



# Uso de malhas tridimensionais em cirurgia plástica

*The use of a three-dimensional mesh in plastic surgery*

RODRIGO DE FARIA VALLE  
DORNELLES<sup>1,2\*</sup>

NIVALDO ALONSO<sup>1,2</sup>

LUIZ ALEXANDRE LORICO TISSIANI<sup>1</sup>

ANDERSON RODRIGO SOUZA<sup>3,4</sup>

VERA LÚCIA NOCCHI CARDIM<sup>1,5</sup>

Instituição: Universidade de São Paulo  
Núcleo de Plástica Avançada - Hospital  
Beneficência Portuguesa de São Paulo, São  
Paulo, SP, Brasil.

Artigo submetido: 12/8/2015.

Artigo aceito: 20/11/2015.

DOI: 10.5935/2177-1235.2016RBCP0005

## RESUMO

**Introdução:** O registro da imagem como conhecemos hoje evoluiu muito desde os primórdios da fotografia por meio da impressão da luz diretamente em um material fotossensível, até os algoritmos matemáticos que constituem malhas tridimensionais, na estereofotogrametria. A tecnologia 3D para captura e extração de informações confiáveis na Cirurgia Plástica tem evoluído muito nos últimos anos; contudo, há necessidade de compreensão do método para que o potencial de aplicabilidade possa ser explorado diretamente pelo cirurgião na sua rotina. O objetivo deste trabalho é abordar os aspectos conceituais, a acurácia da captura e ilustrar aplicações clínicas das malhas tridimensionais, salientando a importância na utilização clínica. **Método:** Foi feita uma revisão dos princípios de captura de imagens e da formação de modelos tridimensionais por meio da revisão da literatura, bem como uma descrição da aplicação de testes de acurácia com o uso de scanner de luz estruturada. Indicações clínicas das malhas tridimensionais foram avaliadas tanto no planejamento pré-operatório como no acompanhamento pós-cirúrgico. **Resultados:** Os princípios das tecnologias de captura da imagem foram estabelecidos e a reprodutibilidade da validação da ferramenta de captura das malhas foi confirmada. A aplicabilidade clínica tanto na programação, quanto no acompanhamento foi exemplificada. **Conclusão:** A diferença conceitual entre fotografia e malha tridimensional foi estabelecida, juntamente com a introdução dos princípios da tecnologia 3D. As aplicações clínicas do método foram apresentadas, evidenciando o uso promissor de modelos tridimensionais em Cirurgia Plástica.

**Descritores:** Procedimentos cirúrgicos reconstrutivos; Imagem tridimensional; Fotogrametria; Antropometria; Medidas; Métodos e teorias.

<sup>1</sup> Sociedade Brasileira de Cirurgia Plástica, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>3</sup> Sociedade Brasileira de Neurocirurgia, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>4</sup> Colégio Brasileiro de Cirurgias, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>5</sup> Santa Casa de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

## ■ ABSTRACT

**Introduction:** Image recording as we know it today has evolved considerably from the beginning of photography by means of light printing directly onto a photosensitive material, up to the mathematical algorithms that constitute three-dimensional (3-D) meshes in stereophotogrammetry. The 3-D technology to capture and extract reliable information in plastic surgery has evolved considerably in recent years. However, the procedure for which the applicability potential can be exploited directly by the surgeon in their routine work should be fully understood. The objective of this work was to address the conceptual aspects and the accuracy of the image capture, and to illustrate clinical applications of 3-D meshes, with emphasis on their importance in clinical use. **Methods:** Literature on the principles of image capture and formation of tridimensional models was reviewed, as well as the description of the application of the tests of accuracy with the use of a structured-light scanner. Clinical indications of 3-D meshes were evaluated both in the preoperative planning and postsurgical follow-up. **Results:** The principles of the image capture technologies were established, and the reproducibility of the validation of the tool to capture meshes was confirmed. The clinical applicability both in programming and monitoring was exemplified. **Conclusion:** The conceptual difference between photography and the 3-D mesh system was established, together with the introduction of the principles of 3-D technology. The clinical applications of the method were presented, evidencing the promising application of dimensional models in plastic surgery.

**Keywords:** Reconstructive surgical procedures; Three-dimensional image; Photogrammetry; Anthropometry; Measures; Methods and theories.

## INTRODUÇÃO

O registro da imagem como conhecemos hoje evoluiu muito desde os primórdios da fotografia por meio da impressão da luz diretamente em um material fotossensível, até aos algoritmos matemáticos que constituem malhas tridimensionais. Muito da tecnologia digital existente hoje foi delineada a partir de necessidades, como as que surgiram após a colocação do telescópio *Hubble* em órbita, em que um salto evolutivo tecnológico ocorreu na captura e transmissão de imagens.

Assim como na migração da avaliação radiográfica, que é uma imagem em duas dimensões (2D), para a tomografia computadorizada com reconstrução em três dimensões (3D), em que houve uma melhora na acurácia na ferramenta de análise<sup>1</sup>. Os sistemas de imagem 3D têm sido considerados uma ótima alternativa na mensuração linear e angular da face<sup>2-5</sup> em comparação com as imagens 2D.

É preciso entender as diferenças conceituais entre a formação de imagens de objetos em 2D em

relação aos 3D por meio de princípios da fotografia digital e de das malhas tridimensionais. Estas malhas são obtidas por meio da estereofotogrametria, que é a coordenada estimada de pontos de um objeto tridimensional, a partir dos dados obtidos por meio de um instrumento de registro de imagens. Um exemplo disto é o *scanner* de superfície, que não possui radiação ionizante e, seja ele de que tecnologia for, possibilita o processamento computacional, gerando uma extensão de arquivo de computador facilmente armazenado, transportado e transmitido<sup>4,6</sup>. A análise dos dados obtidos a partir da malha captada pelo cirurgião requer um entendimento inicial da tecnologia para que possa ser realizada e para extrair dela as informações para cada caso.

O uso das malhas 3D para avaliação pré-operatória, planejamento e acompanhamento tem assumido lugar como ferramenta válida em várias áreas da Cirurgia Plástica. A aplicabilidade clínica está em franca expansão, cabendo ao cirurgião explorar as possibilidades.

## OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é abordar os aspectos conceituais, a acurácia da captação das malhas por meio de *scanner* de luz estruturada e ilustrar aplicações clínicas das malhas tridimensionais.

## MÉTODOS

O trabalho teve o Protocolo de Pesquisa número 001/15 no Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

Por meio de uma revisão conceitual, as diferenças entre o registro fotográfico de uma imagem e a captura de uma malha 3D foram estabelecidas.

Para revisar e confirmar a acurácia da medição de malhas tridimensionais, os autores realizaram um estudo inicial comparativo, baseados na literatura<sup>7,8</sup>, utilizando uma *Coordinate Measuring Machine* (CMM da AXIOM TOO™, Empresa USICAM Indústria e Comércio Ltda.), considerada como padrão ouro de medições, com as coordenadas da malha obtida pelo escâner de luz estruturada (Artec 3D™ MHT) de uma cabeça de manequim de material plástico, fixada em uma base metálica. Todas as imagens captadas pelo escâner Artec 3D® foram reconstruídas pelo *software* Artec Studio 9® nativo do escâner. Após realizado o alinhamento global da nuvem de pontos, foi feita a suavização da imagem. O arquivo da malha em .stl (“STereoLithography”), foi então salvo e exportado para o *software* da CMM.

Ainda com o intuito de avaliar a acurácia, foi utilizado uma cabeça de manequim de silicone MAX® (simulador realístico para cirurgias buco-maxilo-faciais, criado pela equipe ProDelphus™) para obtenção de medidas antropométricas diretas com paquímetro, tendo sido tomadas medidas lineares entre pontos e repetidas de maneira virtual com a malha tridimensional<sup>9</sup>.

As aplicações clínicas apresentadas foram colhidas da bibliografia disponível e de casos pilotos realizados pelos autores.

## RESULTADOS

Os autores utilizaram as fontes de informação disponíveis e gratuitas de busca na Internet para estabelecer os princípios conceituais. Foram escolhidas duas fontes bibliográficas para estabelecer os princípios da fotografia digital e três para a tecnologia de modelos tridimensionais, de modo a caracterizar as peculiaridades de cada tecnologia.

### Validação do método

Os cálculos realizados para estudo comparativo entre as coordenadas obtidas pela CMM e as da malha

capturada pelo scanner geraram um relatório dos testes, no qual evidenciou-se o erro máximo de 0,4 mm em alguns eixos de poucas coordenadas (Figura 1).

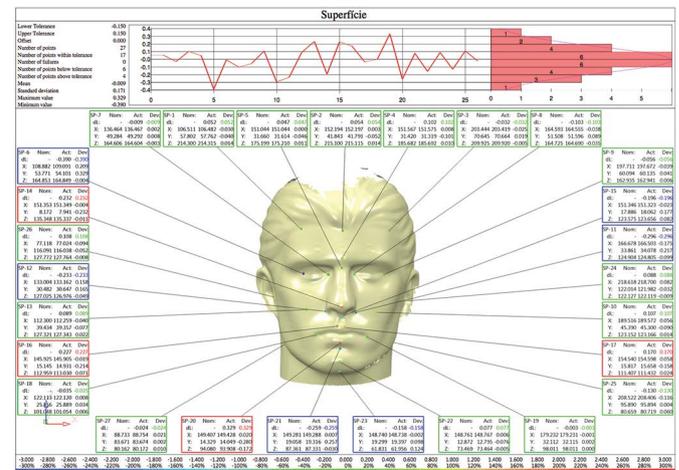


Figura 1. Demonstrativo do estudo realizado comparativamente das coordenadas medidas em 27 pontos em uma cabeça de manequim de plástico pelo scanner e pela CMM, onde o desvio mínimo foi de 0,39 e o máximo de 0,32.

Na comparação entre a média de três medidas antropométricas lineares diretas, feitas com um paquímetro, com a média de três medidas calculadas por meio do *software* do scanner, feitas no MAX, observou-se uma diferença de 1-1,5 mm<sup>10</sup> (Figura 2).

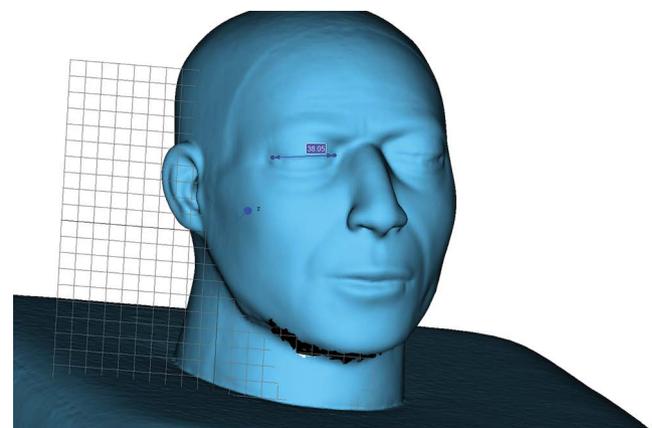


Figura 2. Malha tridimensional do MAX® captada com scanner de luz estruturada, com anotação de medição linear intercantal da órbita direita de 38,05 mm, medidos com a ferramenta de medição linear do software.

## DISCUSSÃO

### Fotografia digital

A representação gráfica da imagem apresenta duas dimensões, ou seja, comprimento e largura. Com isso, a perspectiva, a iluminação, a profundidade e outros aspectos que caracterizam uma imagem plana

são limitados. Na imagem fotográfica os raios luminosos convergem para um ponto focal da lente da câmera, o que corresponde ao ponto de vista de uma visão monocular.

A câmera digital se assemelha a câmeras de filme 35 mm, ambas possuem lente, uma abertura e um obturador. A diferença está na forma de capturar a imagem: ao invés de filme, a câmera digital possui sensores (CCDs - *Charge-coupled devices*) com dispositivos fotossensíveis que capturam o estímulo da luz em um único pixel, acumulando nele uma carga elétrica, sendo maior ou menor a carga conforme a intensidade da luz. Com o fechamento do obturador, esta carga é transformada em um número digital<sup>11</sup>.

Pixel é o menor ponto que forma uma imagem digital, é a aglutinação de Picture e Element, sendo que Pix é a abreviatura em inglês para *Pictures*. Quando em um monitor, cada Pixel é composto por três possibilidades de filtro (vermelho, verde e azul - RGB) com capacidade de exibir 256 tonalidades diferentes e a proximidade de um conjunto de oito pixels com filtros diferentes (8 bits), por meio da interpolação determina a cor que será exibida. Quanto mais pixels são utilizados em uma imagem, mais ela se aproxima do objeto original. O termo Megapixel designa um valor de um milhão de pixels e nas câmeras digitais determina o grau de resolução ou definição da imagem<sup>12</sup>.

A resolução da imagem tem relação com o tamanho e, por consequência, pela quantidade de pixels. Para possibilitar o armazenamento e manipulação um grupo chamado *Joint Photographic Experts Group* (JPEG) estabeleceu um formato de arquivo que comprime as imagens. Desta forma, o tamanho do arquivo está diretamente relacionado à resolução. A resolução mais baixa acarretará uma qualidade menor.

### Modelos tridimensionais

Desde 1435, quando Alberti publicou *De Pictura*<sup>13</sup>, que é um dos trabalhos mais antigos sobre perspectiva linear, a matemática foi definitivamente relacionada às regras da tridimensionalidade das artes e das imagens. Porém, somente em 1975 Reggini<sup>14</sup> expõe uma possibilidade de um meio computacional para corrigir as discrepâncias de tamanho que a perspectiva linear impõe, observadas pelo fenômeno visual chamado constância perceptual, que é a tendência do cérebro na interpretação das imagens na retina. Com isso, há um nascimento da computação gráfica 3D, juntamente com trabalhos como o de Kozbelt<sup>15</sup>.

Diferentemente das informações das imagens em 2D serem em Pixels, as de um objeto em 3D são interpretadas pelo computador a partir de dados de coordenadas cartesianas, que são a intersecção linear

de dois ou mais planos perpendiculares. Cada plano é chamado de eixo e cada um é designado com uma letra: X, Y e Z, que denota sua direção e, desta forma, qualquer ponto no espaço pode ser localizado e, por conseguinte, a sua relação métrica com os outros pontos.

Ao ser feito um escaneamento de um objeto, há a captura de uma “nuvem de pontos”, que nada mais é do que a junção dos pontos medidos em cada cena, cada um com um valor X, Y e Z de coordenadas. Por meio de um processamento feito pelo *software* específico, cálculos são realizados para “limpar” a nuvem de pontos definindo uma coordenada definitiva para o posicionamento no espaço, ligando cada um deles por uma linha denominada aresta, sendo que, em geral, a cada três pontos unidos há a formação de uma superfície plana, denominada face. Neste momento, toda a superfície do objeto escaneado está representada por polígonos, recebendo o nome de malha, seguindo as alterações da superfície captada pelo *scanner*. No caso do *scanner* de luz estruturada, juntamente com a captura da nuvem de pontos, fotografias são feitas em intervalos de tempo para que, caso seja solicitado, a textura do objeto possa ser adicionada, baseando-se em um “mapa” armazenado com as informações das cores em cada ponto.

O uso da fotografia como instrumento de estudo para avaliação comparativa da evolução do pré com o pós-operatório e planejamento cirúrgico, desde há muito tempo está associado à atividade do cirurgião plástico, especialmente na área de atuação de cirurgia crânio-maxilo-facial. Inicialmente com fotografias por revelação a partir dos filmes fotográficos até, atualmente, as fotografias digitais. Paulatinamente, as câmeras digitais tiveram sua tecnologia aperfeiçoada e por meio da junção com *softwares* de computador específicos, vários cálculos quantitativos lineares e angulares puderam ser realizados a partir de fotografias em duas dimensões. Avanços tecnológicos dispuseram à prática médica métodos de avaliação que variam desde estereofotogrametria, técnica de subtração de imagem, topografia de Moiré, varredura (*scanning*) por cristal líquido, *scanning* de luz, estereolitografia até os sistemas de vídeos<sup>4,16</sup>. Conjuntamente à utilização em avaliações clínicas, a tecnologia da informação introduziu cirurgias auxiliadas por computador<sup>17</sup>.

Assim como na migração da avaliação radiográfica, que é uma imagem em 2D, para a tomografia computadorizada com reconstrução em 3D, houve uma melhora na acurácia na ferramenta de análise<sup>1</sup>, e os sistemas de imagem 3D têm sido considerados uma ótima alternativa na mensuração linear e angular da face<sup>2,4,5,18</sup> em comparação com as imagens 2D.

A avaliação pela tomografia computadorizada e/ou ressonância magnética possui desvantagens, pois pode não registrar com qualidade a morfologia externa

pela presença de “ruídos”, limitando a informação das estruturas de partes moles, artefatos produzidos pela movimentação do paciente, restaurações metálicas, compressões teciduais pelo apoio, tempo para a realização e há exposição à radiação ionizante<sup>2,17</sup>. Além destes, deve-se considerar que se tratam de exames de custo elevado.

A utilização de imagens tridimensionais é muito comum em vários campos da ciência, como na geografia, arquitetura, indústria de peças automobilísticas e outras. Na Medicina, logo que tiveram início os primeiros estudos com *scanner* de superfície, foram feitos testes para aferir a acurácia das medições obtidas<sup>7,10,19-21</sup>. Houve preocupação em estabelecer a correlação das medidas de antropometria, obtidas com os métodos consagrados de medição direta e indireta, com as obtidas pelo estudo virtual do modelo 3D<sup>7,22,23</sup>, por meio de ferramentas específicas oferecidas pelos *softwares*.

A diferença entre as coordenadas obtidas em pelo *scanner* em comparação com as obtidas pela CMM foi desprezível. Observou-se a variação em somente um eixo em uma das coordenadas dos vários pontos avaliados. Da mesma forma que a medição antropométrica direta na cabeça do manequim manteve relação direta com as medições obtidas por meio da ferramenta do *software*.

A utilização de modelos tridimensionais na avaliação, planejamento e acompanhamento de pacientes na área da Cirurgia Plástica está em franco desenvolvimento<sup>2,16</sup>. A possibilidade de visibilizar, por exemplo, a superfície de uma face de qualquer ângulo, distância e iluminação, por meio de malhas tridimensionais, faz com que a avaliação não sofra a influência do padrão fotográfico. Características da fotografia dependentes da qualidade da câmera, do foco, da iluminação, da definição da imagem, do fundo utilizado e outros, comprometem uma avaliação não só subjetiva como pode inviabilizar uma comparação objetiva de pré e pós-operatório.

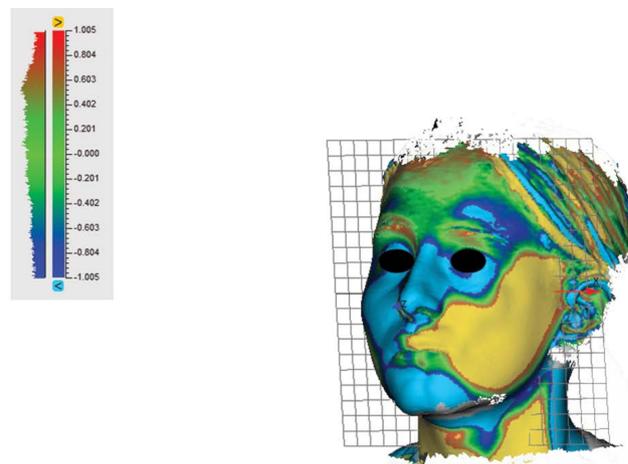
Além das medidas antropométricas estabelecidas, pode-se, por exemplo, quantificar medidas volumétricas de assimetria, medidas geodésicas (Figura 3), comparação de desvio de superfícies<sup>18</sup> (Figura 4), cálculo de área de pele envolvida, espelhamento de imagem e muitos outros recursos com os *softwares* disponíveis.

Por meio do uso de *softwares* livres específicos, como por exemplo: Blender®, CloudCompare®, MeshLab®, InVesalius®, Osirix® é possível fazer a importação dos arquivos das malhas, alinhar, modelar, extrair dados (Figura 5), posicionar uma reconstrução tridimensional de uma tomografia em relação à malha da superfície e outros processos. O conhecimento básico de computação gráfica se torna uma ferramenta de fundamental importância.

Como aplicação clínica, pode-se citar o estudo de assimetria de face; planejamento de reconstruções com

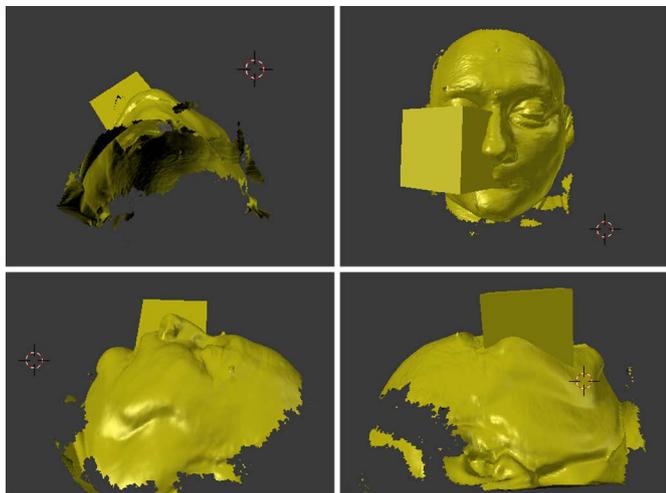


**Figura 3.** Medição geodésica realizada no software da Artec 3D® (medida que acompanha a superfície) em área de queimadura, medida feita para avaliação na colocação de expansor tecidual.

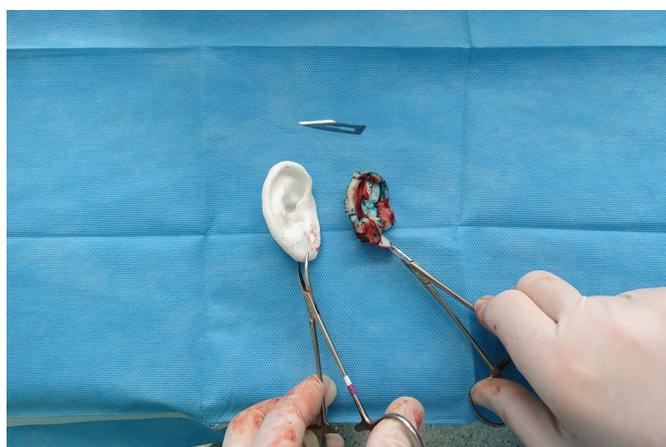


**Figura 4.** Comparação de desvios entre superfícies em duas malhas da face alinhadas realizada no software da Artec 3D®, pré e pós-operatórias, de enxerto de gordura para correção de assimetria facial. A cor amarela indica onde há uma diferença maior que um milímetro de uma malha para outra.

espelhamento do lado normal com o afetado (Figura 6); estudo comparativo antropométrico<sup>24</sup>, como, por exemplo, em fissuras lábio palatinas<sup>25,26</sup> ou rinoplastia<sup>27</sup>; cálculo de área de pele expandida em colocação de expansor tecidual<sup>3</sup>; estudos de envelhecimento<sup>28</sup>; criação de moldes tridimensionais<sup>29</sup>; acompanhamento de tumores, como o hemangioma<sup>30</sup>; volumetria de mama<sup>20</sup>; avaliação de preenchimentos<sup>24</sup>; simulação do resultado de uma cirurgia ortognática, com as mudanças transmitidas a superfície e outros (Figura 7).



**Figura 5.** Imagem realizada pelo software Blender®, estudo desenvolvido pelo autor para cálculo volumétrico de malhas tridimensionais.

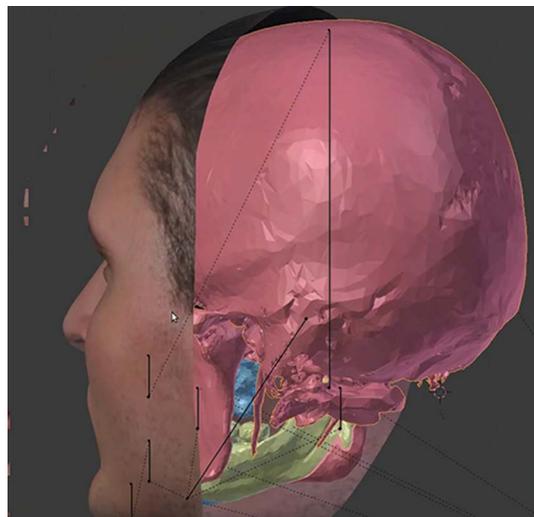


**Figura 6.** Fotografia transoperatória da prototipagem do modelo de orelha para reconstrução total de orelha de paciente com anotia à direita. Foi feita uma captura da malha com escâner de superfície de luz estruturada da Artec 3D®, salvo em arquivo .stl, exportado para o software Blender®, feito o espelhamento e modelagem para isolar somente a orelha, a malha foi impressa no CTI - Renato Archer, esterilizado e utilizado na cirurgia como modelo

O treinamento por meio de simuladores de cirurgias com dispositivos hápticos também são aplicações das malhas tridimensionais. Estudos têm sido feitos para desenvolver modelos que permitam deformações das malhas a partir de simuladores de realidade virtual com instrumentais que transmitam uma *force feedback* ao usuário, possibilitando simulação de procedimentos cirúrgicos<sup>29-32</sup>.

A possibilidade de ter disponível o arquivo em 3D de um paciente permite o acesso a avaliações não previstas inicialmente em um estudo, proporcionando não só um recurso técnico, como uma possibilidade didática na relação médico/paciente.

Uma avaliação crítica pode ser feita em relação à necessidade do médico de adquirir novos conhecimentos para capacitá-lo a fazer seus próprios estudos, porém as gerações atuais estão mais familiarizadas com as inovações tecnológicas e também com experiências autodidatas de aprendizado no uso de *softwares*.



**Figura 7.** Imagem realizada pelo software Blender®. Visão lateral posterior esquerda onde foi posicionada a reconstrução 3D de uma tomografia do crânio e da face juntamente com uma malha 3D texturizada, para realização de cirurgia virtual. (imagem cedida pelo Dr. Everton da Rosa).

O custo de um *scanner* pode ser um empecilho, porém segue o curso de toda tecnologia nova, que tende a baratear conforme vai se atualizando. Existe, ainda, a possibilidade da estereofotogrametria por meio de processamento de fotografias, ser realizada com *softwares* e aplicativos gratuitos, como, por exemplo, o 123D®.

## CONCLUSÃO

A diferença conceitual entre fotografia e malha tridimensional é de fundamental importância para o entendimento e para a introdução dos princípios da tecnologia 3D. As aplicações clínicas do método têm se mostrado confiáveis e oferecem recursos que a fotografia não permite. Há um futuro promissor no uso de modelos tridimensionais em Cirurgia Plástica. Para que isto se consolide, é preciso que se continue com novos estudos e incentivo ao domínio da tecnologia.

Agradecimentos: Agradecemos a disponibilização de imagem do Cirurgião Buco-Maxilo-Facial, Dr. Everton da Rosa, a parceria com o Centro da Tecnologia da Informação (CTI Renato Archer) de Campinas e o auxílio técnico imprescindível do Professor de Computação Gráfica Cícero Moraes.

## REFERÊNCIAS

1. Marcus JR, Domeshek LF, Loyd AM, Schoenleber JM, Das RR, Nightingale RW, et al. Use of a three-dimensional, normative database of pediatric craniofacial morphology for modern anthropometric analysis. *Plast Reconstr Surg.* 2009;124(6):2076-84. PMID: 19952665 DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/PRS.0b013e3181bf7e1b>
2. Teixeira RP, Willians SK, Ellis LA, Greensmith AL. Aplicações da fotografia em três dimensões na Cirurgia Plástica. *Rev Bras Cir Craniomaxilofac.* 2008;11(4):163-7.

3. Jayaratne YS, Lo J, Zwahlen RA, Cheung LK. Three-dimensional photogrammetry for surgical planning of tissue expansion in hemifacial microsomia. *Head Neck*. 2010;32(12):1728-35. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/hed.21258>
4. Tzou CH, Frey M. Evolution of 3D surface imaging systems in facial plastic surgery. *Facial Plast Surg Clin North Am*. 2011;19(4):591-602. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fsc.2011.07.003>
5. Koh KS, Oh TS, Kim H, Chung IW, Lee KW, Lee HB, et al. Clinical application of human adipose tissue-derived mesenchymal stem cells in progressive hemifacial atrophy (Parry-Romberg disease) with microfat grafting techniques using 3-dimensional computed tomography and 3-dimensional camera. *Ann Plast Surg*. 2012;69(3):331-7. PMID: 22907186 DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/SAP.0b013e31826239f0>
6. Fourie Z, Damstra J, Gerrits PO, Ren Y. Evaluation of anthropometric accuracy and reliability using different three-dimensional scanning systems. *Forensic Sci Int*. 2011;207(1-3):127-34. PMID: 20951517 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.09.018>
7. Khambay B, Nairn N, Bell A, Miller J, Bowman A, Ayoub AF. Validation and reproducibility of a high-resolution three-dimensional facial imaging system. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2008;46(1):27-32. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjoms.2007.04.017>
8. Ma L, Xu T, Lin J. Validation of a three-dimensional facial scanning system based on structured light techniques. *Comput Methods Programs Biomed*. 2009;94(3):290-8. PMID: 19303659 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cmpb.2009.01.010>
9. Weinberg SM, Naidoo S, Govier DP, Martin RA, Kane AA, Marazita ML. Anthropometric precision and accuracy of digital three-dimensional photogrammetry: comparing the Genex and 3dMD imaging systems with one another and with direct anthropometry. *J Craniofac Surg*. 2006;17(3):477-83. DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/00001665-200605000-00015>
10. www.zoon.org.br Curso de Fotografia Digital. 2006.
11. Wikipédia. Pixel 2015. Available from: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Pixel>
12. Field JV. Giovanni Battista Benedetti on the Mathematics of Linear Perspective. *J Warburg Courtauld Inst*. 1985;48:71-99. DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/751212>
13. Reggini HC. Perspective using curved projection rays and its computer application. *Leonardo*. 1975;8(4):307-312. DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/1573008>
14. Kozbelt A. Psychological Implications of the History of Realistic Depiction: Ancient Greece, Renaissance Italy and CGI. *Leonardo*. 2006;39(2):139-44. DOI: <http://dx.doi.org/10.1162/leon.2006.39.2.139>
15. Kovacs L, Zimmermann A, Brockmann G, Gühring M, Baurecht H, Papadopoulos NA, et al. Three-dimensional recording of the human face with a 3D laser scanner. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2006;59(11):1193-202. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjps.2005.10.025>
16. Ladeira PRS, Bastos EO, Vanini JV, Alonso N. Uso da estereofotogrametria nas deformidades craniofaciais: revisão sistemática. *Rev Bras Cir Plást*. 2013;28(1):147-55. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-51752013000100025>
17. Jayaratne YS, Zwahlen RA, Lo J, Tam SC, Cheung LK. Computer-aided maxillofacial surgery: an update. *Surg Innov*. 2010;17(3):217-25. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/1553350610371626>
18. Jayaratne YS, Zwahlen RA, Lo J, Cheung LK. Three-dimensional color maps: a novel tool for assessing craniofacial changes. *Surg Innov*. 2010;17(3):198-205. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/1553350610370752>
19. Barbarino GG, Jabareen M, Trzewik J, Nkengne A, Stamatias G, Mazza E. Development and validation of a three-dimensional finite element model of the face. *J Biomech Eng*. 2009;131(4):041006. PMID: 19275435 DOI: <http://dx.doi.org/10.1115/1.3049857>
20. Lee J, Kawale M, Merchant FA, Weston J, Fingeret MC, Ladewig D, et al. Validation of stereophotogrammetry of the human torso. *Breast Cancer (Auckl)*. 2011;5:15-25. DOI: <http://dx.doi.org/10.4137/BCBCR.S6352>
21. Ongkosuwito EM, Goos JA, Wattel E, van der Wal KG, van Adrichem LN, van Neck JW. Assessment of volumetric changes with a best-fit method in three-dimensional stereophotograms. *Cleft Palate Craniofac J*. 2012;49(4):472-6. DOI: <http://dx.doi.org/10.1597/10-270>
22. Fink M, Medelink J, Strobel K, Hirschfelder U, Hofmann E. Metric precision via soft-tissue landmarks in three-dimensional structured-light scans of human faces. *J Orofac Orthop*. 2014;75(2):133-43. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00056-013-0201-9>
23. Donath AS, Glasgold RA, Meier J, Glasgold MJ. Quantitative evaluation of volume augmentation in the tear trough with a hyaluronic Acid-based filler: a three-dimensional analysis. *Plast Reconstr Surg*. 2010;125(5):1515-22. PMID: 20440170 DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/PRS.0b013e3181d70317>
24. Alexiades-Armenakas M. Combination laser-assisted liposuction and minimally invasive skin tightening with temperature feedback for treatment of the submentum and neck. *Dermatol Surg*. 2012;38(6):871-81. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1524-4725.2012.02348.x>
25. Li G, Wei J, Wang X, Wu G, Ma D, Wang B, et al. Three-dimensional facial anthropometry of unilateral cleft lip infants with a structured light scanning system. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2013;66(8):1109-16. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjps.2013.04.007>
26. van Loon B, van Heerbeek N, Maal TJ, Borstlap WA, Ingels KJ, Schols JG, et al. Postoperative volume increase of facial soft tissue after percutaneous versus endonasal osteotomy technique in rhinoplasty using 3D stereophotogrammetry. *Rhinology*. 2011;49(1):121-6.
27. Iblher N, Gladilin E, Stark BG. Soft-tissue mobility of the lower face depending on positional changes and age: a three-dimensional morphometric surface analysis. *Plast Reconstr Surg*. 2013;131(2):372-81. PMID: 23357998 DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/PRS.0b013e318278d67c>
28. Lindsay RW, Herberg M, Liacouras P. The use of three-dimensional digital technology and additive manufacturing to create templates for soft-tissue reconstruction. *Plast Reconstr Surg*. 2012;130(4):629e-31e. DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/PRS.0b013e318262f509>
29. Hermans DJ, Maal TJ, Bergé SJ, van der Vleuten CJ. Three-dimensional stereophotogrammetry: a novel method in volumetric measurement of infantile hemangioma. *Pediatr Dermatol*. 2014;31(1):118-22. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/pde.12224>
30. Smith DM, Aston SJ, Cutting CB, Olikier A, Weinzeig J. Designing a virtual reality model for aesthetic surgery. *Plast Reconstr Surg*. 2005;116(3):893-7. PMID: 16141834 DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/01.prs.0000176900.62853.b3>
31. Oliveira ACMT, Nunes FLS. Uma nova abordagem para simulação de deformação de tecidos moles para treinamento médico usando Realidade Virtual [Acesso 1 Feb 2016]. Disponível em: <http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/svr/2012/0011.pdf>
32. Ström P, Hedman L, Särnå L, Kjellin A, Wredmark T, Felländer-Tsai L. Early exposure to haptic feedback enhances performance in surgical simulator training: a prospective randomized crossover study in surgical residents. *Surg Endosc*. 2006;20(9):1383-8. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00464-005-0545-3>

\*Autor correspondente:

Rodrigo de Faria Valle Dornelles

Rua Doutor Barros Cruz 172, Vila Mariana, São Paulo, SP, Brasil  
CEP 04118-130

E-mail: [rodrigodornelles@gmail.com](mailto:rodrigodornelles@gmail.com)