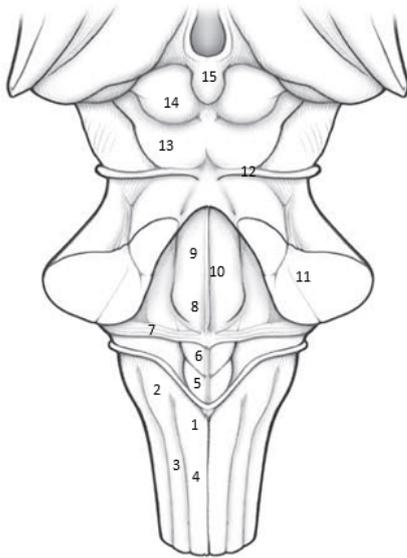
ANEXO B – KIT DIDÁTICO DE NEUROANATOMIA



ANEXO C – KIT DIDÁTICO DE NEUROANATOMIA – MANUAL

TRONCO ENCEFÁLICO – VISTA POSTERIOR

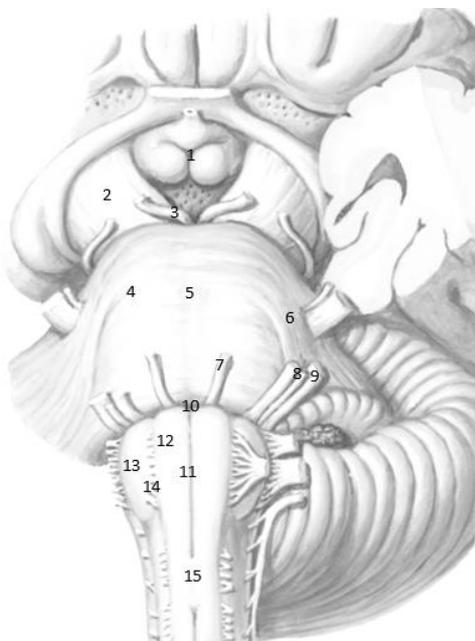
Representação esquemática da vista posterior do Tronco Encefálico, formado por Bulbo (medula oblonga), Ponte e Mesencéfalo. Retirado o Cerebelo e evidenciado o assoalho do Quarto Ventrículo. Identifique na peça, as principais saliências na superfície do Tronco Encefálico, conforme indicado no esquema e na legenda.



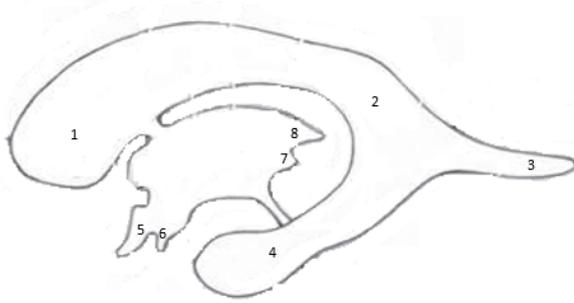
- 1- Tubérculo grácil
- 2- Tubérculo cuneiforme
- 3- Fascículo cuneiforme
- 4- Fascículo grácil
- 5- Trígono do vago
- 6- Trígono do hipoglosso
- 7- Estrias transversais
- 8- Colículo facial
- 9- Eminência mediana
- 10- Sulco mediano
- 11- Pedúnculos cerebelares
- 12- Nervo troclear
- 13- Colículo inferior
- 14- Colículo superior
- 15- Glândula pineal

TRONCO ENCEFÁLICO – VISTA ANTERIOR

Representação esquemática da vista anterior do Tronco Encefálico, formado por Bulbo (medula oblonga), Ponte e Mesencéfalo. No esquema e na peça, estão também representados os corpos mamilares, que são formações hipotalâmicas e, portanto, fazem parte do Diencefalo. Identifique na peça, as principais saliências na superfície do Tronco Encefálico, conforme indicado no esquema e na legenda.



- 1- Corpos mamilares
- 2- Pedúnculo cerebral
- 3- Nervo oculomotor (NCIII)
- 4- Ponte
- 5- Sulco basilar
- 6- Braço da ponte (pedúnculo cerebelar médio)
- 7- Nervo abducente (NCVI)
- 8- Nervo facial (NCVII) e nervo intermédio
- 9- Nervo vestibulococlear (NCVIII)
- 10- Sulco bulbopontino
- 11- Fissura mediana anterior
- 12- Pirâmide
- 13- Oliva
- 14- Sulco lateral anterior
- 15- Decussação das pirâmides



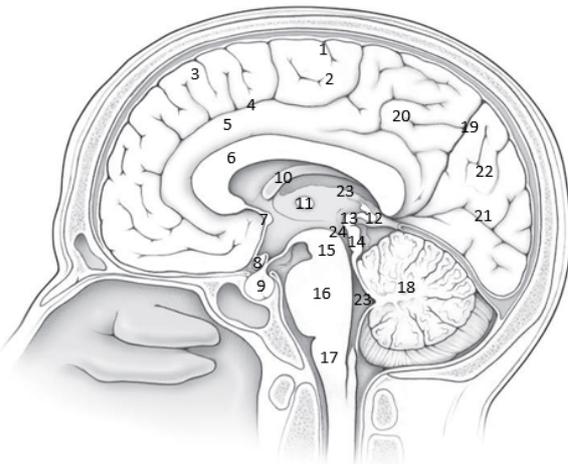
- | | |
|----|---------------------------|
| 1- | Corno frontal/anterior |
| 2- | Parte central |
| 3- | Corno occipital/posterior |
| 4- | Corno temporal/inferior |
| 5- | Recesso supraóptico |
| 6- | Recesso do infundíbulo |
| 7- | Recesso pineal |
| 8- | Recesso suprapineal |

VENTRÍCULOS ENCEFÁLICOS

O Sistema Ventricular é o derivado embriológico da luz do tubo neural, sendo formado por: Ventriculos Laterais (em número de dois), Terceiro Ventriculo (III), Aqueduto Cerebral, Quarto Ventriculo (IV) e Canal Central da Medula. Os Ventriculos Laterais (representado no esquema), em formato de C, estão associados ao Telencéfalo e conectados com III Ventriculo (representado no esquema), que está associado ao Diencefalo, através dos forames interventriculares. O III Ventriculo, através do Aqueduto Cerebral, conecta-se ao IV Ventriculo, que está relacionado ao Tronco Encefálico. O IV Ventriculo, por sua vez, comunica-se com o Canal Central da Medula, para baixo, e com o espaço subaracnóideo através dos forames laterais e forame medial. Identifique na peça, as principais partes e recessos dos Ventriculos Laterais e III Ventriculo, conforme indicado no esquema e na legenda.

PEÇAS DIDÁTICAS DE NEUROANATOMIA – MANUAL DE ORIENTAÇÃO

ENCÉFALO – VISTA MEDIAL



Visão medial do neuroeixo intracraniano através de um corte sagital mediano. Observa-se os componentes do Tronco Encefálico (Bulbo, Ponte e Mesencéfalo), Cerebelo, posição anatômica do IV Ventriculo e Aqueduto Cerebral, saliências do diencefalo e a face medial do Hemisfério Cerebral. Identifique nas peças, as principais partes e saliências da vista medial do Encéfalo, conforme indicado no esquema e na legenda.

- | | |
|-----|---|
| 1- | Sulco central |
| 2- | Lobo paracentral |
| 3- | Giro frontal medial |
| 4- | Sulco do cíngulo |
| 5- | Giro do cíngulo |
| 6- | Corpo caloso |
| 7- | Comissura anterior |
| 8- | Quiasma óptico |
| 9- | Hipófise |
| 10- | Fórnice |
| 11- | Aderência intertalâmica |
| 12- | Glândula pineal |
| 13- | Comissura posterior |
| 14- | Tecto do mesencéfalo (corpos quadrigêmos) |
| 15- | Mesencéfalo |
| 16- | Ponte |
| 17- | Bulbo |
| 18- | Cerebelo |
| 19- | Sulco parieto-occipital |
| 20- | Pré-cúneo |
| 21- | Sulco calcarino |
| 22- | Cúneo |
| 23- | IV ventrículo |
| 24- | Aqueduto cerebral |