

CONFECÇÃO DE DISPOSITIVOS CUSTOMIZÁVEIS PARA PLANEJAMENTO DE CIRURGIAS COMPLEXAS.

Congresso Brasileiro De Manufatura Aditiva, 1ª edição, de 30/11/2020 a 01/12/2020

ISBN dos Anais: 978-65-86861-62-4

NUNES; Amanda Amorin ¹, ORDAÑEZ; Robert Eduardo Cooper ²

RESUMO

Resumo

A manufatura aditiva é uma tecnologia que vem sendo cada vez mais utilizada no setor da saúde, e, por isso, é fundamental que exista uma metodologia do processo de modelagem para otimização dessa aplicação. Dessa forma, softwares de imagens são utilizados para contribuir e materializar ideias em modelos físicos. O objetivo deste estudo é apresentar a metodologia para identificação das necessidades e demandas do setor da saúde aplicadas pelo Programa de Desenvolvimento e Aplicações de Tecnologias 3D para Área Médica (PROMED) do CTI Renato Archer (CTI). Para isso, é apresentada uma análise das possibilidades de casos complexos que foram confeccionados pelo programa com foco no planejamento cirúrgico utilizando técnicas de modelagem, dentre elas, guias e próteses customizáveis que garantem uma maior segurança e precisão durante o procedimento cirúrgico. Como resultado apresenta-se a confecção de dispositivos customizáveis como guias, moldes e material de apoio que contribuem para diversas aplicações no setor da saúde.

Palavras-chave: Manufatura aditiva, próteses customizáveis, biomodelos.

Abstract: Additive manufacturing is a technology that is being used more and more in the health sector, and, therefore, it is essential that there is a methodology of the modeling process to optimize this application. Thus, image software is used to contribute and materialize ideas in physical models. The purpose of this study is to present the methodology for identifying the needs and demands of the health sector applied by the Program for the Development and Applications of 3D Technologies for the Medical Area (PROMED) of CTI Renato Archer (CTI). For this, an analysis of the possibilities of complex cases that were made by the program with a focus on surgical planning is presented, using modeling techniques, including customizable guides and prostheses that guarantee greater safety and precision during the surgical procedure. As a result, the creation of customizable devices such as guides, molds and support material that contribute to various applications in the health sector is presented.

Keywords: Additive manufacturing, customizable prostheses, biomodels.

¹ Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, amanda.amorinnunes@gmail.com

² Universidade Estadual de Campinas, cooper@fem.unicamp.br

1. Introdução

A cada hora no Brasil ocorrem 6 mortes por eventos adversos, nestes se inclui: falhas no sistema, como por exemplo, excesso de burocracia para a aquisição e manipulação de medicamentos, falta de protocolos definidos para atendimento de emergência gerando a demora na ação, erro médico, infecções ocorridas pela falta de infraestrutura apropriada no ambiente, entre outras. Esses eventos podem trazer danos ao paciente causando sequelas e sofrimentos físicos e psíquicos podendo contribuir com esse índice de óbitos. Dentre os eventos temos os previsíveis e aqueles que estão relacionados a escassez financeira do sistema. Para minimizar esse índice no âmbito previsível, uma das alternativas é a realização de simulações médicas, processo este que consiste na reprodução de alguma situação, processo ou comportamento do meio, de forma a treinar e orientar a melhor maneira de se realizar a conduta do profissional no ambiente real [1].

Um método muito utilizado para realização dessas simulações e treinamento dos profissionais médicos é a utilização de cadáveres, o que permite uma experiência mais real contribuindo para a formação de qualidade dos profissionais [2]. No entanto, as leis de conservação e aquisição desse tipo de material tem restringido as suas aplicações, está cada vez mais difícil disponibilizar cadáveres nas escolas de medicina e os modelos de animais estão sendo substituídos por modelos similares considerando a proteção dessas espécies.

A utilização de biomodelos com a manufatura aditiva tem agregado muito valor em auxílio aos cirurgiões e para utilização em casos cirúrgicos complexos se demonstrou adequada, facilitando o processo de planejamento [3]. Além de facilitar o processo de planejamento é consolidado que com a utilização de biomodelos também existe uma redução de custos, tempo e precisão cirúrgica [4].

O Programa de Desenvolvimento e Aplicações de Tecnologias 3D para Área Médica (PROMED) atua com duas linhas tecnológicas, a virtual e a física, de forma a disponibilizar softwares e equipamentos que em conjunto possam atender as demandas dos cirurgiões. Dessa forma, a parceria entre cirurgiões e pesquisadores favorece o cenário e os objetivos do programa de disseminar a tecnologia no setor. Atualmente o PROMED já atendeu mais de 5.800 casos de colaboração em cirurgias, o principal objetivo do programa é servir de projeto piloto para validação da metodologia dentro do SUS (Sistema Único de Saúde), para isso, já contribuiu com mais de 320 hospitais e foi financiado pelo Ministério da Saúde (MS) parcialmente por alguns anos. Também, desenvolveu o software Invesalius que é o único software livre que realiza a segmentação de imagens médicas, o qual mantém uma comunidade que interage e contribui com o aperfeiçoamento do mesmo. Os resultados de contribuições e parcerias do programa tem mantido o CTI Renato Archer como um centro de referência desse tipo de aplicação, sempre aprimorando nas tecnologias e se aperfeiçoando com as inovações do mercado.

Software de imagens são utilizados para realizar uma análise de regiões internas do corpo sem a necessidade de ser invasivo e assim auxiliar em diagnósticos de cirurgiões. Para isso foi desenvolvido o software Invesalius com o intuito de realizar uma interface de utilização dessas imagens médicas associadas a manufatura aditiva [5]. O uso do software para análise, segmentação e simulação de imagens torna o planejamento mais acessível, embora ainda exista uma interface para o processo que requer muito conhecimento na anatomia do paciente e da utilização do software [6].

Outros softwares podem ser usados associados ao Invesalius com o intuito de realizar a modelagem no ambiente estudado, é o caso do Magics® no PROMED, um software comercial criado com o objetivo de atender as demandas de utilização dos equipamentos de manufatura aditiva, assim como capacidade de todo controle de produção e definição de parâmetros dos equipamentos.

A inter-relação entre biomodelos, planejamento cirúrgico, softwares de utilização para manufatura aditiva, entre outras, fazem do PROMED uma referência nessas aplicações. Para isso neste trabalho serão apresentados a metodologia de fluxo do processo do PROMED, assim como as possibilidades de criação de prótese e guias customizáveis, demonstrando assim que esta tecnologia vem rompendo as barreiras encontradas no setor da saúde e facilitando os processos que antes apresentavam limitações.

2. Metodologia

Segundo Silva e Menezes [7], o presente trabalho pode ser classificado como sendo uma pesquisa aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos à solução de problemas específicos. Do ponto de vista da abordagem do problema, o mesmo pode ser classificado como pesquisa qualitativa. Também, do ponto de vista dos seus objetivos, a classificação pode ser do tipo pesquisa exploratória e o principal procedimento utilizado foi o de estudo de campo, que segundo Gil [8], utiliza-se para estudar um único grupo ou organização,

¹ Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, amanda.amorinnunes@gmail.com

² Universidade Estadual de Campinas, cooper@fem.unicamp.br

ressaltando a interação entre seus componentes, por meio da observação direta das atividades do grupo estudado e de entrevistas com integrantes da organização para captar suas explicações e interpretações.

As informações coletadas neste estudo de campo, assim como as observações e entrevistas, foram obtidas no período compreendido entre Janeiro de 2019 e Julho de 2020 e estão relacionadas com os seis casos apresentados no capítulo 4, os quais foram realizados entre os anos 2008 e 2020.

3. Estudo de campo

Neste trabalho, a organização participante foi o CTI Renato Archer e o processo analisado foi o PROMED o qual realiza uma interface de integração e interação de profissionais das áreas exatas e médica. Dentro desse contexto, recebe as solicitações de cirurgiões de todo Brasil para confecção de biomodelos impressos pelas tecnologias de manufatura aditiva e os profissionais podem com essa interação criar ferramental cirúrgico e alternativas diferenciadas para minimizar os problemas enfrentados no que tange o procedimento realizado cirurgicamente.

O fluxo do processo realizado consiste na solicitação de um cirurgião, com um protocolo de registro, e envio das imagens apropriadas para modelagem. Para este tipo de procedimento, atualmente dentro do programa, em sua grande maioria de solicitações, são enviadas imagens DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) que é uma extensão padronizada eletronicamente com base em normas para o armazenamento e controle de imagens médicas. As imagens DICOM, são imagens providas de equipamentos de aquisição de imagens médicas como tomografia computadorizada (TC) e ressonância magnética (RM), entre outros. Posterior ao envio dessas imagens é necessário realizar a leitura dos arquivos em software apropriado e a conversão do mesmo para uma extensão compatível com as tecnologias de impressão 3D, atualmente a mais utilizada é a extensão STL (*Standard Triangle Language*).

O STL é formado pela criação de uma malha de triângulos, formato este mais apropriado para a impressão 3D devido a ser a forma geométrica com propriedades de intensidade, direção e sentido, características determinantes no processo de construção desses modelos. Para realização da segmentação das imagens DICOM e conversão para o formato STL o PROMED utiliza em geral dois tipos de software: Invesalius e Magics®.

Invesalius: Criado, desenvolvido e mantido pelo CTI Renato Archer, é um software livre que tem como principal ferramenta a reconstrução de modelos anatômicos através de imagens médicas.

Magics®: É um software privado da empresa belga Materialise, que foi desenvolvido para a utilização direcionada aos processos de manufatura aditiva. Tem sua interface intuitiva e personalizável e possui módulos apropriados para cada aplicação e necessidade na utilização neste segmento.

Primeiramente as imagens médicas (DICOM) são processadas e segmentadas no Invesalius onde é possível selecionar a parte anatômica apropriada e gerar a malha onde será realizado o planejamento (STL). Posterior a geração desta malha utiliza-se o software Magics para realizar a modelagem. A segmentação consiste em criar uma máscara como base nos exames 2D de imagens do paciente e posteriormente criar uma malha de triângulos com a máscara projetada. A modelagem consiste em criar, cortar, suavizar e modificar quando apropriado o modelo digital. Na modelagem quando há a necessidade de um planejamento mais complexo, para criar um ferramental cirúrgico, a interação com o cirurgião se torna mais primordial e definidos todos requisitos e critérios médicos de cada caso é possível a personalização desses modelos.

Posterior a este processo digital do modelo, o cirurgião aprova as imagens, e elas são confeccionadas nas tecnologias de manufatura aditiva. Para isso o Laboratório de Tecnologias Tridimensionais do CTI possui uma infraestrutura apropriada com 7 tecnologias diferenciadas para atendimento das demandas do setor.

As tecnologias mais utilizadas dentro do PROMED são:

SLS - Conhecida como Sinterização Seletiva a Laser, essa técnica consiste na deposição por camadas de um material em formato de pó sobre uma plataforma de construção, a formação do objeto se dá pela incidência de um laser de CO2 que desenha o formato adequado da camada. Assim sucessivamente o processo acontece até a construção total do objeto.

Polyjet- Essa técnica realiza a deposição do material em forma de resina, material este com características fotopolimerizáveis, sobre uma plataforma de construção. O processo de consolidação deste material se dá pela incidência de uma luz ultravioleta que realizada a cura deste material, desenhando cada camada com a geometria desejada, camada a camada até o final do processo.

EBM- Conhecido como "*Electron Beam Melting*" (Fusão por feixe de elétrons), essa técnica tem semelhanças com o processo SLS, depositando o material em formato de pó sobre uma plataforma de construção, no entanto nesta técnica existe a fusão do material que se dá pela utilização de um feixe de elétrons. utilizando também a metodologia de deposição de camada a camada até a construção do modelo.

O fluxo do processo se resume como aparece apresentado na Figura 1. A imagem representa a

¹ Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, amanda.amorinnunes@gmail.com

² Universidade Estadual de Campinas, cooper@fem.unicamp.br

forma de entrada do processo, como ele se desenvolve em atividades realizadas em cada etapa e a saída para encerramento do ciclo.



Figura 1. Fluxo do processo de desenvolvimento de produto. Fonte: autores.

Dentro deste fluxo o processo de planejamento e desenvolvimento é o mais complexo, pois é através dele que são determinados todos os requisitos necessários para a confecção de um modelo personalizado. A metodologia utilizada para o tratamento das imagens segue abaixo definida em etapas:

1. Importação das imagens DICOM no software Invesalius;
2. Segmentação da imagem com base na anatomia do paciente e na região de interesse;
3. Criação da malha de triângulo (STL) para modelagem.
4. Utilização do software Magics para modelagem do STL.
5. Envio do modelo para impressora.

Na etapa 1 é realizada a importação das imagens enviadas pelos cirurgiões, que tem como protocolo a solicitação de extensão em formato DICOM. O software resumidamente realiza o empilhamento de todas as imagens 2D enviadas e realiza um volume 3D de visualização dessas imagens. Após selecionar a série de aquisição de exames mais favorável para execução do caso, segue para a etapa 2.

A segunda etapa consiste em sobrepor a cada imagem 2D, uma máscara onde é possível desenhar a anatomia adequada do paciente. Algumas ferramentas dentro do software realizam esse desenho de forma automática, no entanto, existe a opção de realizar partes do processo de forma manual. A realização da segmentação de forma manual permite apagar todo o ruído provindo de materiais que interferem na aquisição das imagens, por exemplo, metais, amálgamas, próteses, implantes, entre outros diversos. Nesta etapa é importante o conhecimento da anatomia pretendida e a interação com o cirurgião para entender a necessidade do modelo.

Na etapa 3 se realiza através de uma opção próprio software, a criação automática dessa malha, que é o arquivo STL, o software seleciona toda máscara que foi desenhada e conecta essas imagens transformando tudo em um volume único. A etapa 4 é a modelagem, que se realiza com o software Magics®, nesta etapa está a maior parte do projeto pois todo desenvolvimento e modificação do modelo se realiza neste momento. Com a ajuda e orientação de cirurgiões é possível planejar, cortar, criar, sobrepor e realizar várias metodologias para construção dos modelos.

Para criação de um biomodelo apenas para planejamento cirúrgico é necessária a utilização de ferramentas usuais como: suavização do modelo, corte da região selecionada, correção de todas as falhas da malha, análise computacional do tamanho final do arquivo e salvar o modelo 3D em local adequado. Para criação de ferramental cirúrgico que é um diferencial para o auxílio aos profissionais a metodologia tem alterações que dependem da demanda solicitada, por isso, não é usual criar um padrão de metodologia para casos complexos, pois eles dependem de diversos fatores, tais como: o tipo de abordagem do cirurgião, a lesão do paciente, os meios usuais de cirurgia aplicados a rotina médica, os materiais disponíveis para usar em conjunto com os modelos, a infraestrutura hospitalar, entre outros diversos pontos que devemos considerar.

A personalização dos modelos é o que torna a tecnologia de manufatura aditiva um potencial de inovação. Depois dos modelos personalizados e criado o ferramental cirúrgico apropriado para cada caso os modelos são impressos em 3D nas tecnologias apropriadas. A escolha da tecnologia que melhor atende a cada caso é realizada de acordo com profissionais que tem experiência na área, juntamente com a necessidade do cirurgião.

4. Resultados e Discussão

¹ Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, amanda.amorinnunes@gmail.com

² Universidade Estadual de Campinas, cooper@fem.unicamp.br

Utilizando a metodologia sugerida dentro do PROMED foram executadas as diversas possibilidades de aplicações de modelos customizáveis. Seguem abaixo alguns modelos realizados e utilizados para demonstrar a aplicação das tecnologias de impressão 3D para a área da saúde.

• **Próteses Personalizados de calota craniana:** neste tipo de aplicação é realizado um conjunto que contempla a realização do biomodelo, a simulação de uma prótese que encaixe na lesão, um conjunto de moldes que sirva como ferramenta para a reprodução da prótese em material compatível e validado. Nesses casos o material utilizado pelos cirurgiões é o PMMA (polimetilmetacrilato) e através desses modelos o cirurgião consegue confirmar o material escolhido de forma que obtenha uma prótese personalizada e apropriada a cada paciente. O material utilizado para realização desses modelos é a poliamida (nylon) pelo processo de SLS devido a estabilidade térmica do material apresentar bom resultado no processo de esterilização. Esse tipo de processo foi validado pela aplicação do método efetivamente em 55 cirurgias de cranioplastia e demonstrou que todos os pacientes apresentaram melhoras significativas [9]. Um exemplo do tipo de molde utilizado neste caso pode ser observado nas imagens da Figura 2.



Figura 2. Conjunto de moldes utilizados para auxílio a cranioplastias. Fonte: Maricevich, 2019.

● **Guia de osteotomia de joelho:** para esta aplicação foram necessários parâmetros relacionados a cirurgia de forma mais complexa, tais como: informações sobre local do corte, posicionamento e dimensões do ferramental utilizado (serra para corte), abordagem cirúrgica (qual técnica o profissional executa). Posterior a isso, foi criado um dispositivo que se adapta à anatomia do paciente com uma precisão adequada ao encaixe para que possa ser parafusado e dar estabilidade no momento da osteotomia. Como pode ser observado na imagem da Figura 3, o modelo foi confeccionado em material metálico na tecnologia EBM por apresentar uma maior segurança e estabilidade na realização do procedimento cirúrgico e menor chance de contaminação.



Figura 3. Guia de corte em metal para osteotomia confeccionado em impressão 3D. Fonte: Universidade de Araraquara - Uniara.

● **Guia personalizado de osteotomia fíbula:** neste planejamento foi necessário realizar a modelagem da região de maxila e mandíbula e em paralelo a região da fíbula. A proposta desse tipo de abordagem era realizar um enxerto vascularizado de retalho ósseo da região da fíbula para região com um tumor em mandíbula. Para isso foram realizados os cortes de parte da fíbula e posicionados sobre a região que seria osteotomizada em mandíbula. Escolhidos e posicionados os segmentos foi necessário sobrepor uma guia sobre a fíbula para realização adequada dos cortes. Essa sobreposição é realizada seguindo a anatomia da fíbula para ter precisão no encaixe. Posterior ao planejamento da guia foram realizados os biomodelos da mandíbula com a lesão (tumor) e outro modelo com o espelhamento do lado sadio para o lado onde seria osteotomizado. A intenção deste espelhamento é manter a anatomia real do paciente e preservar a simetria dele, possibilitando a dobra da placa de titânio que é utilizada para fixação dos segmentos ósseos da fíbula que serão enxertados nesta região. Esse planejamento foi confeccionado com material poliamida em tecnologia SLS. As imagens desse modelamento podem ser observadas na Figura 4.

¹ Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, amanda.amorinnunes@gmail.com

² Universidade Estadual de Campinas, cooper@fem.unicamp.br

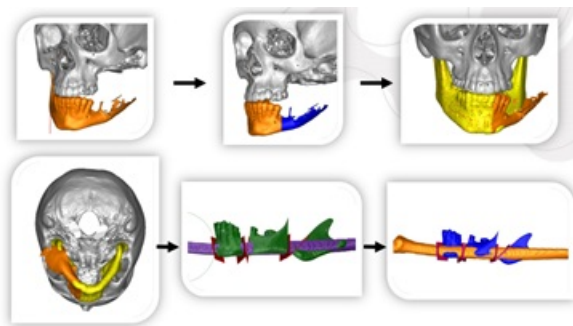


Figura 4. Modelo Virtual de planejamento e posicionamento de regiões de mandíbula e fíbula. Fonte: autores.

- **Simuladores de anatomia:** para esse tipo de abordagem existem diversas possibilidades. Dentre elas: realização de um simulador radiográfico de anatomia da mama para simular e orientar equipamentos de mamografia. Utiliza-se exames de imagem para reproduzir a anatomia da mama considerando também parte de dutos e gordura interna do modelo. A reprodução dessas anatomias permite também o melhor entendimento das características dessa região. O modelo foi realizado na tecnologia Polyjet que foi a tecnologia mais apropriada devido às características do material terem proximidade com relação a radiopacidade. A Figura 5 apresenta um exemplo do tipo de modelos obtidos.



Figura 5. Modelos realizados de simulador radiográfico da região da mama. Fonte: autores.

- **Próteses para regiões da face:** dentro desta abordagem utiliza-se duas possibilidades: a partir de exames de TC ou a partir de fotogrametria (imagens capturadas por dispositivos móveis). É realizada a modelagem da região que está faltando como por exemplo: olho, nariz, orelha. Para realizar esse tipo de modelagem utiliza-se o espelhamento do lado sadio para reprodução e simetria da anatomia, em casos como nariz é necessário modelar a partir de fotografias ou então adaptações de anatomia de outro paciente. Posterior a isso o modelo é impresso nas tecnologias disponíveis. A maioria dos casos é impresso copiando a anatomia pretendida e enviado ao solicitante para que confeccione os moldes apropriados. Devido a anatomia de regiões como nariz e orelha serem complexas e terem muitas curvas e regiões negativas a reprodução de moldes nem sempre é viável pelo processo de manufatura aditiva, nesses casos eles são executados com silicone por profissionais capacitados como os protéticos. As imagens da Figura 6 são uma representação disso.

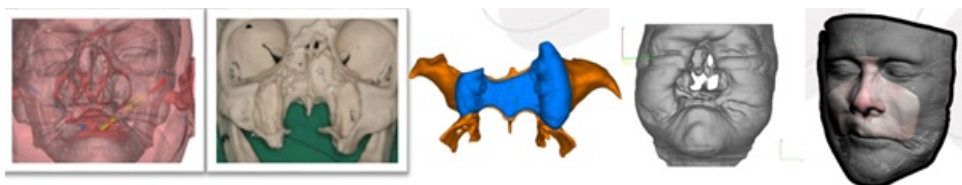


Figura 6. Planejamento realizado para confecção de guias de implante e fixação de prótese de nariz. Fonte: autores.

- **Guia de perfuração para realização de implantes:** Neste tipo de abordagem é possível realizar toda simulação virtual da anatomia óssea do paciente e verificar onde seria mais apropriado realizar a fixação de implantes. Posterior ao posicionamento da região dos implantes é possível realizar as guias que seguem fidedignamente a anatomia pretendida proporcionando uma maior confiabilidade e precisão no momento do procedimento. A Figura 7 apresenta um exemplo dessa situação.

¹ Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, amanda.amorinnunes@gmail.com

² Universidade Estadual de Campinas, cooper@fem.unicamp.br

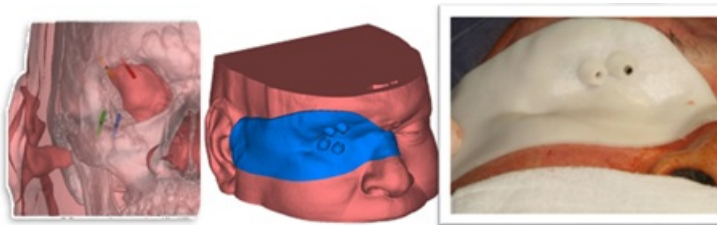


Figura 7. Modelos realizados de simulador radiográfico da região da mama. Fonte: autores.

5. Conclusões

A possibilidade de inserir tecnologias inovadoras vem demonstrado que a manufatura aditiva tem agregado significativamente na área da saúde. É possível criar ferramental cirúrgico, guias e próteses de maneira customizável para aplicação em cirurgias e isso tem diversificado e ampliado as abordagens possíveis no mercado. Os casos realizados dentro do PROMED são a validação de que a inserção dessas tecnologias de manufatura aditiva é viável e necessária na atualidade para o setor de saúde.

O PROMED ao longo de 20 anos de utilização da manufatura aditiva para a área da saúde tem uma gama extensa de aplicações possíveis com diferentes abordagens. Foram apresentados aqui seis casos distintos, no entanto, existem infinitas possibilidades dentro deste contexto. Essas aplicações já demonstram linhas diferentes de técnicas, utilizadas para partes distintas da anatomia humana. O processo para aquisição das imagens segue em linhas básicas a mesma metodologia para todas as aplicações, a diferença se dá na modelagem e na customização que para cada caso pode ser distinta.

6. Agradecimentos

Ao Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer pela disponibilização de toda infraestrutura para realização dos trabalhos através programa PROMED, em especial ao Diretor Jorge Vicente Lopes da Silva por realizar essa interface entre a Universidade Estadual de Campinas com o CTI Renato Archer.

7. Referências Bibliográficas

- [1] GRILLO, Felipe Wilker. Simuladores de paciente-específico para treinamentos médicos. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2020.
- [2] GROSCURTH, P., Eggli, P., Kapfhammer, J., Rager, G., Hornung, J. P., & Fasel, J. D. H. (2001). Gross anatomy in the surgical curriculum in Switzerland: improved cadaver preservation, anatomical models, and course development. *The Anatomical Record: An Official Publication of the American Association of Anatomists*, 265(6), 254-256.
- [3] MEURER, E. As tecnologias CAD/CAM em cirurgia e traumatologia bucomaxilofacial. 2002. Tese (Doutorado em Odontologia) – Faculdade de Odontologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- [4] SAFIRA, L. C., da Silva Maciel, A., Souto-Maior, J. C. C., de Azevedo, R. A., Cavalcante, W. C., Francischone, C. E., & Sarmiento, V. A. (2010). Aplicação dos biomodelos de prototipagem rápida na Odontologia, confeccionados pela técnica da impressão tridimensional. *Revista de Ciências Médicas e Biológicas*, 9(3), 240-246.
- [5] AMORIM, Paulo HJ et al. InVesalius: Software livre de imagens médicas. Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer-CTI, campinas/SP-2011-CSBC2011, 2011.
- [6] CAMILO, A. A., Amorim, P. H. J., Moraes, T. F., Azevedo, F. D. S., & da Silva, J. V. L. (2012, May). InVesalius: medical image edition. In 1st International Conference on Design and Processes for Medical Devices (pp. 279-282).
- [7] SILVA, E. L., MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 2005. 4 Ed. Florianópolis, UFSC, 138 p.
- [8] GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 2002. 4. Ed. São Paulo, Atlas, 175 p.

¹ Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, amanda.amorinnunes@gmail.com

² Universidade Estadual de Campinas, cooper@fem.unicamp.br

[9] MARICEVICH, Juan Pablo Borges Rodrigues et al. Functional and aesthetic evaluation after cranial reconstruction with polymethyl methacrylate prostheses using low-cost 3D printing templates in patients with cranial defects secondary to decompressive craniectomies: A prospective study. *Surgical neurology international*, v. 10, 2019.

PALAVRAS-CHAVE: Manufatura aditiva, próteses customizáveis, biomodelos