

COBEF2017-0323

DESENVOLVIMENTO DE MOLDE PARA RECONSTRUÇÃO DE PRÓTESE CRANIANA EM CRANIOPLASTIA PELO PROCESSO DE MANUFATURA ADITIVA

Resumo: O presente trabalho tem por objetivo apresentar as etapas de desenvolvimento de um molde fabricado pelo processo de manufatura aditiva, para ser empregado na fabricação de uma prótese craniana mediante a conformação por prensagem de cimento ortopédico (PMMA - Polimetilmetacrilato) em procedimentos cirúrgicos de cranioplastia. O molde é personalizado e deve permitir a conformação da prótese anatomicamente compatível com as necessidades de reconstrução identificadas e planejadas a partir de imagens de exames tomográficos do paciente. As etapas para o desenvolvimento do trabalho foram: reconstrução 3D a partir das imagens tomográficas, modelagem 3D da prótese e do molde e a sua fabricação por manufatura aditiva. O molde foi utilizado numa situação real durante uma cirurgia e o resultado foi considerado ótimo pela equipe médica. Portanto, o processo de fabricação adotado é promissor e é uma alternativa de baixo custo que permitirá que mais pacientes tenham acesso a esse procedimento cirúrgico.

Palavras-chave: molde, manufatura aditiva, reconstrução, prótese, procedimentos cirúrgicos, cranioplastia.

1. INTRODUÇÃO

A cranioplastia ou reparo cirúrgico de um defeito craniano, na literatura da área médica, é descrita como um procedimento cirúrgico de alta complexidade, cujos objetivos podem ser de natureza funcional ou estrutural, isto é, visando a proteção das funções craniocerebrais, bem como de natureza estética buscando melhorar os aspectos psicológicos e de relações sociais dos pacientes (Rotaru *et al*, 2012).

É importante ressaltar que este procedimento vem sendo realizado há séculos (Shah *et al*, 2014), em geral, para reparar os defeitos cranianos decorrentes de traumas, infecções, tumores ou procedimentos cirúrgicos de descompressão cerebral. A Figura (1a) apresenta o modelo de um crânio fraturado obtido por tomografia computadorizada e a Fig. (1b) o procedimento de reparo cirúrgico correspondente ao preenchimento de um defeito com uma prótese customizada.

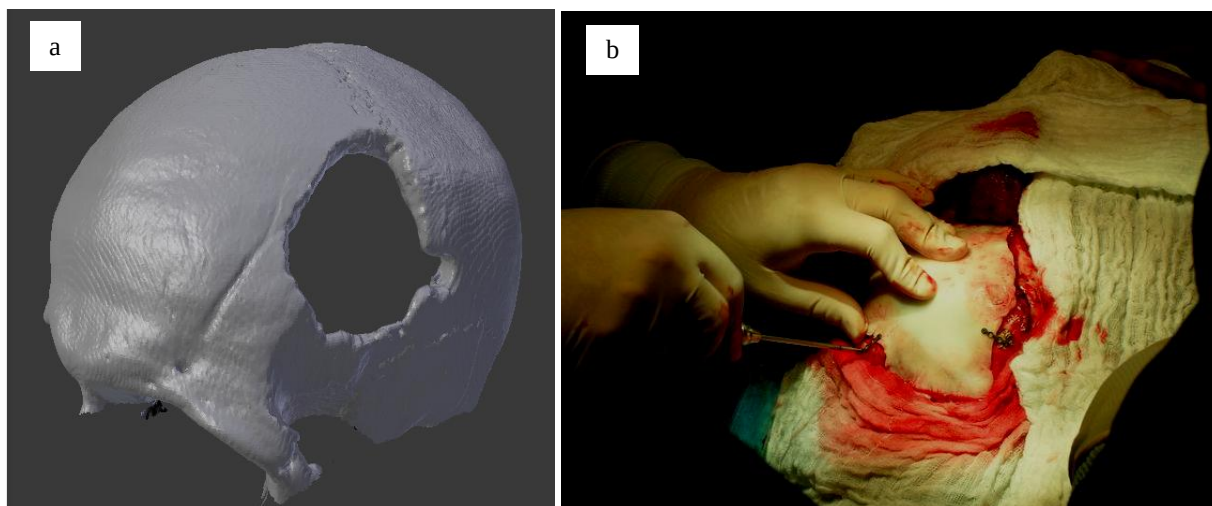


Figura 1. Cranioplastia: (a) Modelo de um crânio fraturado obtido por tomografia computadorizada; (b) procedimento de reparo cirúrgico correspondente ao preenchimento de um defeito com uma prótese customizada. Fonte: autoria própria.

Neste contexto, a interdisciplinaridade dos princípios das ciências da saúde e ciências exatas, no âmbito da engenharia biomédica, tem proporcionado avanços tecnológicos relevantes no desenvolvimento de soluções inovadoras e disruptivas. Em especial, destaca-se a integração dos diagnósticos por imagens médicas obtidas por tomografia computadorizada e de técnicas de Manufatura Aditiva (AM – *Additive Manufacturing*) que permitem, atualmente, a confecção de próteses customizadas para o reparo de defeitos cranianos antes da realização do procedimento cirúrgico (Gerber *et al*, 2010).

Embora os resultados clínicos demonstrem que o uso de próteses customizadas podem reduzir, significativamente, o tempo do procedimento cirúrgico e a taxa de infecção e melhorar o resultado estético (Yacubian-Fernandes *et al*,

2004), os altos custos envolvidos na confecção dessas próteses representam uma grande barreira para a sua ampla aplicação (Gerber *et al*, 2010).

Dentro desta perspectiva, este trabalho apresenta uma abordagem para a confecção de próteses customizadas com custo acessível, mediante a produção de molde por manufatura aditiva a partir de imagem tomográfica computadorizada, o qual, após a esterilização, é empregado na confecção da prótese customizada em cimento ortopédico (PMMA - Polimetilmetacrilato) durante o procedimento cirúrgico.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Na abordagem proposta neste trabalho, a prótese é confeccionada na sala cirúrgica diretamente pela equipe médica usando para isso um molde específico para o paciente, que foi produzido a partir de um modelo virtual tridimensional do defeito por meio de uma tecnologia de manufatura aditiva. O modelo virtual 3D do molde é gerado a partir dos dados da imagem tomográfica enviada pela equipe médica.

A descrição do processo fundamenta-se nas etapas propostas por Gerber *et al* (2010) e, envolvem: a) preparação pré-operatória do modelo virtual 3D, produção do molde físico e esterilização; b) confecção da prótese customizada na fase intra-operatória.

2.1. Preparação pré-operatória

As imagens da tomografia computadorizada (*CT-scan*) em arquivos digitais no formato *DICOM* (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) mostraram que o paciente - estudo de caso - foi vítima de disparo de arma de fogo, o que causou uma fratura extensa no crânio. As seguintes etapas foram adotadas para o projeto do molde:

- 1) Processamento das imagens tomográficas (*CT-scan*) e construção dos modelos 3D

Os conjuntos de dados do *CT-scan* no formato *DICOM* foram importados e tratados com uso do *software InVesalius 3.0*, que é um *software* livre para reconstrução de imagens obtidas por equipamentos de tomografia computadorizada ou ressonância magnética desenvolvido pelo Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI). Após a captação da geometria tridimensional do crânio, os dados foram exportados no formato *STL* (*Stereolithography*) compatível com os equipamentos de manufatura aditiva disponíveis no mercado.

Em seguida, os dados no formato *STL* foram importados e tratados com o programa *Blender 3D*, que é um *software* livre e uma poderosa ferramenta de modelagem 3D. Nesta etapa, inicialmente, foi construído um modelo tridimensional do defeito craniano do paciente em estudo após a eliminação de restos de superfícies e outros artefatos não relevantes. Na Figura (2) apresenta-se a imagem do defeito craniano após o tratamento dos dados das imagens de *CT-scan*.

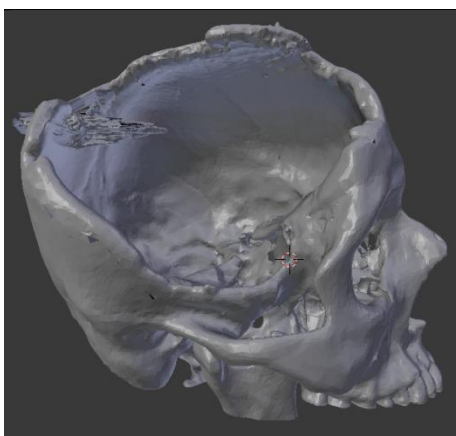


Figura 2. Imagem do defeito craniano após tratamento da imagem. Fonte: autoria própria.

No passo seguinte foi construído um modelo 3D da geometria que preenche o defeito craniano do paciente ilustrado na Fig. (3a). O modelo foi realizado por meio de operações booleanas, espelhamento e ajustes geométricos de acordo com a anatomia do paciente, apresentada nas Fig. (3b) e (3c). É importante destacar, que esta fase é fundamental para a produção do molde e para assegurar a perfeita adaptação da prótese confeccionada a partir desse molde ao crânio do paciente.

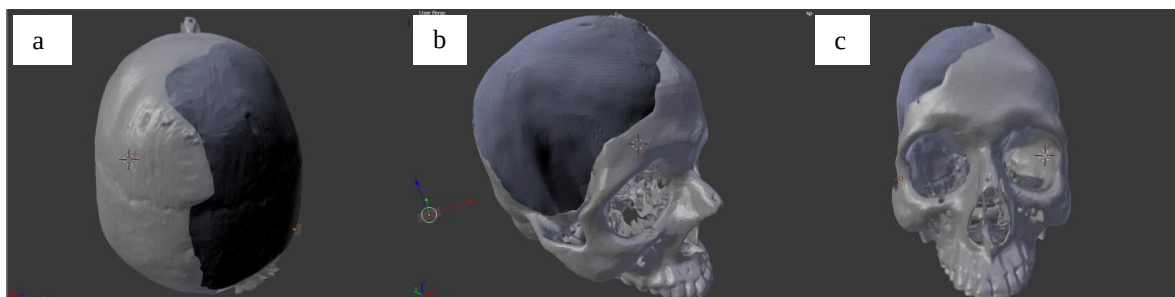


Figura 3. Modelo virtual do defeito craniano do paciente: (a) Preenchimento da região fraturada; (b) Vista isométrica; (c) Vista frontal. Fonte: autoria própria.

A partir da geometria de preenchimento mostrada na Fig. (3a) foi construído um modelo virtual do molde, o qual é constituído de 2 partes (núcleo e cavidade). Na Figura (4a) apresenta-se o modelo do conjunto do molde, na (4b) a cavidade e na (4c) o núcleo, respectivamente.

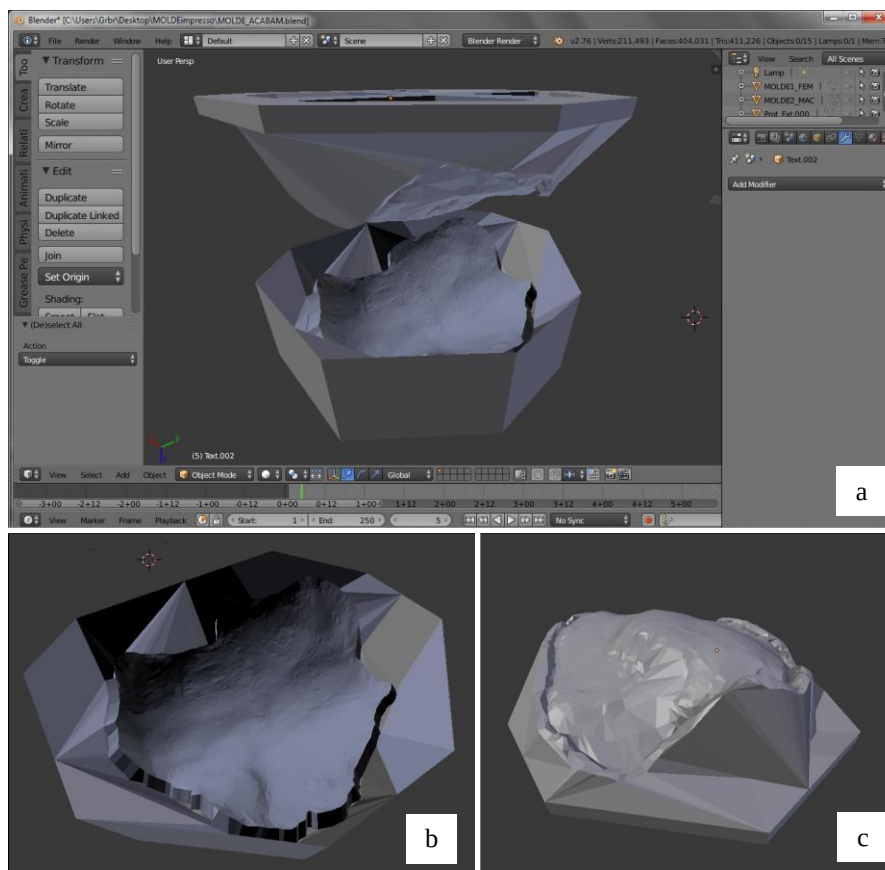


Figura 4. Modelos virtuais 3D do molde em duas partes: (a) Conjunto; (b) Cavidade; (c) Núcleo. Fonte: autoria própria.

2) Construção física do molde e modelo da prótese via manufatura aditiva

Nesta etapa, o molde foi produzido pelo processo de manufatura aditiva no NUFER (Núcleo de Manufatura Aditiva e Ferramental da UTFPR). O material empregado para a impressão 3D foi o filamento de PLA (ácido polilático) com diâmetro de 1,75mm e os parâmetros de processo foram: preenchimento retilinear de 20% para o núcleo e 10% para a cavidade, temperatura de 225°C e demais parâmetros *default* da máquina. A Figura (5a) apresenta a impressão de uma parte do molde, a (5b) a cavidade impressa e a (5c) o núcleo.

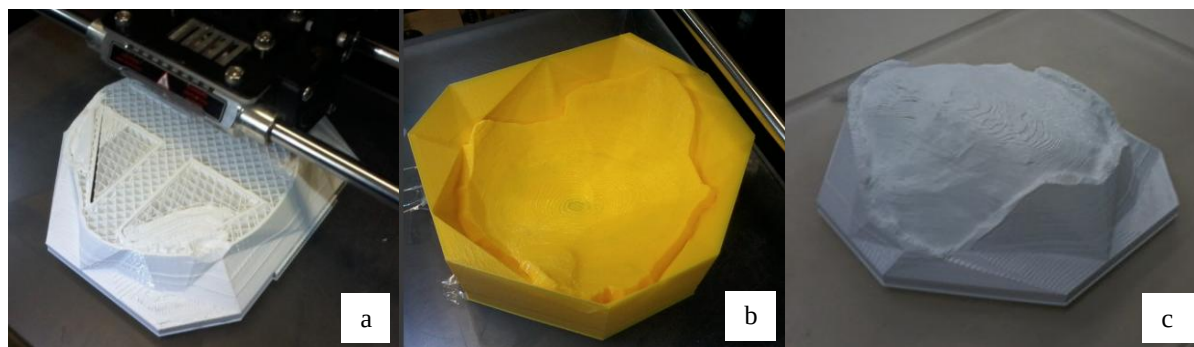


Figura 5. Impressão 3D do molde (fonte: autoria própria)

Adicionalmente, foram impressas a geometria da prótese (Fig. (6a)) e a borda do defeito (Fig. (6b)) em PLA para verificar as características principais do processo, tais como anatomia, encaixe (Fig. (6c)), entre outros fatores.



Figura 6. Impressões adicionais: (a) Prótese; (b) Borda do defeito; (c) Teste de encaixe.

Fonte: autoria própria.

É importante ressaltar que após a produção do molde, estes foram encaminhados para a esterilização. O método adotado foi o de esterilização por óxido de etileno, pois o óxido de etileno é um agente esterilizante que apresenta boa difusão e absorção na maioria dos plásticos.

2.2. Confeção da prótese na fase intra-operatória

Nesta etapa, após a construção dos modelos virtuais 3D, impressão 3D do molde e processo de esterilização, a prótese customizada, finalmente, foi moldada pela equipe médica usando cimento ortopédico (PMMA - Polimetilmetacrilato) durante o procedimento cirúrgico. A Figura (7a) ilustra o preparo do PMMA, a Fig. (7b) apresenta o processo de moldagem da prótese, a Fig. (7c) mostra a prótese pronta e estéril e a Fig. (7d) o processo de cranioplastia.

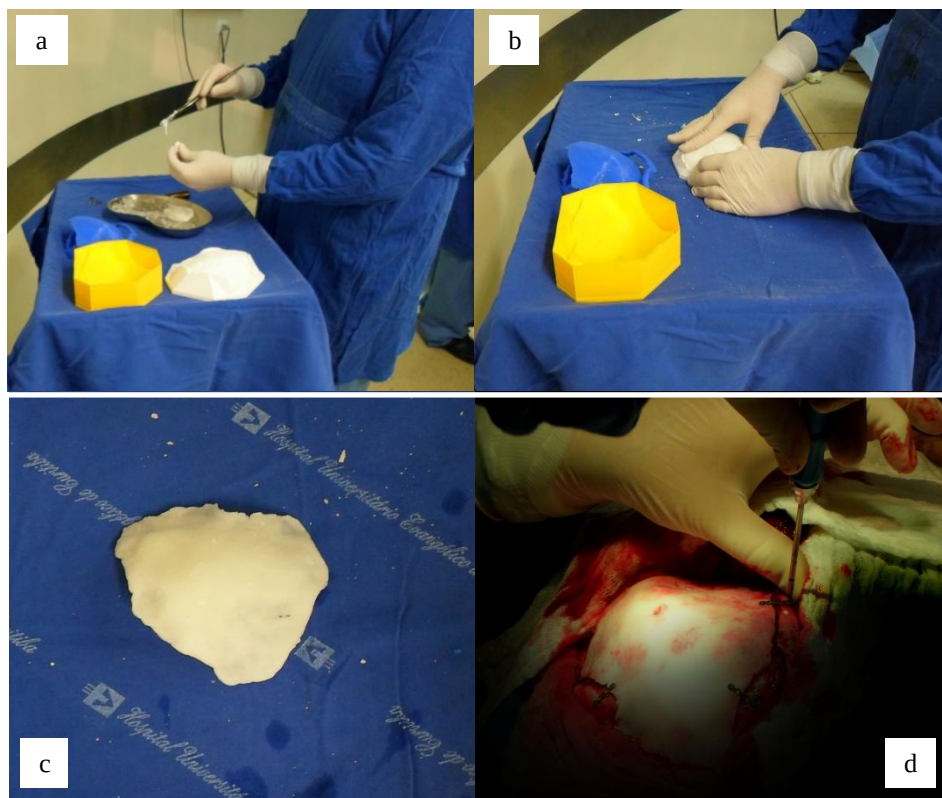


Figura 7. Cranioplastia – (a) Preparo do PMMA; (b) Moldagem da prótese; (c) Prótese finalizada; (d) Processo de cranioplastia. Fonte: autoria própria.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As vantagens do emprego de moldes fabricados por manufatura aditiva a partir de imagens tomográficas na cranioplastia apresentada neste trabalho são extremamente significativas, pois asseguram um perfeito ajuste do implante ao defeito craniano do paciente e, neste sentido, um aspecto fundamental a destacar é a questão estética. Nos procedimentos convencionais, isto é, sem o recurso do molde, a equipe médica confecciona a prótese de modo manual com um resultado que dificilmente tem ajuste adequado a anatomia do paciente. Outro aspecto é a espessura da parede da prótese que pode ser de difícil controle na confecção manual.

É importante destacar que a confecção manual de uma prótese não é uma tarefa trivial e requer habilidade da equipe médica, pois a visualização tridimensional do campo cirúrgico não é simples.

Neste sentido, outra vantagem significativa é a redução do tempo do procedimento cirúrgico, pois o emprego do molde libera a equipe médica da difícil tarefa de confeccionar artesanalmente uma prótese para o paciente, em especial, para defeitos cranianos extensos como no estudo de caso apresentado.

Adicionalmente, o uso de cimento ortopédico (PMMA - Polimetilmetacrilato) para a confecção da prótese durante o procedimento intra-operatório evita as questões de biocompatibilidade, tendo em vista que o PMMA é amplamente usado em cranioplastia.

Em relação ao aspecto custo, a vantagem também é importante para a abordagem apresentada neste trabalho, pois o custo aproximado da confecção da prótese produzida foi de aproximadamente R\$ 600,00.

4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, verificou-se que o primeiro estudo de caso foi concluído com êxito, pois o produto desenvolvido (molde para cranioplastia) conseguiu cumprir a função de confeccionar a prótese craniana biocompatível no procedimento cirúrgico, também realizado com sucesso. Além disso, ficou evidenciada a importância do uso da manufatura aditiva na área da saúde. A técnica se mostrou promissora com o uso de programas gratuitos de reconstrução e de modelagem 3D, que demonstraram serem ferramentas capazes de desenvolver os modelos necessários ao trabalho.

Espera-se que na continuidade da pesquisa, os moldes sejam aprimorados, adicionando geometrias e características que garantam um melhor encaixe das partes, melhor estética e funcionalidade do produto. A meta é fabricar a prótese antes da cirurgia e, dessa forma, diminuir o tempo dos procedimentos cirúrgicos e os riscos para o paciente.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Microbras Ltda. pela disponibilização da impressora 3D Cloner DH+, ao CNPq pela bolsa de produtividade em desenvolvimento tecnológico e extensão inovadora (DT2), aos estagiários do NUFER, Rodrigo Pulido Arce e Mateus Klein Valaski pela ajuda na modelagem e impressão 3D e ao Hospital Evangélico, na pessoa do Dr. Francisco Araújo, pela possibilidade de testar o molde desenvolvido.

6. REFERÊNCIAS

- Brown, A. C.; De Beer, D. “Development of a stereolithography (STL) slicing and G-code generation algorithm for an entry level 3-D printer 2013” Africon. Anais...IEEE, set. 2013
- Gerber, N.; Stieglitz, L.; PETERHANS, M.; Nolte, L.-P.; Raabe, A.; Weber, S. “Using Rapid Prototyping Molds to Create Patient Specific Polymethylmethacrylate Implants in Cranioplasty”, Journal of 32nd Annual International Conference of the IEEE EMBS Buenos Aires, Set. 2010.
- Gibson, Ian; Rosen, David W.; Stucker, Brent. “Additive Manufacturing Technologies. Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing”, 2010.
- Gil, A. C. “Como elaborar projetos de pesquisa”. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- Rotaru, Horatiu; Baciut, Mihaela; Bran, Simion; Chezan, Horea; Iosif, Alexandru; Tomescu, Mircea; Kim, Seong-Gon; STAN, Horatiu; ROTARU, Alexandru; BACIUT, Grigore. “Silicone rubber mould cast polyethylmethacrylate-hydroxyapatite plate used for repairing a large skull defect”, Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery, Jan. 2006.
- Rotaru, Horatiu; Stan, Horatiu; Florian, Ioan Stefan; Schumacher, Ralf; Park, Yong-Tae; Kim, Seong-Gon; Chezan, Horea; BALC, Nicolae; Baciut, Mihaela. “Cranioplasty With Custom-Made Implants: Analyzing the Cases of 10 Patients”, American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons, 2012.
- Shah, A.M.; Jung, H.; Skirboll, S. Materials used in cranioplasty: a history and analysis. Neurosurg Focus. Apr;36(4): 2014.
- Yacubian-Fernandes, Adriano; Laronga, Paulo Roberto; Coelho, Régis Antônio; Ducati, Luis Gustavo; Silva, Mateus Violin. Prototipagem como forma alternativa para realização de cranioplastia com metilmetacrilato: nota técnica. Arq. Neuro-Psiquiatr. vol.62 no.3b São Paulo Sept. 2004

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

COBEF2017-0323

DEVELOPMENT OF MOLD FOR RECONSTRUCTION OF CRANIAL PROSTHESIS IN CRANIOPLASTY BY ADDITIVE MANUFACTURING PROCESS

Abstract: *The present work aims to present the steps of developing a mold made by the additive manufacturing process to be used in the manufacture of a cranial prosthesis by pressing the orthopedic cement (PMMA - Polymethylmethacrylate) in surgical procedures of cranioplasty. The mold is personalized and should allow the anatomically compatible prosthesis to conform to the reconstruction needs identified and planned from the patient's tomographic examination images. The stages for the development of the work were: 3D reconstruction from the tomographic images, 3D modeling of the prosthesis and the mold and its manufacture by additive manufacture. The template was used in a real situation during surgery and the result was considered optimal by the medical team. Therefore, the manufacturing process adopted is promising and is a low-cost alternative that will allow more patients to have access to this surgical procedure.*

Keywords: *mold, additive manufacture, reconstruction, prosthesis, surgical procedures, cranioplasty*