

## MÉTODO DE DESIGN VIRTUAL PARA CIRURGIAS DE RECONSTRUÇÃO AURICULAR

### *VIRTUAL DESIGN METHOD FOR EAR RECONSTRUCTION SURGERIES*

Rogélio Carpes Pinheiro<sup>1</sup>

Fábio Gonçalves Teixeira<sup>2</sup>

Clariana Fischer Brendler<sup>3</sup>

Fábio Pinto da Silva<sup>4</sup>

#### **Resumo**

As cirurgias de reconstrução de orelha são um desafio na medicina, exigindo técnicas complexas e qualificadas, sendo as mais utilizadas aquelas que fazem uso de material autógeno (cartilagem da costela do próprio paciente). Trata-se de um processo artesanal em que o cirurgião deve esculpir manualmente as cartilagens para formar o modelo tridimensional da orelha (implante). Dessa forma, o resultado final depende, principalmente, da habilidade de modelagem do cirurgião plástico. Nesse contexto, este trabalho apresenta um método para aprimorar o resultado das reconstruções auriculares a partir do uso das ferramentas do design virtual, em que se utiliza a digitalização 3D do paciente para o projeto de gabaritos cirúrgicos para orientar a modelagem e o posicionamento do implante no rosto do paciente. O método foi aplicado em quinze cirurgias de reconstrução auricular, o que permitiu a validação e o estudo de melhorias, como a diminuição do tempo cirúrgico e melhores resultados anatômicos.

**Palavras-chave:** design virtual; fabricação digital; digitalização 3d; impressão 3d; cirurgia plástica; reconstrução auricular.

#### **Abstract**

Ear reconstruction surgeries are a challenge in medicine, requiring complex and qualified techniques, the most commonly using autogenous material (cartilage rib from the own patient). It is a handmade process in which the surgeon must manually sculpt the cartilage to form the three-dimensional model of the ear, called framework. Thus, the end result depends mainly on the modeling ability of the plastic surgeon. In this context, this paper presents a method to improve the outcome of ear reconstructions by using virtual design tools. The methodology uses the 3D patient scanning to design surgical templates to guide the modeling and positioning of the framework on the head of the patient. These templates were applied in fifteen ear reconstruction surgeries, which allowed the validation and study of improvements such as shortening surgical time and better anatomical results.

**Keywords:** virtual design; digital manufacturing; 3d scanning; 3d printing; plastic surgery; ear reconstruction.

---

<sup>1</sup> Mestre em Design & Tecnologia, UFRGS – rogelio.pinheiro@gmail.com

<sup>2</sup> Professor Doutor, Departamento de Expressão Gráfica - UFRGS, fabiogt@ufrgs.br

<sup>3</sup> Professora Doutora, Departamento Expressão Gráfica - UFRGS, clafischer@hotmail.com

<sup>4</sup> Professor Doutor, Laboratório de Design e Seleção de Materiais - UFRGS, fabio.silva@ufrgs.br

## 1. Introdução

O design virtual utiliza ferramentas computacionais para aperfeiçoar todas as fases de desenvolvimento de produto, utilizando tecnologias e metodologias específicas, como o uso da prototipagem rápida, digitalização e modelagem 3D, bem como simulações virtuais. Essas tecnologias auxiliam, de modo integrado, a equipe de projeto no planejamento, implementação e na gestão de todas essas etapas. Integrando esses conhecimentos e ferramentas do design virtual a outras áreas, como, por exemplo, à área da saúde, é possível contribuir para a melhoria da qualidade de vida dos pacientes e na solução de problemas específicos. O uso de modelos 3D é o próximo estágio na evolução do planejamento cirúrgico, pois torna possível ao cirurgião entender e planejar tratamentos individuais personalizados. Assim, esses profissionais podem compreender mais claramente as mudanças tridimensionais provocadas por determinado procedimento e suas limitações para, a partir disso, modificar e aprimorar os métodos utilizados (SYKES *et al.*, 2011).

O design virtual possibilita a utilização de dados e ferramentas de análise e modelagem a partir da obtenção de dados humanos tridimensionais (LANE; HARRELL, 2008). Essas tecnologias já são empregadas em metodologias de desenvolvimento de produto centrado no usuário, em que os mesmos participam ativamente ou indiretamente no desenvolvimento do produto final. Assim como no design, as tecnologias de modelagem e digitalização 3D vêm sendo utilizadas para auxiliar as áreas da saúde, como na cirurgia plástica, em segmentos como reconstrução mamária (TEPPER *et al.*, 2006), ortodontia (LANE; HARRELL, 2008), cirurgia facial (HIERL *et al.*, 2013) e reconstrução auricular (SUBBURAJ *et al.*, 2007). A cirurgia assistida por computador auxilia no planejamento e tratamento de casos complexos, com benefícios para o paciente e para a prática cirúrgica. As ferramentas de *software* para o diagnóstico e planejamento do procedimento cirúrgico permitem a preparação de planos operacionais detalhados, treinamento de cirurgiões e previsão das dificuldades dos procedimentos. Isso torna mais flexível a elaboração do plano cirúrgico, aumentando o nível de detalhes e precisão do tratamento (CEVIDANES *et al.*, 2010).

Um exemplo em que o design virtual pode atuar contribuindo na solução de problemas é na cirurgia plástica de reconstrução total ou parcial de orelhas, realizadas em pacientes com microtia<sup>5</sup>, com perda parcial ou total da orelha causada por traumas ou, ainda, em pessoas que possuem outras deformidades na região auricular (CIOCCA; SCOTTI, 2009). Incorporando o uso da digitalização 3D e da fabricação digital, pode-se diminuir a dependência exclusiva das habilidades de visualização e modelagem do cirurgião, possibilitando a diminuição do tempo cirúrgico e melhora nos resultados anatômicos da reconstrução.

O processo de reconstrução parcial ou total de orelha é um desafio na medicina, exigindo técnicas complexas e profissionais especializados. A reconstrução auricular pode ser realizada por diferentes técnicas, sendo a mais utilizada a de Brent, criada em 1974, que faz uso de material autógeno (cartilagem da costela do próprio paciente). Esse método constitui-se de um processo artesanal em que o cirurgião esculpe um bloco de cartilagem (denominado nesse trabalho de implante, comumente conhecido pelo termo em inglês *framework*), que deve se assemelhar ao máximo à estrutura da orelha saudável (CARVALHO *et al.* 2010; THORNE; WILKES, 2012).

No procedimento de reconstrução auricular pela técnica de Brent, o cirurgião, inicialmente, desenha em um filme de raio-x, sobre a orelha saudável do paciente, os contornos básicos da mesma, que irão orientar a etapa de retirar e esculpir as cartilagens. Após, inicia-se a retirada de um bloco cartilaginoso entre a sexta e a sétima costela, o qual dá

<sup>5</sup> Deformidade congênita que resulta na deformação e diminuição do tamanho da orelha (CIOCCA; SCOTTI, 2009).

origem ao bloco principal, também chamado de base da orelha a ser reconstruída, além da costela flutuante (oitava), que resulta na hélice. O implante é constituído pelas duas peças (base e hélice), que são costuradas utilizando fios de nylon (THORNE; WILKES, 2012). Essa é a etapa mais crítica do processo de reconstrução auricular, tanto em relação ao tempo de cirurgia quanto à complexidade das tarefas do cirurgião. A cirurgia subsequente realiza-se, em média, três meses após o implante, podendo variar de acordo com a recuperação do paciente. Nessa etapa, é realizada a liberação do implante do crânio, sendo então colocados enxertos cutâneos do próprio paciente para fazer a posição da orelha, bem como é refinado o formato do seu lóbulo (BRENT, 2002; SAKAE, 2007).

Sakae (2007), Carvalho *et al.* (2010) e Thorne e Wilkes (2012) relatam que, apesar da dificuldade e complexidade de reconstruir uma orelha utilizando a técnica de Brent, esculpindo manualmente a cartilagem costal, ainda é preferível ao uso das técnicas utilizando materiais aloplásticos e sintéticos. Esses autores relatam que a utilização de material autógeno se constitui a melhor opção cirúrgica, já que na utilização de materiais aloplásticos há o risco de ocorrer à extrusão da prótese. Adicionalmente, Zhao *et al.* (2009) comprovam, em um estudo com 1776 pacientes, que o material autógeno apresenta resultados superiores a materiais aloplásticos.

Assim, é proposto neste trabalho um processo sistematizado para o planejamento cirúrgico da técnica de Brent para reconstrução total de orelha, através das tecnologias de digitalização 3D, simulação virtual e fabricação digital. A partir disso, são desenvolvidos dispositivos para auxiliar a modelagem e o posicionamento do implante de cartilagens costais no paciente. O presente trabalho está inserido na possibilidade de integração das técnicas de projeto e fabricação, próprias do design virtual, das metodologias de design centrado no usuário e das técnicas médicas de reconstrução auricular para, assim, melhorar a qualidade de vida de pessoas que necessitam desse tipo de procedimento médico. Nesse sentido, a aplicação dos conhecimentos da área do design contribui com a fase de planejamento e execução do processo cirúrgico de forma a aumentar a precisão dos resultados, diminuir o tempo cirúrgico e reduzir a dependência das habilidades manuais do médico.

## 2. Metodologia

Esta pesquisa utiliza as ferramentas tecnológicas do design virtual, como fabricação digital, digitalização e impressão 3D, modelagem e simulação virtual, além das etapas de desenvolvimento de produto centrado no usuário para desenvolver o método, integrando-as às etapas do procedimento cirúrgico.

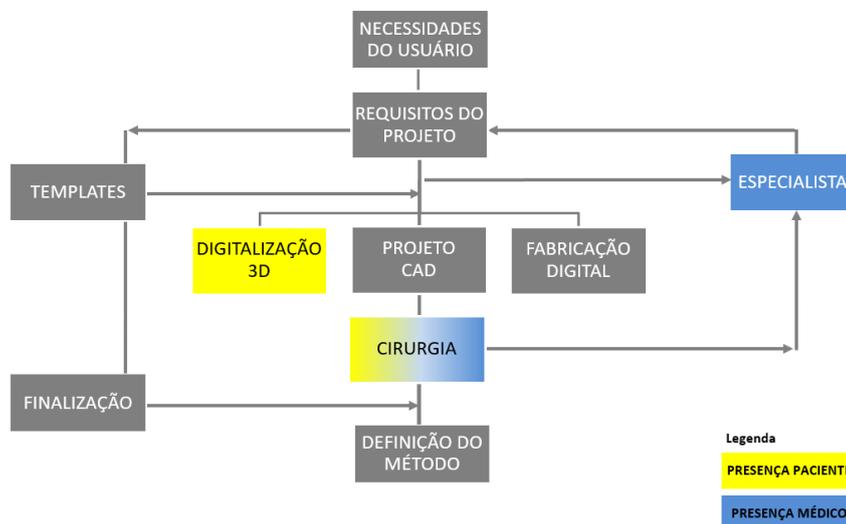
O design centrado no usuário é uma ferramenta importante para o desenvolvimento de produtos personalizados, uma vez que, dessa forma, os designers possuem requisitos mais precisos em relação ao usuário final do produto. Nesse processo, a primeira etapa compreende a necessidade dos usuários e o problema de projeto. Na segunda, usa-se o conhecimento das necessidades dos usuários para estabelecer os requisitos e as restrições do projeto. A seguir, na terceira etapa, são elaborados protótipos que são apresentados ao usuário para avaliação e, na última etapa, é reavaliado o projeto conforme as questões identificadas nas fases anteriores. Realiza-se, dessa forma, um processo iterativo de teste, design, ajustes e redesign (HERSH, 2010).

Para a presente pesquisa, a integração das etapas de design centrado no usuário às ferramentas do design virtual é apresentada na Figura 1. A digitalização 3D é utilizada para obtenção das informações em relação às medidas e geometria do corpo humano do paciente, fundamentais para o desenvolvimento de projeto de produtos personalizados. Essa

ferramenta, detalhada no item 3.1 da presente pesquisa, possibilita a obtenção do modelo virtual do paciente com detalhamento e precisão das malhas de aproximadamente 0,1 mm (BRENDLER, 2017).

Após a digitalização 3D do rosto do paciente, o modelo tridimensional é obtido e, dessa forma, é possível realizar as simulações virtuais, em que a orelha saudável é espelhada e alocada no rosto, para o projeto dos gabaritos de auxílio na reconstrução auricular. As próximas etapas são a prototipagem física, realizada por meio da impressão 3D e corte laser; a esterilização dos gabaritos e seu uso no processo cirúrgico. Nota-se que as etapas de desenvolvimento de produto centrado no usuário são integradas às ferramentas utilizadas pelo design virtual e inseridas ao processo de planejamento cirúrgico para avaliação e validação do produto final (Figura 01).

Figura 1: Metodologia de desenvolvimento de produto utilizada na pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores

Para auxiliar na determinação das necessidades e dos requisitos de projeto, a equipe médica participou, juntamente com os designers, na criação, análise e avaliação dos gabaritos. Este trabalho foi desenvolvido em parceria com o setor de cirurgia plástica do Hospital de Clínicas de Porto Alegre-RS (HCPA), sob a supervisão do cirurgião plástico, especialista em reconstrução auricular, Prof. Dr. Marcus Vinicius Martins Collares. Para verificar e avaliar o resultado do processo de fabricação e dos próprios gabaritos, eles foram utilizados primeiramente em uma cirurgia piloto e, após modificações realizadas a fim de aprimorar o processo, este foi padronizado e utilizado em outras 14 cirurgias. Ressalta-se que todos os princípios éticos em relação à pesquisa e, também, de segurança do paciente foram respeitados, seguindo as normas do HCPA.

### 3. Design Virtual

A necessidade de melhoria no processo de reconstrução auricular foi constatada pela equipe médica do Hospital de Clínicas, que expôs os problemas e dificuldades do procedimento ao programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS. A partir dessas informações preliminares, debates com o especialista e de extensa pesquisa bibliográfica, foi estudado detalhadamente

cada etapa do procedimento cirúrgico a fim de compreender o processo, as dificuldades e necessidades para a melhoria da intervenção.

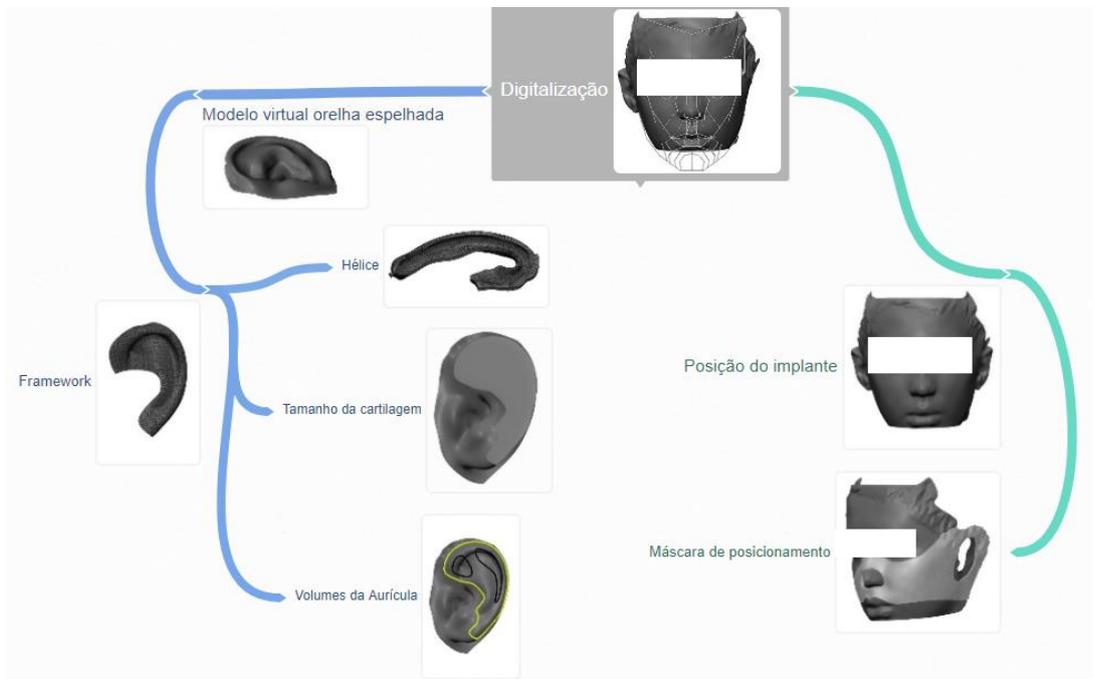
O procedimento cirúrgico de reconstrução auricular se inicia com a extração das cartilagens da costela do paciente. A extração da cartilagem é crítica para o processo, pois deve fornecer material suficiente para a cirurgia, no entanto, uma extração demasiada de material pode deixar uma cavidade excessiva no tórax, podendo causar desconforto físico e estético. Após, inicia-se a modelagem do implante, construído de forma artesanal pelo cirurgião, o que torna o resultado totalmente dependente de sua habilidade manual. São então retirados os fragmentos da microtia e o implante, já no formato final, é introduzido na região subcutânea, no local da nova orelha. Esse procedimento deve ser realizado de forma precisa, para manter harmonia e simetria do rosto do paciente. Foi constatado que esse procedimento é totalmente visual, o que dificulta a análise realizada pelo cirurgião. Diante dessas constatações, foram definidos os principais pontos para serem aprimorados no processo cirúrgico:

- Melhorar a acuracidade das dimensões da extração da cartilagem intercostal, extraindo-se material suficiente, mas evitando uma cavidade residual excessiva;
- Criar modelos físicos da nova orelha para servir de base para a reconstrução;
- Aumentar a precisão na construção do implante com relação à forma e ao posicionamento dos seus elementos constituintes;
- Aprimorar o posicionamento da nova orelha, considerando a harmonia do rosto, simetria e contorno capilar.

Todos esses requisitos estão relacionados à precisão do processo em suas várias etapas e também na redução da dependência da habilidade manual e visual do cirurgião. Diante disso, fica evidente que a precisão global do processo de reconstrução auricular está diretamente relacionada às dimensões anatômicas da cabeça do paciente e de suas características tridimensionais. Assim, foi considerado fundamental digitalizar o rosto inteiro do paciente para, de posse de um modelo virtual 3D, orientar o planejamento de todo o procedimento. Com o rosto em 3D, é possível gerar um modelo da orelha a ser reconstruída, a partir do espelhamento da orelha saudável. É possível, então, definir a localização do implante do implante em consonância com as características físicas do paciente, o que pode ser simulado virtualmente, em um *software* CAD, com precisão.

Dessa forma, foi definida uma lista de gabaritos para orientar o processo cirúrgico, resultado de um planejamento realizado em conjunto com o cirurgião especialista. A partir do modelo tridimensional da orelha a ser reconstruída, é gerado um molde para a extração da cartilagem do paciente com as medidas apropriadas ao processo, sem excessos. Também, com base na geometria da orelha, são projetados um molde para a conformação da hélice, um gabarito para guiar a construção do implante e um modelo da orelha inteira, para guiar as etapas subsequentes à cirurgia. Finalmente, a partir da definição da posição da orelha no *software* CAD, é projetado um gabarito, ajustado às dimensões do paciente, para garantir o posicionamento correto do implante. Após a fabricação desses artefatos, via fabricação digital, e esterilização, os mesmos são aplicados na cirurgia. Esse processo pode ser visto na Figura 2.

Figura 2: Esquema do processo de projeto



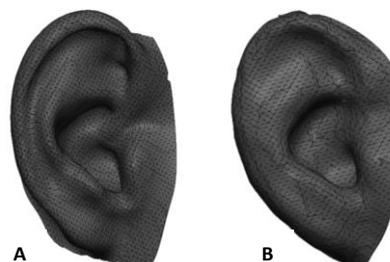
Fonte: Elaborado pelos autores

A seguir, serão descritos detalhadamente os principais procedimentos para o desenvolvimento da proposta de intervenção para a melhoria do processo de reconstrução auricular, incluindo o processo de digitalização tridimensional, os projetos dos gabaritos e seus processos de fabricação.

### 3.1 Digitalização 3D

Diferentes sistemas de obtenção de dados 3D estão disponíveis atualmente, baseados em fotogrametria, laser ou luz branca. Cada sistema apresenta vantagens específicas, já que os *scanners* diferem em vários fatores, tais como a facilidade de uso, velocidade de aquisição de dados, requisitos para pós-processamento, capacidade de captura de textura e precisão dimensional (TEPPER *et al.*, 2006). Para a obtenção da forma 3D da orelha saudável e do rosto do paciente, foram comparados dois sistemas de digitalização, cujos resultados são apresentados na Figura 3. Ficam evidentes as diferenças entre as digitalizações por dispositivo de luz branca, com *scanner* Artec EVA (A), e por dispositivo com infravermelho de baixo custo, no caso o Microsoft Kinect (B).

Figura 3: Digitalização através do Artec (A) e do Kinect (B)

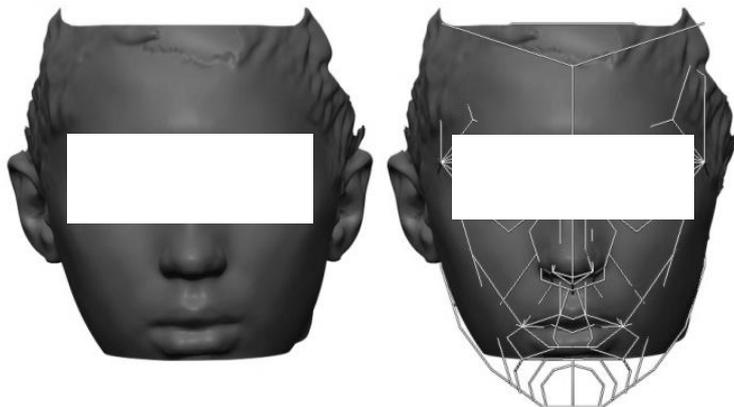


Fonte: Elaborado pelos autores

As digitalizações realizadas pelos dois dispositivos resultaram em modelos 3D de dimensões similares. Entretanto, a versão digitalizada com o sistema Artec EVA (de luz branca) possui um detalhamento dos contornos e volume auricular superior ao modelo digitalizado via Kinect (infravermelho). Isso se deve também devido às complexas reentrâncias e contornos da superfície da orelha, que dificultam a leitura para ambos os *scanners*. Dessa forma, equipamentos de maior resolução tendem a apresentar melhores resultados, sendo definido o dispositivo de luz branca como preferencial para o processo.

A partir dos dados digitalizados, o rosto do paciente foi alinhado de forma a permitir a identificação de sua linha de simetria, possibilitando o espelhamento da orelha saudável. Devido à assimetria da face, comum a todos os seres humanos e acentuada, muitas vezes, em pacientes com microtia, a orelha espelhada foi reposicionada, levando em consideração a área da região a ser reconstituída (Figura 4). Essa etapa é base para o projeto da máscara de posicionamento e deve ser avaliada cuidadosamente em casos de assimetria facial mais elevada. Fatores como contorno capilar, formato da superfície do osso mastoide e a posição da orelha com má formação (em casos de microtia) devem ser levados em consideração para o posicionamento do novo membro a ser reconstruído.

**Figura 4: Alinhamento do rosto e espelhamento da orelha**



Fonte: Elaborado pelos autores

### **3.2 Projeto dos Dispositivos para Auxílio ao Processo de Reconstrução Auricular**

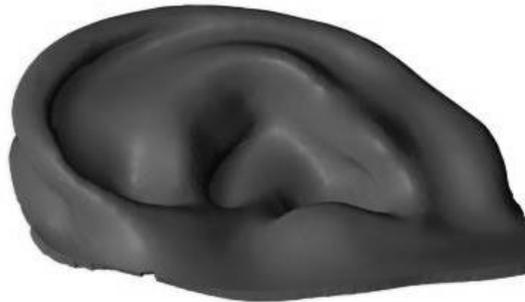
A partir do modelo 3D virtual da orelha a ser reconstituída, são projetados também os dispositivos para auxiliar a cirurgia, os quais são descritos individualmente a seguir. Para a edição das malhas foi utilizado o programa Autodesk 3DS Max, devido à sua funcionalidade e disponibilidade na instituição em que foi desenvolvido o presente trabalho. Entretanto, outros *softwares* CAD 3D com capacidade para trabalhar com superfícies digitalizadas podem ser utilizados, como, por exemplo, o Blender, que é um *software* gratuito e de código aberto.

#### **3.2.1. Orelha Espelhada**

O modelo virtual da orelha a ser reconstruída (Figura 5) é utilizado como base para a criação dos dispositivos para auxiliar a cirurgia. Além disso, o mesmo também é utilizado para a produção de um modelo físico, impresso em 3D, o qual serve de referência para o cirurgião,

após a primeira etapa da cirurgia, sendo utilizado para orientar a finalização dos formatos da orelha, como lóbulo e sua aposição (quão afastada a orelha fica do crânio). Esse é um grande avanço em relação à técnica tradicional, em que não há nenhuma referência física direta para orientar o processo cirúrgico.

**Figura 5: Modelo da orelha espelhada para impressão 3D**



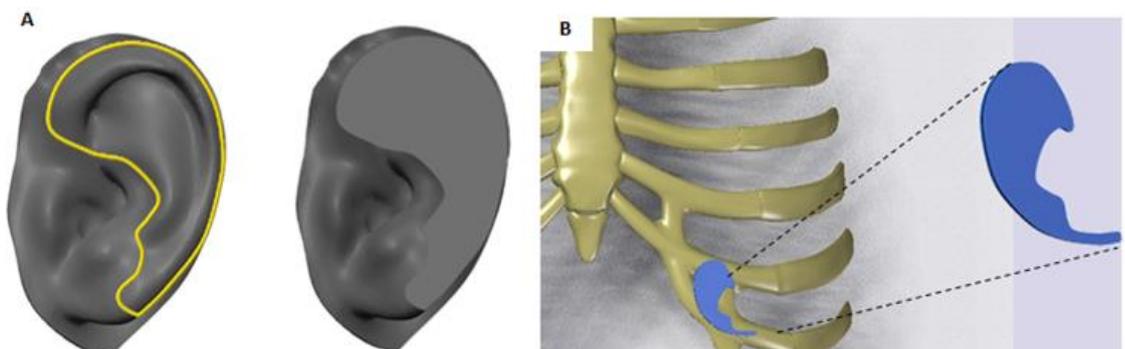
Fonte: Elaborado pelos autores

### 3.2.2. Molde para Retirada da Cartilagem Costal

Conforme Brent (1994), o molde para a retirada da cartilagem costal tem a função de determinar a quantidade correta de cartilagem para a modelagem do implante. Na técnica tradicional, o molde é feito a partir de um desenho manual das formas básicas da orelha saudável sobre um filme de raio-x, sendo realizado pelo cirurgião em consultas pré-operatórias ou no início da cirurgia.

No presente trabalho, o molde é projetado a partir do modelo virtual da orelha a ser reconstituída. Trata-se de uma peça plana que pode ser produzida em placa de acrílico (PMMA – acrônimo de polimetil-metacrilato), que é de fácil esterilização e pode ser cortada a laser, agilizando o processo de fabricação. Na ausência de tal equipamento, a peça pode ser fabricada via impressão 3D, em poliacido láctico (PLA). A Figura 6A ilustra o processo de projeto do molde a partir do modelo virtual da orelha. A Figura 6B mostra como o molde é utilizado para demarcar a área de cartilagem a ser extraída do paciente.

**Figura 6: A) Projeto do molde; B) Ilustração do uso molde para a extração da cartilagem**

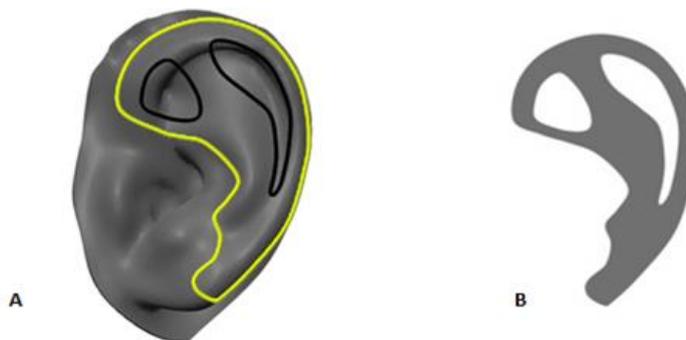


Fonte: Elaborado pelos autores

### 3.2.3. Molde para marcação dos volumes do implante

O molde para marcação dos volumes do implante é construído tendo como referência o modelo virtual da orelha a ser reconstituída. As linhas são traçadas sobre o modelo do molde do implante. As linhas dos recortes do molde são feitas nos locais em que o cirurgião deve esculpir o bloco principal. Assim, durante a cirurgia, essas linhas são transferidas para o bloco principal de cartilagem para referenciar a modelagem. Isto facilita o processo para o cirurgião, que agora possui uma referência de como esculpir a cartilagem para moldar o implante. Na Figura 7A, é mostrado o traçado das linhas de corte do molde sobre a orelha e o formato final da peça (Figura 7B).

**Figura 7: Molde para marcação dos volumes do implante**

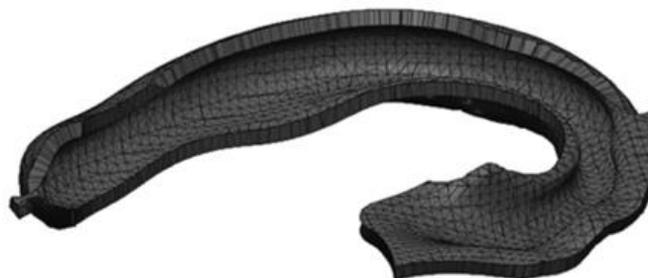


Fonte: Elaborado pelos autores

#### **3.2.4. Molde Negativo da Hélice**

Esse molde auxilia a modelagem da hélice, isoladamente, sem a necessidade do bloco principal de cartilagem estar disponível. O projeto é feito a partir do formato negativo da orelha (Figura 8). Assim, no caso de a cirurgia contar com mais de um cirurgião, o que é uma prática regular nos casos de reconstrução auricular, a hélice pode ser moldada logo após a retirada da cartilagem flutuante, enquanto outro médico continua a retirar a cartilagem para o bloco principal. Trata-se, portanto, de uma melhoria significativa que reduz o tempo de cirurgia, pois sem esse molde, um cirurgião precisa aguardar a retirada dos dois blocos de cartilagem para iniciar a modelagem da orelha. Além disso, aumenta-se a precisão da construção do implante, pois esse molde garante precisamente a geometria da hélice da orelha que será reconstruída.

**Figura 8: Processo de desenvolvimento do molde da hélice**



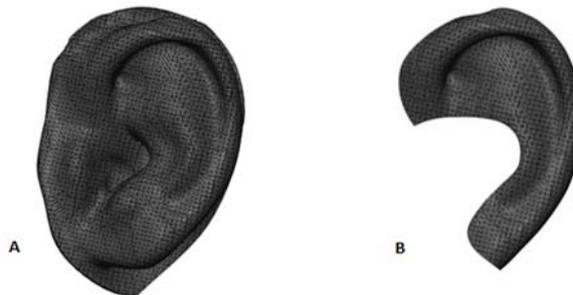
Fonte: Elaborado pelos autores

#### **3.2.5. Modelo do Implante**

Foram analisadas duas possibilidades de formato para esse gabarito: molde negativo, para o

cirurgião verificar o formato do implante através do seu encaixe no molde, ou de um modelo positivo, que fornece a possibilidade de comparação visual. Após a comparação física de ambas as propostas pelo cirurgião, foi selecionado o modelo positivo, que mostra o aspecto da orelha ao final da primeira cirurgia. Esse modelo serve como referência visual para a elaboração e montagem do implante de cartilagens costais, reduzindo a imprevisibilidade, aumentando a precisão e reduzindo o tempo do processo cirúrgico. A Figura 9B mostra o projeto do molde, elaborado a partir do modelo da orelha espelhada (Figura 9A).

**Figura 9: Projeto do implante**



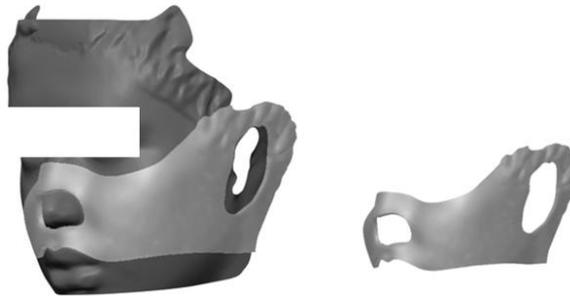
Fonte: Elaborado pelos autores

### **3.2.6. Máscara para Posicionamento do Implante**

A partir da pesquisa realizada no decorrer do trabalho, percebeu-se a necessidade de desenvolver uma ferramenta para determinar o correto posicionamento da orelha a ser reconstruída. Isso porque, no método tradicional, o médico precisa medir e traçar as linhas para o posicionamento do implante já com o paciente na mesa cirúrgica, o que eleva o tempo do procedimento. Além disso, devido às ferramentas de medição lineares, como trena e paquímetro, e limitações relacionadas à visualização das características geométricas complexas da face, como sua simetria, é possível atingir um melhor resultado analisando o posicionamento da orelha virtualmente, através de um *software* CAD, durante o planejamento da cirurgia.

Dessa forma, após o espelhamento e alinhamento da orelha, é projetada uma máscara para ser utilizada na cirurgia que demarca o local em que o implante deve ser posicionado. O alinhamento virtual prévio possibilita maior precisão, considerando a melhor posição anatômica da orelha a ser reconstruída em relação à simetria facial, contornos capilares e da superfície óssea. O nariz, por sua posição e formato, é o principal referencial para a máscara, pois permite uma referência de posicionamento e apoio para a sua fixação e estabilização. Para garantir a estabilidade, a máscara possui, ainda, exatamente o contorno externo da face. Assim, durante a cirurgia, a máscara é encaixada e o local do implante é traçado no paciente com tinta cirúrgica, a partir de um recorte para demarcar sua posição (Figura 10).

**Figura 10: Projeto da máscara para posicionamento**



Fonte: Elaborado pelos autores

O tempo total de projeto dos dispositivos desde o início do trabalho com a malha escaneada até os modelos estarem prontos para fabricação é de aproximadamente 5 horas. Trata-se de um tempo considerável, entretanto, é um período de planejamento e projeto no qual nem paciente, nem cirurgião, estão envolvidos, ficando essa etapa sob responsabilidade do designer. Ainda, vale considerar os seus principais valores: a redução prática do tempo do procedimento cirúrgico em si e a melhoria dos resultados finais.

### **3.3 Fabricação Digital**

A fabricação digital consiste na utilização de técnicas de produção de produtos, objetos ou mesmo protótipos, a partir de modelos virtuais, provenientes de sistemas CAD em processos controlados por computador. Um exemplo comum envolve processos aditivos: a impressão 3D. Esses processos têm a grande virtude de gerar objetos físicos a partir do zero, apenas com deposição de material, o que é totalmente diferente de processos tradicionais, em que há a conformação ou usinagem a partir de um bloco já existente (ORCIUOLI, 2013).

Os processos digitais permitem obter grande precisão na geração de geometrias complexas, características fundamentais nesse trabalho. O corte a laser controlado por computador é um processo de fabricação digital de grande precisão, simplicidade e que permite grande agilidade na produção de peças planas, o que também está relacionado com o presente trabalho, pois há dois gabaritos que podem ser fabricados com essa técnica. O acrílico (PMMA) apresenta ótima compatibilidade com o corte laser, com grande precisão e excelente acabamento, sem necessidade de pós-processamento.

Os gabaritos possuem características de forma distintas, sendo que os moldes para retirada da cartilagem costal e de marcação dos volumes do implante são planos (2D), e os demais possuem formas tridimensionais. Dessa forma, os modelos 2D (Figura 11), mostrados em verde, são fabricados através de corte laser, e o restante dos moldes, de cor azul, podem ser fabricados por uma impressora 3D. No caso de não haver uma máquina de corte laser disponível, é possível fabricar as peças planas também em uma impressora 3D, porém, o tempo de fabricação será maior.

Figura 11: Processos de fabricação dos gabaritos

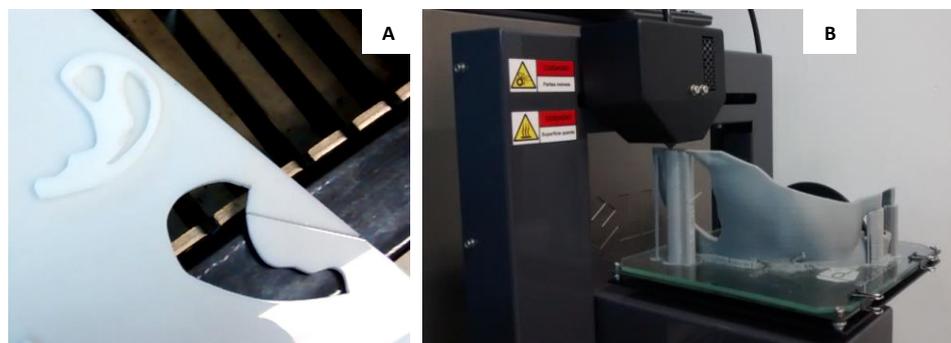


Fonte: Elaborado pelos autores

Para os cortes dos moldes 2D, foram utilizadas placas de acrílico com 3 mm de espessura (Figura 12A), sendo esse material amplamente utilizado na cirurgia plástica, devido a sua facilidade de esterilização e baixo risco de contaminação das cartilagens. O corte seguiu parâmetros pré-definidos para cada tipo de material, na máquina de corte a laser Yueming CMA-1200, do Laboratório Virtual Design (ViD) da UFRGS. O tempo de corte é de aproximadamente 1 minuto, variando de acordo com o formato e dimensões da orelha do paciente.

Neste trabalho, os modelos tridimensionais são fabricados em impressoras que utilizam o método de impressão FDM (modelagem por deposição de material fundido), na qual a impressora deposita pequenas camadas de polímero fundido, umas sobre as outras, até formar a peça final (LINO; NETO, 2008). Foram testadas impressões nos materiais ABS e PLA, sendo esse último selecionado devido à sua melhor aderência entre camadas e maior facilidade de esterilização. O processo de impressão 3D de uma máscara de posicionamento em seus estágios finais pode ser observado na Figura 12B. É possível notar as estruturas de suporte que garantem a impressão em zonas sem apoio, como a parte superior do encaixe do nariz e da orelha.

Figura 12: A) Corte a laser; B) Impressão 3D em FDM



Fonte: Elaborado pelos autores

O tempo de impressão varia de acordo com o formato do rosto e orelha do paciente, principalmente em relação às suas dimensões. Assim, em média, para um paciente infantil, são necessárias 5 horas de impressão, e para um adulto, 6 horas. Observa-se, também, que esse tempo é decorrente da utilização de impressoras de baixo custo. Em impressoras com *hardware* e *software* mais robustos, o tempo de impressão pode ser significativamente menor.

O custo médio de material (PMMA e PLA) de todo o kit é de aproximadamente R\$ 25,00, variando de acordo com o tamanho do paciente. Os tempos de digitalização (1 hora) e projeto (5 horas) também devem ser considerados no custo, e variam de acordo com o profissional que irá executá-lo. De forma geral, exige-se que esse projetista tenha conhecimento de *softwares* CAD para trabalho com malhas digitalizadas, e que receba um treinamento sobre a técnica.

#### 4. Resultados

Para avaliar a aplicabilidade dos dispositivos e a melhoria do processo cirúrgico de reconstrução auricular, foi realizada uma cirurgia piloto em um paciente adulto<sup>6</sup> com microtia, em que todo o procedimento foi planejado através do método desenvolvido neste trabalho. Dessa forma, o paciente foi avaliado pela equipe médica e, após a indicação da cirurgia, foi submetido ao processo de digitalização 3D.

O paciente foi voluntário no experimento da técnica de reconstrução com o método proposto, sendo previamente explicados os objetivos da utilização dos mesmos e o caráter de pesquisa científica, bem como o sigilo em relação à sua identidade em qualquer publicação deste trabalho. Após tais esclarecimentos, o paciente concordou em participar da pesquisa, assinando, para isso, um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Além desse termo, o Hospital de Clínicas de Porto Alegre mantém arquivados os documentos relacionados ao protocolo cirúrgico, conforme norma da instituição.

A partir do modelo 3D do rosto do paciente, foi realizado o espelhamento da orelha saudável e realizado o projeto dos seis (6) dispositivos personalizados para a cirurgia. Após, os mesmos foram impressos em 3D e, novamente, submetidos à análise e aprovação do cirurgião.

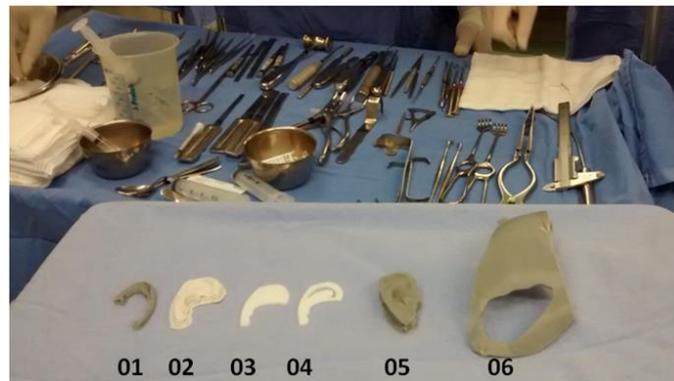
##### 4.1 Aplicação dos Gabaritos na Cirurgia

Após serem submetidos a um processo de esterilização, os gabaritos foram alocados juntamente com os demais materiais e instrumentos utilizados na cirurgia. A Figura 13 apresenta os gabaritos identificados conforme a numeração: 01 – Molde negativo da hélice; 02 – Modelo do implante; 03 – Molde para retirada da cartilagem costal; 04 – Molde para a marcação dos volumes da aurícula; 05 – Orelha espelhada e 06 – Máscara de posicionamento.

---

<sup>6</sup> Deve ser observado que quando a reconstrução é feita em crianças, o tamanho de cartilagem costal disponível pode ser menor que a quantidade ideal necessária para a cirurgia, sendo então necessário fazer adaptações para encontrar a melhor solução.

**Figura 13: Gabaritos prontos para serem utilizados na sala cirúrgica**

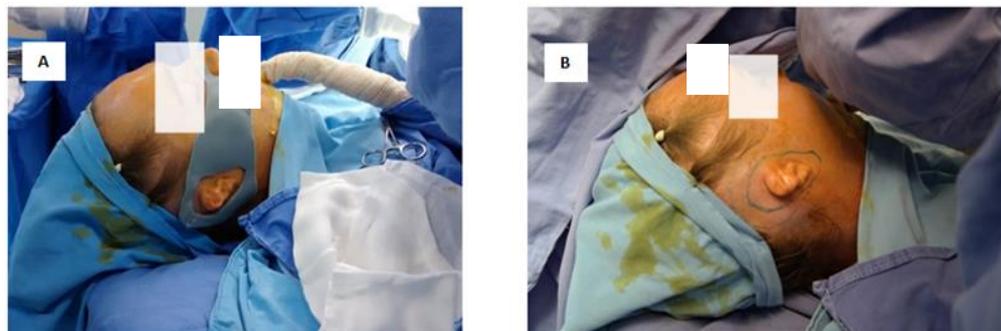


Fonte: Elaborado pelos autores

O primeiro dispositivo utilizado na cirurgia foi a máscara de posicionamento do implante. Inicialmente, a máscara foi utilizada para comparar a posição do implante com o método convencional (Figura 14A), em que o cirurgião demarca o local através de medição com paquímetro. Foi observada uma diferença de 2 mm entre os dois métodos de posicionamento, o que foi considerado adequado pela equipe cirúrgica, comprovando a efetividade da máscara. Na Figura 14B, é possível observar a marcação da orelha a ser reconstruída feita a partir do recorte da máscara.

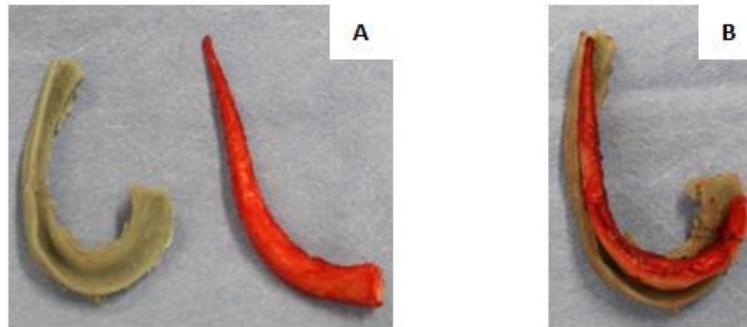
O molde negativo da hélice é utilizado assim que a cartilagem flutuante do paciente é extraída. Na Figura 15A, é possível observar a cartilagem no estado em que é retirada do paciente, já possuindo o formato aproximado da hélice. Após 20 minutos de modelagem, o cirurgião chegou ao formato desejado através da retirada de partes da cartilagem, para que ela ficasse mais flexível, até encaixar no molde (Figura 15B). Esse molde também se mostrou adequado, uma vez que possibilitou a modelagem precisa da hélice isoladamente, sem a necessidade do bloco principal de cartilagem estar disponível.

**Figura 14: Utilização da máscara de posicionamento**



Fonte: Elaborado pelos autores

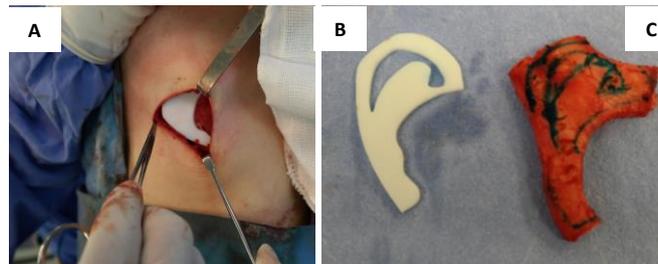
**Figura 15: Molde negativo da hélice e cartilagem modelada**



Fonte: Elaborado pelos autores

O uso do molde para a retirada da cartilagem costal foi de grande utilidade (Figura 16A), possibilitando ao cirurgião selecionar qual parte da cartilagem era mais adequada em relação ao seu tamanho, forma e espessura. Nesse caso, foi possível extrair um bloco com dimensões apropriadas à modelagem do implante.

**Figura 16: (A) Utilização do molde para retirada da cartilagem; (B) Molde; (C) cartilagem costal**



Fonte: Elaborado pelos autores

A cartilagem recém retirada do corpo (Figura 16C) foi marcada com o formato externo e com os recortes da aurícula. Assim, conforme o molde para marcação dos volumes do implante (Figura 16B), o cirurgião pôde saber quais os pontos em que deveria retirar mais material do bloco cartilaginoso. Após a limpeza da cartilagem, esta foi esculpida a partir das marcações (Figura 16C), contando ainda com a experiência do cirurgião (Figura 17). O tempo de modelagem dos volumes da base do implante foi de 12 minutos.

**Figura 17: Modelagem do implante pelo cirurgião com o uso dos gabaritos**



Fonte: Elaborado pelos autores

Na Figura 18, podem ser comparadas as formas do modelo do implante, dos blocos de cartilagem costal já finalizados e do molde para marcação. Durante essa primeira aplicação, foi verificada a necessidade de o modelo do implante incorporar toda a hélice, como ocorre no bloco autógeno (detalhe em amarelo). Nessa cirurgia, o tempo de montagem do bloco principal com a hélice foi de 11 minutos.

**Figura 18: Modelo do implante; implante moldado e molde para marcação**



Fonte: Elaborado pelos autores

A máscara de posicionamento também foi utilizada na etapa final da cirurgia, após a orelha ter sido implantada, a fim de verificar se houve alguma mudança em virtude da alteração dos volumes da pele relacionada à inserção do implante (Figura 19). Isso demonstra mais uma utilidade da máscara de posicionamento, pois além de planejar a cirurgia, serve também para verificar a precisão do procedimento.

**Figura 19: Utilização da máscara de posicionamento ao fim da cirurgia**



Fonte: Elaborado pelos autores

Após essa etapa de verificação, são posicionados os tubos de drenagem, para que o implante tenha a aderência adequada ao crânio do paciente, procedimento comum à técnica convencional. Além de fixar a cartilagem, a drenagem possibilita que a pele inicie o processo de adequação aos novos contornos da orelha recém-implantada.

## 5. Discussão

O resultado do uso dos gabaritos foi avaliado positivamente pelo cirurgião responsável, melhorando o processo de reconstrução auricular. Aspectos como redução do tempo total da cirurgia, o auxílio na modelagem e posicionamento do implante e, principalmente, no

planejamento da cirurgia são os benefícios mais destacados pela equipe cirúrgica.

Os tempos de modelagem da hélice e da base do implante tiveram uma pequena redução em relação à técnica convencional. A maior redução, entretanto, foi no tempo total desde a retirada das cartilagens até a união das mesmas, devido à possibilidade de esculpir a hélice sem a necessidade de se ter em mãos o bloco principal de cartilagem. Como é comum nesse procedimento a participação de mais de um cirurgião, enquanto o primeiro esculpe a hélice oriunda da extração da costela flutuante, o segundo remove a cartilagem intercostal, otimizando os esforços e reduzindo significativamente o tempo total de modelagem.

Além disso, a máscara de posicionamento evita que o cirurgião precise traçar e medir o melhor ponto anatômico para a implantação do implante, definindo a posição do implante com precisão a partir de um planejamento prévio, o que reduz o trabalho do cirurgião e, conseqüentemente, o tempo do procedimento. O molde para retirada da cartilagem costal permite a remoção da exata quantidade de cartilagem e no formato aproximado da base do implante. Sua utilização teve o resultado esperado, reduzindo o tempo e aumentando a precisão do processo.

Os moldes para marcação e o modelo do implante possibilitam que o cirurgião possa esculpir a cartilagem sem a necessidade de olhar a orelha do paciente e espelhá-la mentalmente para chegar à forma desejada. Isso melhorou a precisão do processo, reduziu o esforço e o estresse do cirurgião, contribuindo para a melhoria da qualidade da cirurgia. A Figura 20 mostra a orelha reconstruída ao final dessa etapa.

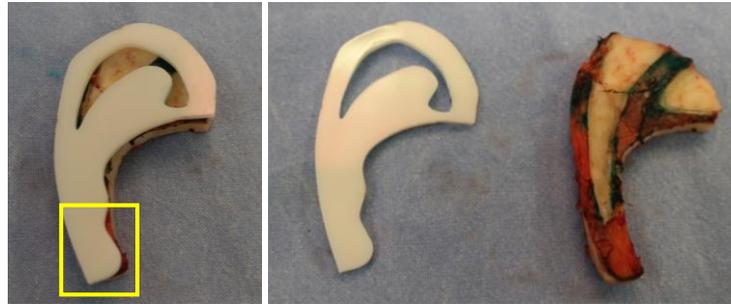
**Figura 20: Aspecto da orelha ao final da cirurgia**



Fonte: Elaborado pelos autores

Avaliando os resultados da cirurgia, pode-se dizer que os gabaritos desenvolvidos ajudaram consideravelmente na melhoria do processo de reconstrução auricular, tendo recebido aprovação da equipe envolvida. No entanto, foram feitas sugestões para a melhoria dos gabaritos, que precisaram de pequenos ajustes nos projetos futuros. Um exemplo disso é o molde de recorte do implante que deve ter removidas as ondulações na parte inferior (salientado na Figura 21), bem como ampliados os recortes dos volumes da aurícula, conforme a figura, que compara o molde com a forma efetiva do bloco do implante, feita pelo cirurgião, de acordo com suas experiências prévias.

**Figura 21: Molde sobre a cartilagem moldada e correção da geometria do molde**



Fonte: Elaborado pelos autores

Após esses ajustes, o conjunto de gabaritos foi atualizado (Figura 22), conforme as sugestões da equipe cirúrgica, reavaliados na cirurgia subsequente, sendo aprovados e, dessa forma, o método foi padronizado. A partir disso, o método proposto foi integrado ao processo de reconstrução auricular. Assim, todas as cirurgias subsequentes à primeira intervenção utilizaram a técnica desenvolvida neste projeto. Até setembro de 2018, foram realizadas mais quatorze (14) cirurgias.

**Figura 22: Conjunto atualizado de moldes**



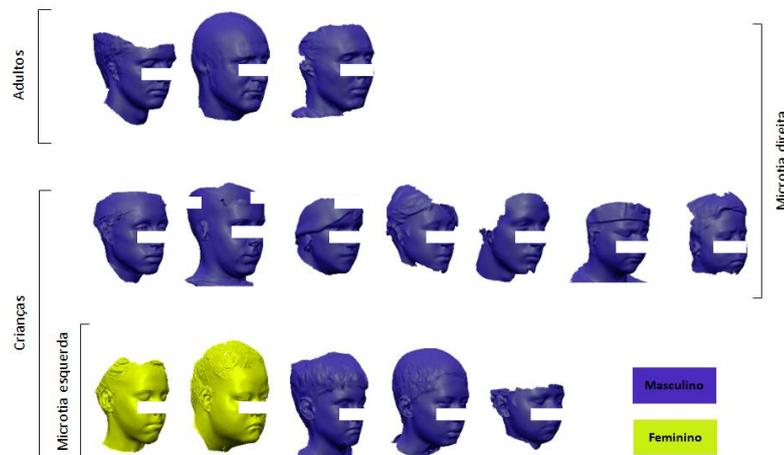
Fonte: Elaborado pelos autores

## 6. Considerações Finais

O método proposto neste artigo exige um tempo total maior em comparação com a técnica tradicional, entretanto, o tempo do procedimento cirúrgico em si é menor, já que o cirurgião tem a sua disposição gabaritos para guiar a retirada da cartilagem, sua modelagem e seu posicionamento. Há também de se levar em consideração que o resultado estético tende a ser melhor, em virtude do posicionamento virtual da orelha e à possibilidade de o cirurgião visualizar o resultado final desejado através dos modelos 3D impressos, eliminando a necessidade de espelhar mentalmente o formato da orelha saudável, ou interpretar os volumes e formas através de fotos.

Na Figura 23 pode-se ver uma demografia dos casos atendidos até o momento. Observam-se, nesses 15 casos, similaridades com a literatura estudada, em que há predominância de casos de microtia no sexo masculino e no lado direito.

Figura 23: Demografia das cirurgias com o método proposto



Fonte: Elaborado pelos autores

Comparada à técnica atual, esse método exige que a equipe tenha domínio e acesso a um *scanner* e a uma impressora 3D, além de um *software* CAD. É recomendado que a digitalização do paciente ocorra nas consultas pré-operatórias, para que haja tempo para o projeto e fabricação dos gabaritos, para posterior esterilização.

A técnica proposta melhora o planejamento cirúrgico, diminuindo o tempo da cirurgia, sem complicações ou riscos ao paciente, além de melhores resultados anatômicos. A partir da presente pesquisa, a técnica proposta já é uma realidade nas cirurgias de reconstrução auricular no estado do Rio Grande do Sul, e o cirurgião responsável considera que, a partir desses avanços, seria um grande retrocesso retornar à técnica tradicional.

Além disso, a interdisciplinaridade entre a medicina e o design se mostrou positiva, apontando possibilidades para a colaboração entre essas duas áreas, como, por exemplo, o uso de gabaritos de posicionamento e aferição em outros tipos de cirurgia, além da própria utilização da fabricação digital para modelagem de tecidos *in vitro*.

## Referências

- BRENDLER, C. F. **Modelo Humano Paramétrico para Análise Ergonômica Virtual no Projeto de Produto**. 2017. 335 f. Tese (Doutorado em Design) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.
- BRENT, B. Microtia Repair With Autogenous Rib Cartilage Grafts: Harvesting the Rib Cartilage. **Clinics in Plastic Surgery**. v. 1, n. 2, p. 69–76, 1994.
- BRENT, B. Microtia repair with rib cartilage grafts: a review of personal experience with 1000 cases. **Clinics in Plastic Surgery**. v. 29, n. 2, p. 257–71, vii, abr. 2002.
- CARVALHO, J.C *et al.* Reconstrução Total de Orelha no Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Goiás. **Rev. Bras. Cir. Plást.** 25(2): 244-250. 2010.
- CEVIDANES, L. H. C. *et al.* Three-dimensional surgical simulation. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**. v. 138, n. 3, p. 361–371, 2010.
- CIOCCA, L *et al.* CAD-CAM construction of an auricular template for craniofacial implant positioning: a novel approach to diagnosis. **European journal of radiology**, v. 71, n. 2, p. 253–6, ago. 2009.

- HERSH, M. **The Design and Evaluation of Assistive Technology Products and Devices Part 1: Design.** In: STONE H.; BLOUIN, M. (Org.). *International Encyclopedia of Rehabilitation*, 2010.
- HIERL, T. *et al.* CAD-CAM-assisted esthetic facial surgery. *Journal of oral and maxillofacial surgery. American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons.* v. 71, n. 1, p. e15–23, jan. 2013.
- LANE, C.; HARRELL, W. Completing the 3-dimensional picture. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.** p. 612–620, 2008.
- LINO, F. J.; NETO, R. J. **A Prototipagem Rápida na Indústria Nacional.** v. 225081704, n. 42, 2008.
- ORCIUOLI, A. O impacto das tecnologias de fabricação digital nos processos de design. **Arquitetura e Urbanismo.** v. 183, jun. 2009. Disponível em: <<http://au17.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/183/artigo141180-1.aspx>>. Acesso em 12/10/2014.
- SAKAE, E. K. **Estudo das complicações na reconstrução de orelha.** 2007. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- SUBBURAJ, K. *et al.* Rapid development of auricular prosthesis using CAD and rapid prototyping technologies. **International journal of oral and maxillofacial surgery.** v. 36, n. 10, p. 938–43, out. 2007.
- SYKES, J. M. *et al.* 3D Analysis of Dentofacial Deformities : A New Model for Clinical Application. **Facial Plastic Surgery Clinics of NA.** v. 19, n. 4, p. 767–771, 2011.
- TEPPER, O. M. *et al.* Virtual 3-dimensional modeling as a valuable adjunct to aesthetic and reconstructive breast surgery. **American Journal of Surgery.** v. 192, p. 548–551, 2006.
- THORNE, C. H.; WILKES, G. Ear deformities, otoplasty, and ear reconstruction. **Plastic and reconstructive surgery.** v. 129, n. 4, p. 701e–16e, abr. 2012.
- ZHAO, Y. *et al.* Clinical evaluation of three total ear reconstruction methods. **Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery: JPRAS,** v. 62, n. 12, p. 1550–4, dez. 2009.