

Produção de moldes por impressão 3D para próteses óculo-palpebrais

Production of 3D printing molds for oculo-palpebral prosthesis

Bruno Benegra Denadai

bruno.2000@alunos.utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

José Aguiomar Foggiatto

foggiatto@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Karin Barczyszyn

karin.odonto@clinirad.com.br

Hospital Angelina Caron, Campina Grande do Sul, Paraná, Brasil

RESUMO

As deformidades faciais são constrangedoras ao portador e muitas vezes tornam esses indivíduos diminuídos físico e psicologicamente. Por mais que os recursos tecnocirúrgicos tenham progredido muito nos últimos tempos, existem casos de deformidades faciais onde ainda é aconselhável a restauração por prótese cujo método mais utilizado atualmente é a fabricação por modelagem manual, ou seja, sem o uso de ferramentas virtuais. O presente trabalho, realizado no Núcleo de Manufatura Aditiva e Ferramental (NUFER) da UTFPR-CT em parceria com o Hospital Angelina Caron (HAC) tem por objetivo o desenvolvimento e fabricação de moldes por impressão 3D para a produção de próteses óculo-palpebrais. As técnicas de reconstrução 3D, modelagem CAD e manufatura aditiva se mostraram vantajosas quanto ao tempo necessário na confecção, ausência de procedimentos de moldagem facial e minimização da fase de escultura, se comparada aos métodos manuais. Foram realizadas próteses óculo-palpebrais para quatro pacientes e foi possível concluir que o método proposto nesse trabalho funcionou adequadamente com resultados que foram considerados muito bons pelos pacientes e equipe médica.

PALAVRAS-CHAVE: Próteses faciais. Manufatura aditiva. Modelagem virtual.

ABSTRACT

Facial deformities are embarrassing to the bearer and often make these individuals physically and psychologically diminished. Although the technosurgical resources have progressed a lot in recent times, there are cases of facial deformities where it is still advisable the restoration by prosthesis whose most used method currently is the manufacture by manual modeling, (without the use of virtual tools). The present work, carried out at the UTFPR-CT Additive Manufacturing and Tooling Center (NUFER) in partnership with the Hospital Angelina Caron (HAC), aims to develop and manufacture 3D printing molds for the production of oculopalpebral prosthesis. The techniques of 3D reconstruction, CAD modeling and additive manufacturing have shown to be advantageous regarding the time required for manufacturing, absence of facial molding procedures and minimization of the sculpting phase, when compared to manual methods. Eye-palpebral prostheses were made for four patients and it was possible to conclude

that the method proposed in this work worked properly with results that were considered very good by patients and medical staff.

KEYWORDS: Facial prostheses. Additive manufacturing. Virtual modeling.

DESCRIÇÃO DO ESTADO DA TÉCNICA

As deformidades faciais, sejam elas congênitas, causadas por traumas ou oncocirurgias, são constrangedoras ao portador e muitas vezes tornam esses indivíduos traumatizados, envergonhados e diminuídos físico e psicologicamente. Por mais que os recursos tecnocirúrgicos tenham progredido muito nos últimos tempos, existem casos de deformidades faciais onde ainda é aconselhável o uso de próteses (REZENDE, 1997).

A restauração facial por próteses não é uma novidade, estudos mostram que civilizações antigas já faziam o uso de próteses faciais, como a civilização egípcia, que confeccionava peças anatômicas artificiais com couro, tela e cera (ROSA, 2007). Durante a primeira guerra mundial essa técnica de reconstrução facial foi popularizada pelos primeiros especialistas na área, chegando no Brasil em 1919 introduzida por Monteiro de Barros. O método mais utilizado atualmente é a fabricação por modelagem manual, ou seja, sem o uso de ferramentas virtuais (REZENDE, 1997).

A aplicação da Manufatura Aditiva (AM), também denominada de impressão 3D, na medicina tem aumentado consideravelmente nos últimos anos com potencial de proporcionar muitos benefícios como: a personalização de produtos médicos e equipamentos; aumento da eficácia de procedimentos conhecidos e aumento das inovações dentro da área médica (VENTOLA, 2014). Esse trabalho propõe a produção de próteses óculo-palpebrais realizada por meio de moldes fabricados por impressão 3D, modeladas a partir da tomografia computadorizada do paciente. Esse foi o método escolhido para o estudo, já que as técnicas digitais se mostraram vantajosas quanto ao tempo necessário na confecção, ausência de procedimentos de moldagem facial e minimização da fase de escultura, se comparada aos métodos manuais (SILVA, 2019).

Dentre os vários fatores que determinam o sucesso da fabricação de uma prótese, destaca-se o material a ser utilizado na sua fabricação. A busca por tal material tem aumentado nos últimos anos, devido ao desenvolvimento da engenharia de materiais e ao bom desempenho que as próteses têm mostrado nas últimas décadas. Para ser utilizado na fabricação de uma prótese ele deve possuir as seguintes características: biocompatibilidade; durabilidade; peso leve; resistência a degradação pelo meio ambiente; facilidade na manipulação e aparência agradável (MOORE et al., 1977; REZENDE JR; MARINGONI FILHO, 1979; LEWIS; CASTLEBERRY, 1980). Os materiais mais utilizados para a confecção dessas próteses faciais atualmente são a resina acrílica termicamente ativada e os silicones (POLYZOIS, 1999). O silicone é o material que mais se aproxima do ideal pela sua flexibilidade e adequação no rosto do paciente (BENOIST, 1962), ainda que seu custo seja elevado, ele foi o material escolhido visando um melhor resultado. Para a realização desse trabalho foi necessária a sua aprovação pelo Comitê de Ética do Hospital Angelina Caron sob o número CAAE 48174521.3.0000.5226.

OBJETIVOS DA INVENÇÃO

Desenvolver e fabricar moldes por impressão 3D para a produção de próteses óculo-palpebrais.

Avaliar se existe viabilidade técnica na metodologia para a utilização clínica paciente-específico.

VANTAGENS DA INVENÇÃO

Neste estudo foram realizadas próteses óculo-palpebrais para quatro pacientes. Os resultados obtidos na pesquisa mostraram que o método proposto funcionou adequadamente e possui muitas vantagens se comparado ao método manual. Houve redução do tempo de modelagem, já que a modelagem virtual é mais rápida de ser feita e de ser corrigida.

Outra vantagem foi a redução do tempo de fabricação: Os moldes demoram em média 12 horas para serem impressos com a máxima qualidade da impressora utilizada (Ender 3 Pro), com o tempo podendo ser reduzido para 4 horas em média por molde, caso o profissional prefira aumentar a velocidade e diminuir a qualidade de impressão. Modelagens manuais demoram, em média, dias para serem feitas em várias tentativas.

O molde não é descartável, sendo assim, podem ser feitas inúmeras próteses do mesmo molde, exatamente iguais sem trabalho de modelagem adicional. Caso o molde seja perdido ou danificado, ainda assim, não seria necessário ser modelado de novo, já que o arquivo digital ainda estaria salvo. Bastaria imprimir o molde novamente.

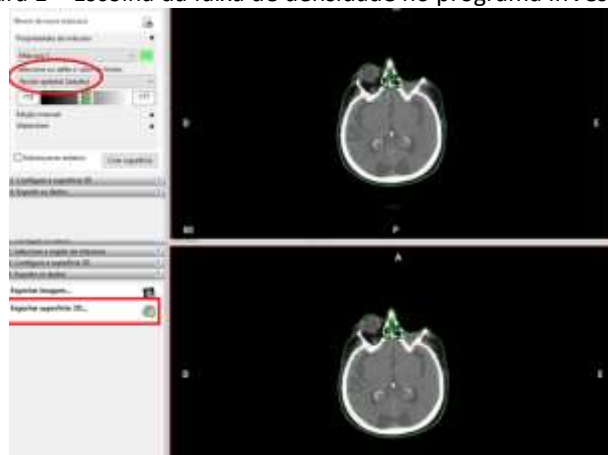
DESCRIÇÃO DETALHADA DO INVENTO

Para descrever melhor o invento, será apresentada a metodologia em 4 fases.

1. FASE INICIAL

A primeira fase consiste na obtenção dos dados do paciente e sua preparação para as demais fases. Os pacientes passam por uma Tomografia Computadorizada (TC), um exame de diagnóstico por imagem que consistem em diversas imagens, cada uma representando uma seção do corpo ou objeto. Essas imagens, que se encontram no formato DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine), formam um modelo 3D da região de interesse que passou pelo exame, sendo possível ser exportada e modelada futuramente. O arquivo DICOM é fornecido pelo Hospital Agelina Caron e a partir daí se inicia o processo de reconstrução utilizando o programa brasileiro InVesalius®, o qual faz a leitura do arquivo DICOM e fornece uma visualização 3D da TC. É possível fazer uma seleção da região de interesse de acordo com a sua densidade. Neste caso, por se tratar de próteses faciais, a densidade escolhida, deve abranger bem toda a região do rosto, por isso foi selecionada a faixa de densidade limiar “tecido epitelial adulto” (Figura 1).

Figura 1 – Escolha da faixa de densidade no programa InVesalius.



Fonte: Autoria própria (2021).

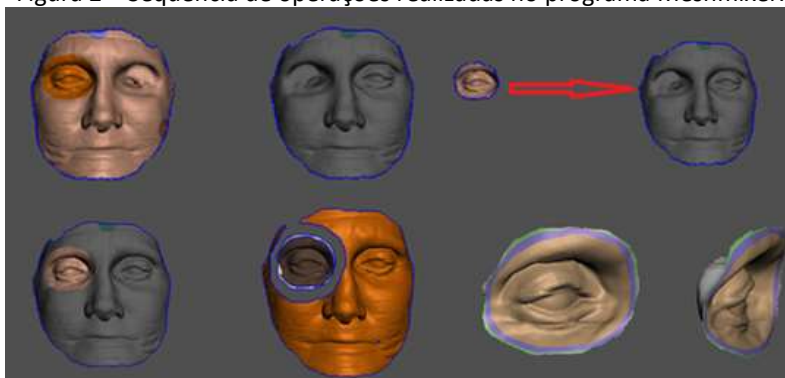
Depois de reconstruído, o modelo do rosto precisa ser exportado e aberto em outro software para dar início à próxima fase. Para isso, o arquivo é exportado em formato STL (STereoLithography). A criação de um arquivo STL consiste em converter a superfície externa de um modelo 3D em uma infinidade de triângulos e a grande vantagem desse formato é que ele pode ser aberto por diversos softwares de CAD.

2. FASE MODELAGEM DA PRÓTESE (MESHMIXER)

Essa fase pode ser considerada a fase principal, pois consiste, na modelagem da prótese e na sua adequação à face do paciente, usando o programa Meshmixer®. O modelo exportado pelo programa InVesalius® contém toda a superfície gerada pela faixa de densidade escolhida, a qual possui elementos além do necessário para a modelagem. Para uma melhor visualização e para minimizar o tempo de processamento do computador, o primeiro passo é a seleção e isolamento da região de interesse. Como o procedimento que está sendo descrito é a fabricação de uma prótese óculo-palpebral, a área isolada é a face frontal do rosto e o restante do modelo é deletado. Em seguida é feito o espelhamento do rosto, assim é possível capturar a região do outro olho (o que não foi mutilado) e usá-lo como base para a modelagem da parte mutilada. Usando o comando “Mirror” no Meshmixer® o espelhamento é feito e a parte que irá sobre a região mutilada é selecionada e o restante do rosto que foi espelhado é deletado.

Depois do espelhamento e seleção da parte que irá cobrir a deformidade, começa a modelagem. Usando a ferramenta “transform”, a parte espelhada é posicionada sobre a região mutilada do paciente. Esse procedimento deve ser feito com cuidado para assegurar a simetria do rosto e total cobertura da região mutilada. Usando os pincéis do programa Meshmixer®, a prótese é moldada, devendo as bordas serem tangentes ao rosto. É feita a separação da área óculo-palpebral do restante do rosto, e usando a ferramenta “joint”, junta-se a superfície da região mutilada do rosto do paciente (superfície de trás da prótese) e a parte espelhada já modelada (superfície frontal da prótese). A sequência de operações descritas pode ser visualizada na Figura 2:

Figura 2 – Sequência de operações realizadas no programa Meshmixer.



Fonte: Autoria própria (2021).

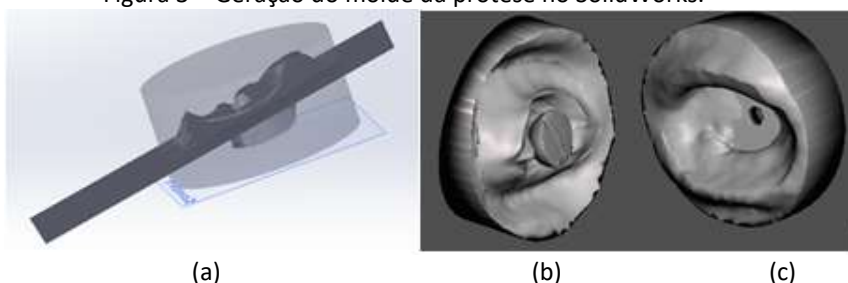
Assim que a geometria desejada é finalizada é necessário que sejam feitas as análises para evitar erros no processo de geração do molde. Uma análise de malha é feita para detectar triângulos invertidos ou aberturas na malha que podem causar erros na impressão e devem ser corrigidos antes da próxima etapa. Após isso, é feita uma análise de espessura para assegurar que a prótese tenha no mínimo 0,5mm, exceto nas bordas (onde a espessura tende a 0mm).

A última etapa é a modelagem da superfície de partição que irá dividir o molde na próxima fase. Essa etapa é de extrema importância pois é definida qual será a superfície de partição do molde. A superfície deve passar pela prótese e sair pelas bordas, garantindo a separação correta das partes inferior e superior da prótese. Isso é feito adicionando uma superfície plana no workplace e modelando-a com as ferramentas do programa, até atingir as características descritas.

3. FASE MODELAGEM DO MOLDE (SOLIDWORKS)

A prótese em formato STL, é aberta como corpo sólido no programa SolidWorks®. Cria-se um plano nas proximidades, e o molde é modelado sobre ele, envolvendo toda a prótese. A extrusão do molde é sempre feita sem habilitar a opção “mesclar resultados”, para não unir geometricamente o molde e a prótese (Figura 3a). Em seguida, é realizada a operação booleana (a subtração da geometria da prótese de dentro do molde), deixando a região da prótese vazia, que futuramente será preenchida por silicone. Isso é feito utilizando o recurso “combinar => subtração”. Com a ferramenta “dividir” a superfície de partição modelada anteriormente é usada como ferramenta de corte para dividir o molde em dois (parte inferior e parte superior), mostradas nas Figuras 3b e 3c respectivamente.

Figura 3 – Geração do molde da prótese no SolidWorks.



Fonte: Autoria própria (2021)

4. FASE FINAL

Com os moldes já divididos o processo de modelagem já está finalizado e inicia-se a fabricação. Para isso as duas partes do molde são exportadas em formato STL para o programa fatiador Ultimaker Cura versão 4.6 onde será gerado o arquivo em formato gcode, com as instruções que serão enviadas para a impressora produzir o molde. Os parâmetros de impressão são apresentados na Tabela 1.

Para validar o molde é realizada a moldagem da prótese em silicone Dragon Skin de dureza Shore 10. O silicone possui duas partes, a parte “A” e a parte “B”, que quando misturadas, elas reagem quimicamente curando o silicone e o solidificando. A mistura é feita adicionando-se um pouco de pó de maquiagem para dar uma aparência mais próxima da pele do paciente. Utilizando uma seringa o silicone é injetado no molde.

Tabela 1 – Parâmetros de Impressão

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
Temperatura da mesa	60° C	Percentual de Preenchimento	15 %
Temperatura de extrusão	200° C	Ângulo de preenchimento	45°/-45°
Velocidade de impressão	45 mm/s	% de Preenchimento do suporte	10 %
Altura de Camada	0,1 mm	Tipo de preenchimento interno	Grade
Quantidade de cascas (perímetro)	3	Distância de Retração	4 mm

Depois de impressos, os moldes foram enviados para o Hospital Angelina Caron onde a Dentista Dra. Karin Barczyszyn, responsável pela moldagem, confecção artística das peças em silicone, coloração intrínseca e extrínseca, caracterização, prova e instalação das próteses nos pacientes. Os resultados para os 4 pacientes são apresentados na Figura 4 e foram considerados muito bons pelos pacientes e pela equipe médica, o que valida o método proposto.

Figura 4 – Pacientes atendidos com as próteses óculo-palpebrais.



Fonte: Karin Barczyszyn (2021)

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao apoio financeiro do CNPq, à UTFPR, ao professor orientador José Aguiomar Foggiatto, a Dra. Karin Barczyszyn e aos colegas do NUFER.

REFERÊNCIAS

- BENOIST, M. **Utilisation des Résines Souples em Prothèse Maxillo-Faciale**. Rev Stomatol (Paris) June; 63 (6):532-3, 1962.
- LEWIS D.H., CASTLEBERRY D.J. **An Assessment of Recent Advances in External Maxillofacial Materials**. J Prosthet Dent Abr.; 43(4):426-32, 1980.
- MOORE D.J., GLASER Z.R., TABACCO M.J., LINEBAUGH, M.G. **Evaluation of Polymeric Materials for Maxillofacial Prosthetics**. J Prosthet Dent Sept.; 38 (3):319-26, 1977.
- POLYZOIS, G.L. **Color Stability of Facial Silicone Prosthetic Poly-Mers After Outdoor Weathering**. J Prosthet Dent Oct.; 82(4):447-50, 1999.
- Rezende JR, Maringoni Filho N. **Novo Material Para Prótese Facial**. Quintessência Maio; 6 (5):73-8, 1979.
- REZENDE, J.R.V. **Fundamentos da Prótese Buco-Maxilo-Facial**. São Paulo: Sarvier, 212, 1997.
- ROSA, Flávia G. **Fixação de Próteses Facial Em Pacientes Oncológicos: Revisão Sistemática**. 52 f, 2007.
- SILVA, Ana Carolina Oliveira da. **Comparative Study Between Conventional Technique and Prototyping for Oculopalpebral Prosthetic Manufacturing**. Undergraduate Course Final Monograph (Undergraduate Course in Dentistry) – Department of Dentistry, School of Health Sciences, University of Brasília, 2019.
- VENTOLA, C.L.M.S. **Medical Applications for 3D Printing: Current and Projected Uses**. P&T, 2014.