

Fabricação de próteses de nariz e orelha em silicone com o auxílio da impressão 3D

Manufacturing of silicone nose and ear prostheses with the aid of 3D printing

RESUMO

Marcel Eiji Higashiyama
marcel_eiji@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

José Aguiomar Foggatto
foggatto@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Felipe Mateus Franco
Felipe.mateus.franco@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Atualmente, no Brasil, as próteses faciais só são confeccionadas por profissionais da odontologia especializados na área de cirurgia bucomaxilofacial. O método utilizado por esses profissionais é realizado de forma totalmente manual, partindo de um modelo de prótese em cera e fazendo o acabamento e encaixe no rosto do paciente no momento do atendimento. Este trabalho apresentará uma alternativa para aperfeiçoar os processos tradicionais através de tecnologias de modelagem e impressão 3D. A proposta é fabricar próteses de nariz e orelha de silicone em moldes de alginato com o auxílio da impressão 3D. A fabricação dos biomodelos por impressão 3D permitirá a obtenção do formato exato do nariz e orelha para, de modo indireto, obter as próteses faciais em silicone que serão fixadas com cola cirúrgica na pele do paciente. Usando o biomodelo impresso será gerado um molde em alginato que reproduzirá uma cópia idêntica em silicone do nariz ou orelha. A cor da pele do paciente será obtida adicionando-se pó de maquiagem durante a preparação do silicone. Foram feitos vários testes para análise e validação da proposta e acredita-se que os resultados obtidos são bem promissores.

PALAVRAS-CHAVE: Prótese maxilo-facial. Silicones em cirurgia. Impressão 3D.

ABSTRACT

Currently in Brazil facial prostheses are only allowed to be made by dental professionals specialized in the field of maxillofacial surgery. The methodology used by these professionals is completely manual, starting from a wax model of the prosthesis and finishing and fitting the prosthesis on the patient's face at the clinic office. This paper will show an alternative method to improve the traditional processes through modelling technologies and 3D printing. The purpose is to produce nasal and auricular prostheses in silicone using alginate moulds with the aid of 3D printing. The fabrication of the biomodels by 3D printing will allow the exact shape of the ears and noses to be acquired for, in an indirect way, to obtain the facial prostheses in silicone that will be attached to the patient's skin with surgical glue. Using the printed biomodel, an alginate mould that reproduces an identical copy of the ear or nose prosthesis will be generated. The color of the patient's skin will be achieved adding powder makeup during the preparation of the silicone. Several tests were performed for analysis and validation of the method, and it's believed that the results obtained are promising.

KEYWORDS: Maxillofacial prosthesis. Silicones in surgery. 3D printing.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

Neste projeto serão apresentados as pesquisas e os métodos de como fabricar próteses de nariz e orelha. Hoje são inúmeros os casos de acidentes que causam a perda de órgãos faciais, o que se torna um constrangimento e um problema de inclusão no meio social devido ao preconceito e ao estranhamento de sua mutilação. Assim, destaca-se a importância do implante de próteses de silicone para o melhoramento estético facial. O processo tradicional de produção de próteses é realizado por profissionais formados em odontologia especializados na área de cirurgia bucomaxilofacial. No entanto não é uma área muito atrativa devido à sua complexidade, mesmo com a ajuda da tecnologia, conforme destaca Pinheiro (2015). O objetivo desse trabalho é desenvolver um método para fabricação de próteses de silicone para utilização no meio social com o intuito de melhorar a autoestima do usuário, conforme é apresentado por Carvalho (2018). A aparência realista da prótese é de suma importância para a auto estima do paciente (MORETTO, 2016).

MATERIAIS E MÉTODOS

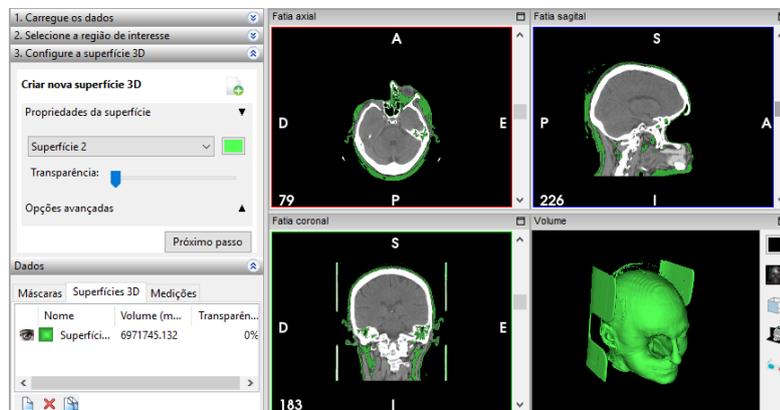
PROCESSOS DE IMPRESSÃO 3D ADEQUADOS À FABRICAÇÃO DE PRÓTESES FACIAIS E TECNOLOGIAS SELECIONADAS

O laboratório do NUFER (Núcleo de Manufatura Aditiva e Ferramental) localizado na Sede Ecoville da UTFPR (Campus Curitiba) foi utilizado para a fabricação das próteses faciais. Foram utilizadas várias máquinas de manufatura aditiva, tanto industriais, como o modelo *UPrint SE* da marca *Stratasys*[®], como as de baixo custo, como o modelo ANET A8. Foram também utilizados computadores com os seguintes programas: Controlador de impressora 3D (*Repetier*); Fatiador de modelos em 3D (*Repetier*); Modelagem e tratamento superficial (*Meshmixer* da *Autodesk*[®]) e Conversão de arquivos da tomografia do formato DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) para arquivos 3D em formato STL (*Standard Triangle Language*) (*InVesalius*, do CTI Renato Archer).

MODELAGEM DOS MODELOS DE NARIZ E ORELHA A PARTIR DE ARQUIVOS OBTIDOS POR DIGITALIZAÇÃO

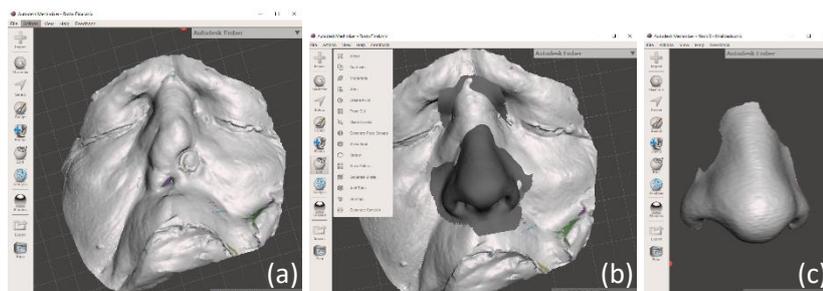
O programa *Meshmixer* é um programa adequado para trabalhar com biomodelos 3D, então foi utilizado para fazer a modelagem dos membros faciais. O programa *InVesalius* realiza a reconstrução 3D das regiões de interesse a partir de arquivos DICOM adquiridos em tomografias, sendo possível separar o que é osso, pele, cartilagem ou outras partes de acordo com o valor de suas densidades (Figura 1). Esses programas permitiram a geração dos modelos em 3D de rostos mutilados e sua união com um modelo de nariz ou orelha, obtido de uma biblioteca de órgãos. Após a validação virtual, o biomodelo é impresso em 3D. Usando como exemplo o nariz, a geometria da prótese é composta pela superfície frontal do nariz e a superfície frontal do rosto do paciente e, através de operação booleana, as duas partes são unidas resultando num modelo que se ajustará perfeitamente ao rosto do paciente (Figura 2).

Figura 1 - seleção de partes do corpo no programa *InVesalius*.



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 2 - Sequência utilizada para gerar a geometria da prótese: (a) Rosto do paciente; (b) Modelo 3D de um nariz ajustado no rosto do paciente; (c) Modelo 3D da prótese.



Fonte: Autoria própria (2020).

IMPRESSÃO 3D DOS MODELOS DAS PRÓTESES

Para imprimir os modelos são necessários os arquivos do nariz e da orelha em formato STL, finalizados na modelagem 3D. É utilizado o programa fatiador *Repetier* para gerar um arquivo *G-Code*, que conterà todas as informações que serão transmitidas para a impressora 3D, nesse caso, de tecnologia por extrusão de material. Foi necessário estudar as possíveis disposições dos modelos na impressora para obter o melhor acabamento possível na impressão. O melhor resultado foi a disposição “em pé”, pois resultou num acabamento superficial de qualidade adequada para a produção do molde. As imperfeições ficaram no lado inferior onde não se tem tanta visibilidade (Figura 3).

Figura 3 - Impressão dos modelos das próteses: (a) Disposição de impressão do nariz; (b) Disposição de impressão da orelha; (c) Nariz impresso; (d) Orelha impressa.



Fonte: Autoria própria (2020).

Para a impressão foi necessário definir a impressora e o programa para interface. O laboratório possui impressoras industriais e de baixo custo e, para este trabalho, foi escolhida a de baixo custo (modelo ANET A8) visto que o resultado das impressões é muito próximo a das industriais com a vantagem do baixo custo da matéria prima. Seu único problema é a dificuldade no seu ajuste, que depende de pessoal especializado.

Com o modelo impresso em 3D e um molde em gesso do rosto do paciente, disponibilizado pela dentista, foi possível verificar o resultado do encaixe do nariz. O resultado foi considerado adequado, validando a geometria do modelo impresso (Figura 4) e a simulação feita no programa *Meshmixer*.

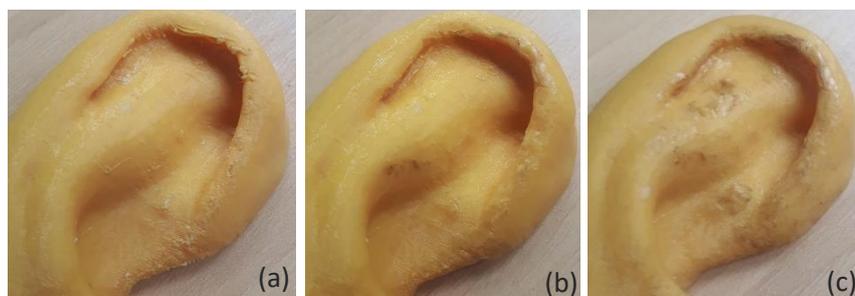
Figura 4 - Verificação do encaixe da peça impressa em 3D



Fonte: Autoria própria (2020).

Para dar acabamento às peças impressas, devido as imperfeições causadas pelo material de suporte da impressão 3D, foi utilizado um ferro de solda. O resultado foi uma superfície menos rugosa e mais adequada para geração do molde.

Figura 5 - Reparo das imperfeições utilizando ferro de solda: (a) Modelo impresso; (b) 1ª etapa acabamento; (c) 2ª etapa acabamento.



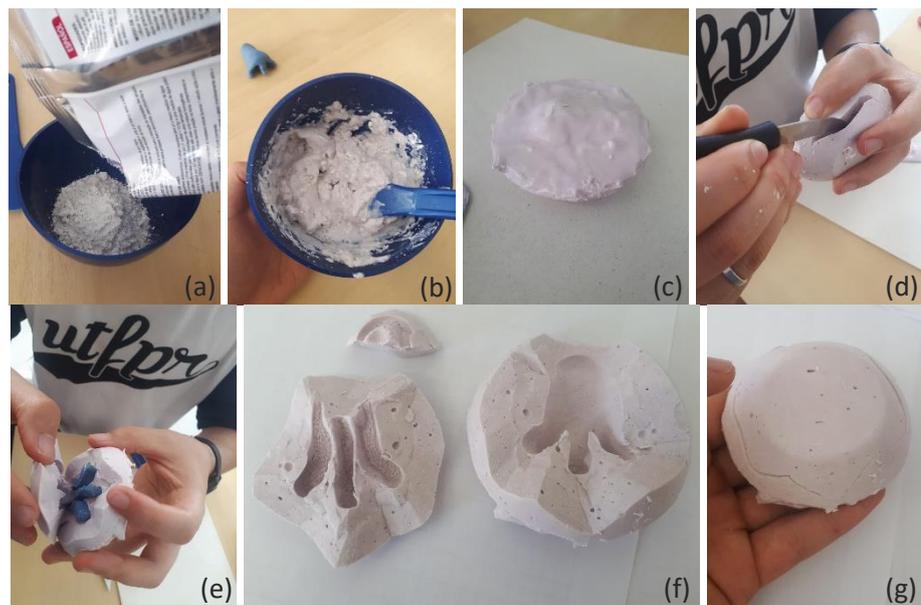
Fonte: Autoria própria (2020).

FABRICAÇÃO DO MOLDE EM ALGINATO E DAS PRÓTESES DE SILICONE

Para a fabricação do modelo em silicone foi fabricado um molde em alginato. Esse molde foi fabricado a partir de uma massa composta por pó de alginato e água (Figura 6a). Essa massa (Figura 6b) é utilizada para envolver todo o modelo impresso em 3D (Figura 6c). O próximo passo é realizar um corte separando o molde em duas ou mais partes, de forma que seja possível retirar o modelo impresso do molde (Figura 6d). O tempo necessário para reação do alginato foi de um minuto. Para obtenção de uma prótese sem muitas linhas de divisão, a forma mais viável para se cortar o molde é separando-o em duas partes (Figuras 6e, 6f e 6g). Essas linhas afetam o modelo final em silicone, por isso é necessário que o encaixe seja exato. Na Figura 6d é mostrado um corte em zigue-zague

para facilitar esse encaixe. Na Figuras 7a e 7b é possível verificar um corte reto, mas para ajudar no encaixe o molde foi recolocado no pote onde foi feita a mistura. Apesar do formato complexo da orelha e do nariz, é sempre possível retirar a peça impressa em 3D de dentro do molde, pois o alginato depois de um minuto de reação ainda continua muito flexível. Apenas é necessário abrir o molde com muito cuidado para não danificar o molde. Necessita-se também estudar onde realizar o corte, para facilitar a retirada da peça.

Figura 6 - Processo de fabricação do molde de alginato: (a) Alginato em pó; (b) Mistura alginato e água; (c) Alginato curado; (d) Corte da linha de partição; (e) Retirada do modelo impresso; (f) Cavidades do molde; (g) Molde finalizado.



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 7 - Molde de uma orelha: (a) Corte reto do molde e modelo impresso; (b) Montagem do molde utilizando o pote de mistura



Fonte: Autoria própria (2020).

Para preparar o silicone que será injetado no molde é necessário fazer a mistura do pó compacto de rosto para dar coloração à prótese (Figura 8a) com o silicone (que é fornecido em duas partes A e B) para iniciar a cura (Figuras 8b e 8c), depois é necessário injetar esse silicone dentro do molde e esperar curar totalmente (Figura 8c). Tanto para retirar o silicone A e B do frasco, quanto para injetar a mistura no molde (Figuras 8d e 8e), foram utilizadas três seringas, uma para cada tipo (A, B e mistura). O tempo de reação para cura do silicone é de no mínimo 30 minutos, conforme testes realizados no laboratório durante a confecção

das próteses (Figura 8f). Conforme estudo com testes mecânicos de Artioli (2017), a pigmentação utilizando o pó compacto não altera a resistência mecânica do silicone, e estudos sobre distorções geométricas de Pinheiro (2015) e Carvalho (2018) apontam para uma deformidade mínima em torno de 5%, o que torna viável esse processo.

Figura 8 - Processo de fabricação da prótese em silicone: (a) Pó de maquiagem; (b) Silicone líquido; (c) Mistura; (d) Retirada da mistura; (f) Injeção do silicone; (g) Prótese.



Fonte: Autoria própria (2020).

VALIDAÇÃO DAS PRÓTESES

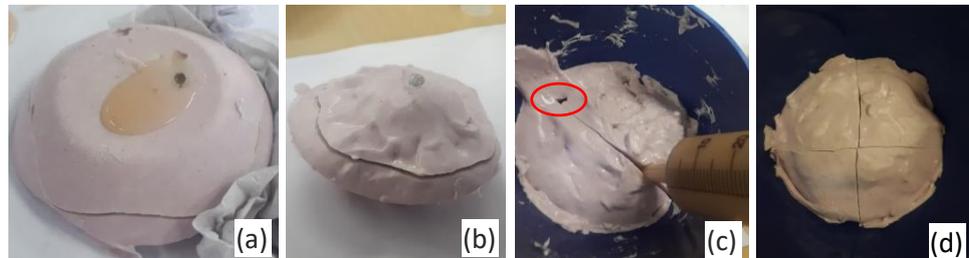
No caso da prótese de nariz a validação foi realizada ao ajustá-la ao modelo de gesso do rosto do paciente. Verificou-se que o ajuste ocorreu de forma adequada visto que a geometria da parte traseira da prótese se ajustou bem a face do paciente. No caso da orelha a verificação realizada foi via conferência do dimensional da prótese, aparência e textura. A verificação da cor não foi realizada visto que este trabalho é de caráter exploratório e não houve contato direto com os pacientes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O trabalho testou vários conceitos para realizar o corte do molde e o maior cuidado se deu ao encaixe bem alinhado entre as partes e a fixação do molde ao encaixe original. Devido à flexibilidade do molde de alginato, foi relativamente fácil manter o alinhamento com o encaixe fixo. No entanto, o corte horizontal no molde posicionado de ponta cabeça, conforme Figura 9(a), necessitou do auxílio de um calço para permitir a sua estabilidade. A solução encontrada foi utilizar o próprio pote usado na mistura para assegurar o correto posicionamento (Figura 9c). As Figuras 9a e 9b ilustram os casos em que foi utilizado o corte em zigue-zague para ajudar na fixação dos moldes. As Figuras 9c e 9d mostram os casos em que o corte foi feito reto, pois o encaixe é mais preciso, e pode ser realizado um corte adicional para ajudar na retirada na peça. Apesar da complexidade do formato da orelha e do nariz, não houve dificuldades em retirá-las sem danificar o molde, pois o molde em alginato é bem flexível. Em relação aos furos para injeção, não houveram problemas realizando a injeção pelo lado superior, tomando cuidado sempre para

que a injeção seja de forma contínua e rápida. Foi necessário utilizar um furo para saída de silicone, conforme Figura 9c, para se saber quando o molde estivesse cheio.

Figura 9 - Diferentes disposições do molde e de corte: (a) Molde com calço; (b) Molde apoiado na base plana; (c) Molde com furo de saída; (d) Corte duplo.



Fonte: Autoria própria (2020).

Um dos problemas a ser resolvido é o odor do alginato que é passado para a prótese de silicone. Sugere-se como estudos em trabalhos futuros verificar se não há esse produto sem odor sendo comercializado. No entanto, no levantamento realizado nesse trabalho, foi constatado que o alginato disponível no mercado só fornecido com aromatizantes de diferentes sabores (menta, damasco, mangostão, etc.). Os diferentes tons de pele geram uma dificuldade na composição das cores da prótese, pois a quantidade de pó de maquiagem altera a coloração, conforme pode ser visto nas Figuras 10a, 10b e 10c. O acerto da cor depende da habilidade de quem prepara a mistura e é um processo de tentativa e erro até atingir a cor correta. Uma alternativa é a coloração extrínseca sobre a superfície da prótese.

Figura 10 - resultados obtidos das próteses de orelha e nariz: (a) Tonalidade orelha; (b) Tonalidade nariz; (c) Variações de tonalidade.



Fonte: Autoria própria (2020).

O excesso de silicone que sobra do processo de injeção é facilmente retirado com uma ferramenta de corte, resultando numa marca na prótese, que muitas vezes pode inutiliza-la. As bolhas de ar que ficam nas próteses são um problema frequente e podem ser minimizadas fazendo a mistura num equipamento que trabalhe com vácuo.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos, comparados ao processo tradicional realizado pelos dentistas, se mostraram mais precisos geometricamente por utilizarem a impressão 3D para gerar o modelo que dá a forma ao molde. O uso de moldes de alginato se mostrou viável mas o processo precisa ser melhorado com a eliminação das bolhas durante o processo de mistura. Adicionalmente é necessário o

fornecimento pelo mercado do alginato sem aroma para que as próteses possam ser disponibilizadas para os pacientes. Resolvidos esses problemas será possível fornecer a sociedade próteses faciais de qualidade a um custo bastante reduzido visto que, para o caso das próteses de nariz, utilizou-se aproximadamente 8,59 reais de material (silicone, filamento de PLA e alginato).

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao CNPq, à Dra. Karin Barcyszyn (dentista especialista em cirurgia bucomaxilofacial) e à Caroline Pulido Arce (estagiária do NUFER que forneceu os modelos 3D de nariz e orelha).

REFERÊNCIAS

ARTIOLI, Bárbara Olivetti. **Estudo e desenvolvimento de tecnologias e técnicas para obtenção de prótese auricular com custo-efetividade por meio de modelagem 3d e manufatura aditiva**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do ABC. Link: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFBC_7e7f19a21dc83604efa63595ae2fb29f/Details Acesso em: 22 out. 2020.

CARVALHO, Samira; ORLANDO, Ederson; CORSETTI, Adriana. **Reabilitação protética bucomaxilofacial: revisão de literatura e relato de caso**. Revista da Faculdade de Odontologia de Porto Alegre, v. 59, n. 2, p. 24-33. 2018. Link: <https://seer.ufrgs.br/RevistadaFaculdadeOdontologia/article/view/87833> Acesso em: 22 out. 2020.

HENSEN; Jéssica C. D. dos S. F. **Desenvolvimento de um procedimento para a fabricação de órteses não articuladas de tornozelo e pé por Manufatura Aditiva**. 2019. 162f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4305/1/CT_PPGEM_M_Hensen%2C%20J%C3%A9ssica%20Cristina%20Dias%20dos%20Santos%20Forte_2019.pdf Acesso em: 22 out. 2020.

MORETTO, Emerson Galves. **Elaboração de próteses auriculares individualizadas por meio de manufatura apoiada por computador**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Link: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3142/tde-22032017-092545/pt-br.php> Acesso em: 22 out. 2020.

PINHEIRO, Rogélio Carpes. **Design virtual na reconstrução auricular com material autógeno**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Link: <http://hdl.handle.net/10183/131064> Acesso em: 22 out. 2020..

VOLPATO, N; CARVALHO, J. de. Introdução à Manufatura Aditiva ou Impressão 3D. In: VOLPATO, N. (Ed.). **Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: Blucher, 2017. p. 15-30.