

Produção de próteses bucomaxilofaciais com o auxílio de tecnologias de digitalização e de manufatura aditiva de baixo custo

¹José Aguimar Foggiatto, ¹Luciano Zart Olanyk, ²Roberta Targa Stramandinoli Zanicotti, ¹Micheli Oslicki

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Curitiba

²Hospital do Trabalhador - Curitiba

DOI 10.52050/9788579177255-06

RESUMO

No âmbito da tecnologia assistiva, o uso de próteses desempenham um papel crucial não apenas na restauração estética e funcional, mas também no bem-estar emocional dos pacientes, melhorando a autoestima e promovendo a aceitação social. Neste contexto, este trabalho apresenta os resultados de pesquisas onde métodos e ferramentas foram desenvolvidos pelo grupo de trabalho de próteses e órteses (GT6) do NAPI-TA para produção de próteses bucomaxilofaciais. Através de técnicas de digitalização e de manufatura aditiva, também conhecida como impressão 3D - ambas de baixo custo - são apresentados os métodos e resultados da produção de próteses usadas em pessoas que sofreram perdas totais ou parciais de órgãos da face como nariz, orelha e região óculo-palpebral. O uso recente dessas tecnologias permite a produção de próteses personalizadas e realistas a um maior número de pessoas, elevando a confiança e auto estima de pacientes, auxiliando-os na sua recuperação psicossocial, qualidade de vida, cidadania e reintegração do paciente na sociedade [1]. As causas da falta de órgãos na face podem ser congênitas devido às malformações, distúrbios de desenvolvimento geradas por traumas, acidentes na região da cabeça e pescoço ou de origem oncológica [2]. O cirurgião dentista é o profissional habilitado para atuar com próteses bucomaxilofaciais, no entanto são poucos os profissionais que se especializam nessa área visto que, usualmente, a confecção tradicional dessas próteses demandam muito tempo. Além disso, a qualidade é dependente da habilidade manual do profissional. Isto afasta o interesse e reduz drasticamente a oferta dessas próteses, tornando-as praticamente inacessíveis para a grande maioria da população de baixa renda. É importante destacar que

são justamente estas pessoas de menor poder aquisitivo, as que mais precisam de próteses bucomaxilofaciais, principalmente nos casos de perda de órgãos, devido a presença de neoplasias, uma vez que é comum serem atendidas tardiamente e, devido a cirurgias já não há mais como manter os órgãos próximos ou acometidos pelo câncer. O texto apresenta alguns dos resultados das pesquisas sobre novos métodos e ferramentas com propósito de diminuir a dependência da habilidade manual dos profissionais que produzem próteses faciais, inserindo tecnologias de baixo custo como digitalização e manufatura aditiva. Não obstante, o grupo trabalha para desenvolver mais técnicas relacionadas ao assunto.

Palavras-chave: Manufatura aditiva, Próteses bucomaxilofaciais, Fabricação baixo custo.

1. INTRODUÇÃO

A reconstrução facial com a utilização de próteses bucomaxilofaciais é de grande complexidade e depende de muito treinamento e habilidade para se atingir um bom nível de similaridade com o órgão perdido. A prótese deve ser planejada para devolver a funcionalidade do órgão e, quando possível, ser bem aceita pelos pacientes permitindo-lhes recuperar a sua confiança e autoestima [3]. Durante o biênio 2018-2019, foram registrados no Brasil, 85.170 casos novos de câncer de pele não melanoma entre homens e 80.410 entre as mulheres. O câncer de pele não melanoma é o mais incidente em homens nas Regiões Sul (160,08/100 mil), Sudeste (89,80/100 mil) e Centro-Oeste (69,27/100 mil). Quanto ao melanoma, sua letalidade é elevada, porém sua incidência é baixa (2.920 casos novos em homens e 3.340 casos novos em mulheres). As maiores taxas estimadas em homens e mulheres encontram-se na Região Sul [4]. Observa-se que nesta região do Brasil, local onde será desenvolvido esse projeto, ocupa o primeiro lugar em relação a incidência de tipos de câncer de pele (não melanoma e melanoma), que é apenas uma das causas que geram a perda de órgãos na face. Apenas esses dados evidenciam a necessidade de iniciativas para atender as demandas de pacientes mutilados devido à presença de neoplasias [2]. Além desses casos, há ainda os congênitos e os causados por acidentes.

As próteses são dispositivos médicos customizados, usados para substituir ou reconstruir partes do corpo perdidas devido a traumas, doenças congênitas ou câncer. Elas desempenham um papel crucial não apenas na restauração estética e funcional, mas também no bem-estar emocional dos pacientes, melhorando a autoestima e promovendo a aceitação social. Muitos pacientes apresentam defeitos bucomaxilofaciais, devido a procedimentos cirúrgicos de ressecção de tumores, acidentes ou má formação congênita e, por isso, apresentam o rosto mutilado. As próteses faciais são uma das possíveis soluções estéticas

e funcionais para estes pacientes. Dentre estas soluções, estão incluídas as próteses que passam em ponte sobre o defeito, chamadas de Epíteses, como as próteses oculopalpebrais, nasais e auriculares. Muitas vezes este tipo de reabilitação com próteses é mais eficaz que reconstruções cirúrgicas, sendo menos desgastante para o paciente e vantajoso do ponto de vista estético, além de terem um custo mais baixo [5].

A história das próteses remonta ao Egito Antigo, com uma prótese de dedo do pé de cerca de 950 a.C. feita de madeira e couro, encontrada em uma múmia. Na Roma e Grécia Antiga, guerreiros usavam próteses de bronze, ferro e madeira após perderem membros em batalhas, que tinham tanto funções funcionais quanto estéticas. Durante a Idade Média, as próteses evoluíram lentamente, mas o Renascimento trouxe avanços significativos com Ambroise Paré, que criou dispositivos mais sofisticados, incluindo uma perna de madeira com junta de genuflexão e uma mão com dedos articulados. Nos séculos XIX e XX, a Revolução Industrial permitiu a produção em massa de próteses, tornando-as mais acessíveis e incorporando materiais mais leves e duráveis, como alumínio e plástico. Durante e após as guerras mundiais, a demanda por próteses aumentou significativamente, levando a inovações adicionais.

As próteses faciais surgiram nesse período, com trabalhos pioneiros de artistas como Anna Coleman Ladd, que confeccionava máscaras para soldados mutilados na Primeira Guerra Mundial. Este tipo de prótese exerce um papel fundamental na recuperação da autoestima do paciente reabilitado, ao restaurar aspectos funcionais, estéticos e também a autoconfiança, facilitando seu retorno à rotina, às atividades profissionais e à convivência social [6]. A prótese facial é um tratamento reversível e eficaz, que em alguns casos torna-se a solução definitiva. Em essência, trata-se da ciência de restaurar uma parte mal formada ou ausente do corpo humano por meios artificiais, exigindo a reprodução fiel da forma e cor da estrutura a ser substituída. Atualmente, as próteses são confeccionadas com materiais, como resinas acrílicas, silicones de grau médico e pigmentos atóxicos e são retidas ou sustentadas por dentes remanescentes, implantes osteointegrados, pele adjacente com ou sem adesivo, em cavidades corporais [7]. A confecção desses dispositivos, quando realizada sem o auxílio de tecnologias digitais, é um processo moroso e essencialmente artesanal, que depende fortemente da habilidade e sensibilidade artística do protesista. Exige longas horas intensivas de trabalho manual e inicia-se com uma moldagem da região a ser reabilitada, seguida da escultura em cera juntamente com outros materiais, que durante o processo são ajustados visando alcançar uma boa adaptação no usuário. Devido à natureza do processo, baseado em tentativa e erro nos ajustes

clínicos, o cirurgião precisa dispor de maior tempo em consultório, até que a prótese atinja um nível satisfatório de estética e funcionalidade [8].

Atualmente, o uso de ferramentas digitais em conjunto com a Manufatura Aditiva (AM), também conhecida como impressão 3D, permitem uma grande variedade de aplicações específicas como a modelagem de órgãos individualizados, em um curto espaço de tempo. A aplicação dessas tecnologias tem se mostrado peça-chave no processo de confecção desses produtos assistivos, em especial, quando se trata da redução de tempo e recursos dos profissionais de saúde [9].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos que serão descritos foram desenvolvidos no Núcleo de Manufatura Aditiva e Ferramental Rápido - NUFER do Departamento de Engenharia Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR-CT). A equipe é formada por bolsistas de graduação e pós-graduação orientados pelos professores pesquisadores que compõem o GT6 do NAPI-TA.

O processo de produção de próteses bucomaxilofaciais inicia com a aquisição da geometria dos segmentos corporais e, pode ser realizada de diversas formas, conforme a disponibilidade de informações do paciente. A melhor situação é o uso de tomografia computadorizada anterior à perda do órgão da região de interesse. Uma segunda opção é o uso de sistemas de digitalização 3D. Embora o NUFER possua duas tecnologias de digitalização comerciais (a laser e por apalramento), há preferência pelo uso de soluções de baixo custo, como por exemplo, programas de digitalização baseados em fotografias (RECAP-Autodesk®), sensores utilizados em vídeo games (Kinect/XBOX), entre outros. Como última alternativa pode ser utilizada uma biblioteca digital, desenvolvida pela equipe de projeto, com modelos 3D de anatomia de diversas pessoas. A escolha será feita baseada em fotografias do paciente tiradas antes da perda do órgão.

Os modelos digitais 3D, gerados a partir de tomografias computadorizadas ou por tecnologias de digitalização sempre precisam de alguma correção. Nesta etapa, correções são realizadas por meio de programas gratuitos de modelagem 3D disponibilizados na internet, como o Blender e o Meshmixer.

Uma vez corrigidos, os modelos digitais 3D são utilizados para a produção indireta de próteses por manufatura aditiva. Esta produção inicia com a obtenção de um molde impresso a partir de filamentos de PLA ou resina. Estes moldes são finalmente usados para moldar o órgão em silicone. Atualmente o NUFER possui uma infraestrutura com uma variedade de impressoras de filamentos e de resina. (Quadro 1) com 8 máquinas de impressão 3D, sendo que quatro delas

são consideradas de baixo custo (3D Cloner DH+ ANET A8, Mendel e Graber) e deverão ser utilizadas no projeto.

Os dispositivos protéticos desenvolvidos passam por processos de acabamento e de verificação computacional sob a responsabilidade da equipe executora. Subsequentemente, a validação do artefato produzido é conduzida pelo próprio paciente, contando com o suporte de cirurgiões-dentistas e demais profissionais de saúde vinculados às instituições parceiras. Nessa fase, são conferidos prioridade aos requisitos estéticos, visando a fidelidade cromática em relação à face do usuário, bem como à correta adaptabilidade e funcionalidade dos dispositivos protéticos faciais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A implementação do fluxo digital viabiliza a criação de reconstruções virtuais de alta precisão para a face. Nesta etapa, as discrepâncias geométricas são corrigidas, assim como fechamento de lacunas e refinamento de superfícies para a recomposição virtual dos elementos anatômicos perdidos. Sempre que necessário, adota-se o espelhamento da região contralateral íntegra, visando assegurar a simetria morfológica e a fidelidade estética do dispositivo (Figura 1).

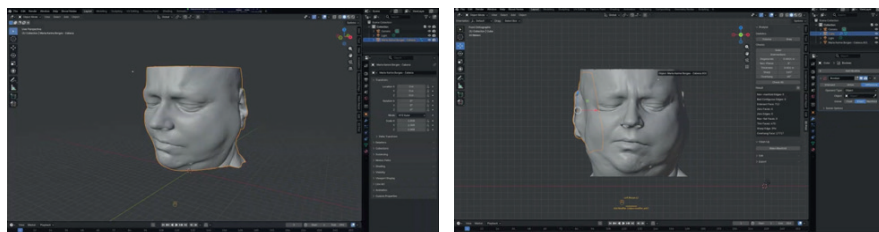


Figura 1 - Etapas de modelagem tridimensional no software Blender, incluindo tratamento da malha digital, correção de imperfeições anatômicas e espelhamento virtual para reconstrução de estruturas faciais.

A partir dos biomodelos refinados, moldes (Figura 2) são extraídos e projetados para produção dos dispositivos protéticos faciais em silicone.



Figura 2 - Moldes produzidos por manufatura aditiva para produção de prótese facial por silicone

Os moldes resultantes proporcionam uma conformidade rigorosa com a anatomia planejada em ambiente digital, como exibe a Figura 3, comprovando que a articulação entre exames de tomografia computadorizada, ferramentas de modelagem 3D de código aberto e processos de manufatura aditiva é plenamente eficaz.



Figura 3 - Exemplos de estruturas protéticas produzidas a partir do fluxo digital, incluindo prótese auricular e prótese nasal confeccionadas em silicone, utilizadas apenas para validação laboratorial.

Após a validação do molde no NUFER, o arquivo digital e o molde é enviado ao profissional de saúde que produz a próteses de silicone, assegurando a preservação dos modelos virtuais, o que facilita a confecção de novas peças sem a obrigatoriedade de reiniciar os procedimentos de digitalização e design do paciente. Tal diferencial constitui um benefício expressivo para o sistema público de saúde, estabelecimentos de ensino e unidades reabilitadoras que visam a otimização de ativos e a democratização do atendimento especializado.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A convergência entre exames de tomografia computadorizada, ferramentas de modelagem 3D de código aberto e sistemas de manufatura aditiva consolidou-se como uma metodologia eficaz no desenvolvimento de dispositivos protéticos customizados. Esse fluxo de trabalho digital viabilizou a obtenção de moldes precisos e biomodelos complexos em silicone de grau médico, assegurando uma padronização superior e maior previsibilidade nos ciclos clínicos e laboratoriais do processo reabilitador.

Sob a ótica do cirurgião-dentista, tal inovação atenua a dependência intrínseca da habilidade manual e sensibilidade artística, otimizando o tempo em consultório e garantindo a preservação perpétua dos arquivos digitais para futuras reproduções. Para o usuário, os benefícios refletem-se em uma reabilitação estética e funcional mais ágil, reduzindo o desgaste de intervenções invasivas e promovendo, de forma decisiva, sua reintegração psicossocial e elevação da autoestima.

Ademais, a aplicação de tecnologias de baixo custo aliada a softwares gratuitos emerge como um vetor de democratização da assistência especializada, tornando o tratamento acessível no âmbito das políticas públicas de saúde e instituições acadêmicas. Em suma, o planejamento virtual e a impressão 3D estabelecem-se como pilares estratégicos para a evolução da tecnologia assistiva, provendo soluções personalizadas e de alta fidelidade anatômica à população de baixa renda.

REFERÊNCIAS

- [1] MORETTO, Emerson Galves. Elaboração de próteses auriculares individualizadas por meio de manufatura apoiada por computador. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2016, 110p.
- [2] RODRIGUES, Richard Gabriel Silva; RODRIGUES Débora Soares; OLIVEIRA, Daniela Cristina de. Reabilitação com prótese bucomaxilofacial Revisão de literatura; RSM Revista Saúde Multidisciplinar; 5ª Ed., p.20-27, 2019.
- [3] LIMA C.C.M. Impacto da reabilitação bucomaxilofacial sobre o estado nutricional, sintomas depressivos, autoimagem, autoestima e qualidade de vida em adultos e idosos. Tese (Doutorado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul; 2014.
- [4] ESTIMATIVA 2018: Incidência de câncer no Brasil / Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. Coordenação de Prevenção e Vigilância. - Rio de Janeiro: INCA, 2017.
- [5] SALAZAR-GAMARRA, R.; SEELAUS, R.; DA SILVA, J. V. L.; DA SILVA, A. M.; DIB, L. L. Monoscopic photogrammetry to obtain 3D models by a mobile device: A method for making facial prostheses. Journal of Otolaryngology - Head & Neck Surgery, v. 45, n. 1, 2016.

- [6] SILVA, L. C. P. Aplicação Da Impressão 3D E Reconstrução Digital No Desenvolvimento De Próteses, 2019.
- [7] WATSON, J.; HATAMLEH, M. M. Complete integration of technology for improved reproduction of auricular prostheses. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, v. 111, n. 5, p. 430-436, 2014.
- [8] DE NEGREIROS, W. A.; DE OLIVEIRA, J. F. B.; FIALLOS, A. C. M.; et al. Desenho, escultura e intura em prótese bucomaxilofacial: princípios e técnicas. *Odontologia: pesquisa e práticas contemporâneas - Volume 3*. p.43:61, 2022. Editora Científica Digital.
- [9] VOLPATO, Neri (org.). *Tecnologias e aplicações da manufatura aditiva*. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2024.
- [10] NAKAMURA, D.M. Formulação de cores em silicone a partir de imagens não calibradas: Uma abordagem voltada para a prótese facial; Tese (Doutorado) - Faculdade de Odontologia - USP, São Paulo, 2021, 145 p.