

Aplicação dos biomodelos de prototipagem rápida na Odontologia, confeccionados pela técnica da impressão tridimensional *

Rapid prototyping biomodels, made by the tridimensional printing, application at the Odontology

Lucio Costa Safira¹, Anderson da Silva Maciel², José Carlos Criaes Souto-Maior³, Roberto Almeida de Azevedo⁴, Weber Ceo Cavalcante⁵, Carlos Eduardo Francischone⁶, Viviane Almeida Sarmento⁷

* Artigo oriundo de segmento da Dissertação de Mestrado apresentada à UFBA – Biomodelos confeccionados no SENAI/CIMATEC – BA, em convênio com a Faculdade de Odontologia da UFBA. Pesquisa financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia – FAPESB. ¹ Especialista em CTBMF – Hospital Santo Antônio – OSID; Mestre em Odontologia – UFBA; Doutorando em Implantologia – Universidade do Sagrado Coração – Bauru. ² Residente em CTBMF – Hospital Santo Antônio – OSID. ³ Graduado em Odontologia – UFBA; Graduado em Desenho Industrial – UNEB; Especialista em Desenho Industrial: Projeto de Produto – UNEB. ⁴ Coordenador do Serviço em CTBMF – Hospital Santo Antônio – OSID; Professor Adjunto – UFBA. ⁵ Preceptor do Serviço em CTBMF – Hospital Santo Antônio – OSID; Professor de CTBMF – UESB / BA. ⁶ Professor Titular de Dentística da Faculdade de Odontologia de Bauru-USP; Prof. Titular de Implantologia da USC-Bauru. ⁷ Doutora em Estomatologia – PUC /RS; Professora Adjunta – UFBA.

Resumo

A Prototipagem Rápida (PR) é uma tecnologia de uso recente na Odontologia, que consiste na aquisição de biomodelos, compatíveis com a anatomia humana, a partir da associação da imagiologia médico-odontológica com sistemas de computadores (CAD - CAM). A confecção de biomodelos de prototipagem rápida assume grande importância na Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial e Implantodontia, por permitir um melhor planejamento cirúrgico. Esses modelos anatômicos facilitam a visualização da extensão da lesão e dos tecidos, o planejamento da cirurgia em todas as suas etapas e a utilização dos materiais cirúrgicos no modelo, reduzindo o tempo de intervenção cirúrgica. O objetivo deste trabalho é apresentar uma atualização sobre esse tema, ilustrada com biomodelos confeccionados pela técnica da Impressão Tridimensional (3DP- 3D Printing), utilizados em cirurgias realizadas no Hospital Santo Antônio (BA), e em hospitais privados de Salvador (BA).

Palavras-chave: Prototipagem rápida; impressão tridimensional; CTBMF.

Abstract

The Rapid Prototyping (RP) is a recently technology used in Odontology which consists in acquisition of biomodels conformable human anatomy from the medical-odontologic Imaginology and computer systems (CAD - CAM) association. The rapid prototyping biomodels making is a recently technology with great importance in oral and maxillofacial surgery. These biomodels improve the lesion extension and tissues visualization, surgical planning and simulate the use of biomaterials in the models providing the surgical time decrease. The aim of this paper is to present an update about this subject, illustrated with biomodels produced by 3DP technique used in surgeries undertaken at the Santo Antonio Hospital – BA (Brazil), and at the private service.

Keywords: Rapid prototyping - Tridimensional printing – Surgery.

INTRODUÇÃO

A crescente busca pela excelência no diagnóstico e tratamento das alterações do complexo bucomaxilofacial tem se tornado um grande desafio para os cirurgiões-dentistas. Nesse sentido, a incorporação de tecnologias modernas no diagnóstico por imagem e no planejamento de terapêuticas avançadas, como as cirurgias reparadoras e reconstrutivas dessa região

nobre do organismo humano, tem assumido uma posição de destaque no ramo da biotecnologia.

A prototipagem rápida (PR) é um grande exemplo disso, e é definida como um conjunto de métodos usados para fabricar objetos físicos diretamente de fontes de dados gerados em computadores - CAD (Computer Aided Design). Esses métodos envolvem uma alta tecnologia e complexidade, uma vez que ligam materiais, camada a camada, de forma a construir o objeto desejado, denominado biomodelo na área da saúde.¹

A aquisição de biomodelos compatíveis com a anatomia humana tem sido desenvolvida devido à

Recebido em 016 de março de 2009; revisado em 20 de dezembro de 2010.

Correspondência / Correspondence: Lucio Costa Safira. Rua da Palmeira, nº 95, apto. 102 B, Ed. Barramar – Barra. 40140-260 Salvador-BA – Brasil. E-mail: lucio.safira@ig.com.br

integração da tecnologia CAD aos avanços tecnológicos obtidos na imagiologia médico-odontológica^{2,3}. Essa integração possibilita que as imagens de exames de tomografia computadorizada (TC) ou ressonância magnética (RM) no formato DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) sejam processadas por programas específicos, criando um conjunto tridimensional (3D) de dados no formato STL (*Stereolithography*), enviado para as estações de PR, onde, através do sistema CAM (*Computed Aided Manufacturing*), os protótipos são fabricados.^{4,5}

A PR possui muitas aplicações na Odontologia nas especialidades de Ortodontia, Implantodontia e, principalmente, na Cirurgia e Traumatologia Bucocomaxilofacial (CTBMF)⁶. De acordo com Meurer⁷ e com Mazzonetto e colaboradores⁸, a obtenção de biomodelos permite um diagnóstico mais preciso e, conseqüentemente, um melhor planejamento cirúrgico em cirurgias reconstrutivas, ortognáticas, no tratamento de lesões de natureza traumática, distrações osteogênicas e da articulação têmporo-mandibular (ATM). Dentre as vantagens existentes da utilização dessa tecnologia, destacam-se a diminuição do tempo cirúrgico, com conseqüente diminuição do tempo de anestesia, e um melhor resultado estético e funcional, devido à possibilidade de mensuração e modelagem prévia de placas de reconstrução ou biomateriais nos protótipos personalizados.^{9,10}

O objetivo deste trabalho é apresentar uma atualização sobre esse tema, ilustrada com biomodelos confeccionados pela técnica da impressão tridimensional (3DP) utilizados em cirurgias realizadas no Hospital Santo Antônio (BA) e na clínica privada.

PROTOTIPAGEM BIOMÉDICA

A PR é definida como uma tecnologia recente, que produz objetos físicos com o auxílio de computadores – CAD (*Computer Aided Design*)^{1,11}. Em Odontologia, esse recurso pode ser aplicado através da obtenção de imagens de TC ou RM, cujos dados são transferidos através de *softwares* especiais, que executam o processamento das informações. Após a formação das imagens no computador pelo sistema CAD (modelo virtual), elas são enviadas para estações de PR, onde, através do sistema CAM, protótipos reais são fabricados.^{4,6}

Amaral, Barreto e Carvalho¹² relataram que os protótipos não são criados, e sim copiados a partir da captura de imagens da região de interesse por um tomógrafo, onde cortes axiais são empilhados por meio de programas específicos para gerar a reconstrução tridimensional. Em seguida, esse modelo é enviado a uma impressora tridimensional, para que a reprodução seja realizada e, após essa etapa, os protótipos são submetidos ao pós-processamento, no intuito de torná-los mais resistentes.¹

De acordo com Petzold, Zeilhofer e Kalender¹³ e com Gorni¹, existem várias tecnologias de PR utilizadas na fabricação de biomodelos. As mais utilizadas na Odontologia são a estereolitografia (*SLA, Stereolithography*), em que os modelos tridimensionais são construídos a partir de polímeros líquidos sensíveis a luz, que se solidificam quando expostos à radiação ultravioleta; a sinterização seletiva a laser (*SLS, Selective Laser Sintering*), na qual se usa um raio laser para fundir, de forma seletiva, materiais pulverulentos, tais como náilon, elastômeros e metais, num objeto sólido; a modelagem por deposição de material fundido (*FDM - Fused Deposition Modeling*), em que os modelos são confeccionados a partir da deposição de filamentos de resina termoplástica aquecida; e a impressão tridimensional (*3DP - 3D Printing*), na qual os modelos são produzidos por aposição de camadas através da aglutinação de gesso e amido.

O Centro de Pesquisa Professor Renato Arscher (CenPRA)¹⁴ relata as vantagens que essa técnica apresenta: custo reduzido, velocidade adequada da confecção e a facilidade de corte. No entanto, algumas desvantagens são listadas, tais como não ser esterilizável em autoclave, não reproduzir paredes ósseas de espessura reduzidas e liberar pó quando seccionado.

De acordo com Choi e colaboradores¹¹ e com Amaral, Barreto e Carvalho¹², o protocolo para obtenção de um protótipo consiste em realizar um exame tomográfico da região anatômica com cortes axiais reformatados em um milímetro, sendo que a espessura do corte irá determinar a qualidade e a fidelidade do biomodelo. Em seguida, as imagens no formato DICOM deverão ser gravadas em uma das diversas mídias físicas: CD-rom, disco óptico 5.25", Zip drive, etc. Após isso, as imagens gravadas serão convertidas em arquivos CAD-CAM, através de um programa específico, e enviadas para a estação de PR.

Meurer e colaboradores⁹, Seitz e colaboradores¹⁵, e Sugar e colaboradores⁵ afirmam que as etapas de confecção dos protótipos devem ser seguidas com extrema cautela e precisão, no intuito de obter um modelo com alta fidelidade de medidas em toda a sua extensão. Um erro em qualquer um desses estágios pode implicar alterações no final do processo.⁵

O protocolo utilizado neste estudo está de acordo com os autores acima citados, na medida em que utilizou cortes tomográficos axiais de um milímetro de espessura, conversão das imagens no formato DICOM para o formato S.T.L. para reconstruções tridimensionais. Após a realização dessas etapas, os biomodelos aqui mostrados foram confeccionados no SENAI-CIMATEC/BA, através da técnica da Impressão Tridimensional, como ilustra a sequência de figuras a seguir (Figura 1, Figura 2).

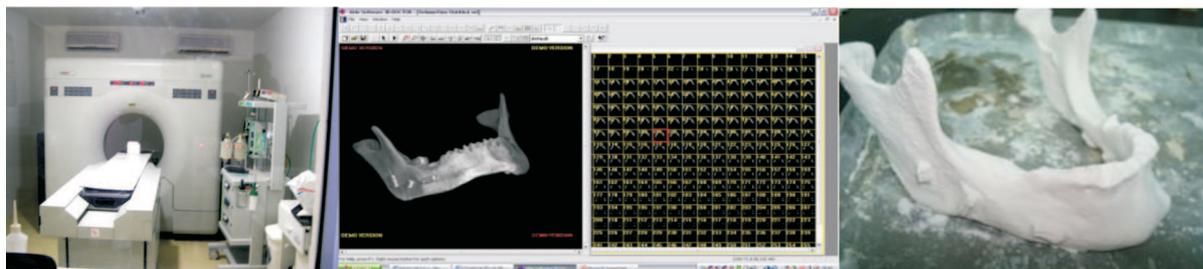


Figura 1 - Sequência para aquisição de um biomodelo: Exame de TC, Reconstrução 3D (Programa 3D *Doctor*) através dos cortes axiais seqüenciados.

Nota: protótipo recém removido da máquina, sem acabamento, confeccionado no SENAI/CIMATEC- BA



Figura 2 - Máquina de PR, presente no SENAI/CIMATEC-BA, onde os biomodelos foram confeccionados (*ZPrint-ZCORP*®)

PROTOCOLO PARA AQUISIÇÃO DAS IMAGENS EM PROTOTIPAGEM RÁPIDA

A aquisição das imagens de TC, para confecção de biomodelos do complexo maxilofacial, deve seguir um protocolo específico, que envolve alguns aspectos importantes, como o posicionamento da cabeça do paciente no *gantry* e a necessidade de mantê-la imóvel, a delimitação da região anatômica a ser englobada no exame, o plano e a espessura do corte e a forma na qual as imagens podem ser salvas.^{5,7}

De acordo com o CenPRA¹⁴, a precisão dos biomodelos depende diretamente dos dados obtidos na TC e, para que o protótipo reproduza com fidelidade a anatomia humana, algumas orientações devem ser seguidas.

1. Necessidade de o paciente permanecer imóvel, em repouso muscular e, preferencialmente, em oclusão dentária.

2. Delimitar a região de interesse para o operador em 1cm acima e abaixo da área de interesse.

3. Utilizar cortes axiais contínuos e finos, de, no máximo, 1,25mm de espessura.

4. Arquivar o exame em *CD-rom* de forma adequada para posterior envio ao centro onde será realizada a reconstrução tridimensional.

Complementando o protocolo supracitado, Sugar e colaboradores⁵ e Winder e Bibb² afirmam que cortes de até 0,25mm de espessura podem ser obtidos utilizando-se tomógrafos helicoidais mais modernos. Dessa forma, eles acreditam que quanto menor a espessura do corte, maior será a fidelidade dos biomodelos ao copiarem a anatomia humana.

Processamento das imagens para aquisição de modelos tridimensionais

A aquisição de imagens a partir da TC no protocolo específico fornece uma seqüência de seções transversais da região de interesse no formato *DICOM*^{5,16}. De acordo com Foggiatto¹⁷, para realizar a manipulação dessas imagens, no intuito de criar modelos tridimensionais a partir delas, são necessários *softwares* biomédicos específicos. Souza, Centeno e Pedrini¹⁸ citam que tais *softwares* têm a capacidade de processar as imagens no formato *DICOM*, bidimensionais, e convertê-las em um modelo tridimensional no formato *STL* a ser utilizado pela máquina de prototipagem para confeccionar os biomodelos.

Meurer e colaboradores⁹ apontam como os principais programas para a prototipagem biomédica o *Analyze*® (*Mayo Foundation, EUA*), o *Mimics*®

(*Materialise*, Bélgica) e o *Promed*[®] (CenPRA, Brasil). Um desses autores afirma ter utilizado em uma pesquisa diversos desses *softwares* na construção de biomodelos para o planejamento de cirurgias do complexo maxilofacial e relata resultados satisfatórios.⁷

Outro *software*, o *3D Doctor* (*Apple Corporation*[®] - EUA), foi utilizado por Pinheiro¹⁹ no intuito de converter as imagens obtidas por TCFC e criar biomodelos pela técnica da *3DP*. O objetivo principal do trabalho foi o de avaliar a fidelidade anatômica dos protótipos, ao comparar medidas preestabelecidas com as medidas das mandíbulas secas. Os resultados apresentaram diferenças significativas na análise estatística, embora consideradas irrelevantes clinicamente.

Optou-se pela utilização do programa *3D Doctor* em virtude da facilidade técnica do seu manuseio e excelência em resultados, como mostrado nesta reconstrução tridimensional.

APLICAÇÕES CLÍNICAS DOS BIOMODELOS DE PR

Atualmente, existem muitas aplicações importantes dos biomodelos de PR em diversas áreas da Odontologia e da Medicina^{17,20}. Na Odontologia, essa tecnologia encontra seu uso nas seguintes especialidades: CTBMF, auxiliando no planejamento de distrações osteogênicas, reconstruções mandibulares e da maxila, cirurgias traumatológicas e ortognáticas e cirurgias da ATM; na Implantodontia, onde é possível planejar e simular a instalação de implantes convencionais e fixações zigomáticas e até em procedimentos da Ortodontia^{2,21,22}. De acordo com Girod e colaboradores²³, Souza Centeno e Pedrini¹⁸, e com Foggiatto¹⁷, esses protótipos também são muito utilizados na Medicina, principalmente nas áreas de Ortopedia, Oncologia e Cirurgia Crânio-Maxilo-Facial.

Dentre as vantagens existentes da utilização dessa tecnologia, destacam-se a possibilidade de obtenção de um diagnóstico mais preciso, com melhor planejamento do tratamento, a diminuição do tempo cirúrgico, com conseqüente diminuição do tempo de anestesia e um melhor resultado estético e funcional, devido à possibilidade de mensuração e conformação prévia de biomateriais.^{8, 10, 24}

Meurer⁷ utilizou o método da *SLA* e *SLS*, obtendo resultados satisfatórios para o uso em diversos procedimentos cirúrgicos do complexo maxilo-facial. Em sua pesquisa, foram construídos biomodelos para o planejamento de dois casos de anquilose da ATM, um caso de seqüela de fratura de terço médio de face, um caso de retrognatismo maxilo-mandibular, um caso de seqüela de fratura naso-orbito-etmoidal e em um caso de seqüela de fratura zigomática associada à perda de substância do osso frontal.

No planejamento de uma cirurgia de redução e fixação de fraturas complexas de mandíbula, Wagner e colaboradores²⁵ simularam as fixações ósseas previamente em um biomodelo confeccionado com a

técnica da *3DP* e puderam concluir que os resultados obtidos foram otimizados pela utilização desse recurso.

Cunningham Jr., Madsen e Peterson¹⁰ obtiveram sucesso na utilização dos biomodelos no planejamento de cirurgias reconstrutivas da mandíbula para medir e modelar a placa de reconstrução e definir as dimensões do enxerto ósseo em pacientes submetidos a ressecções de tumores na região. Relataram ainda que conseguiram uma redução significativa no tempo cirúrgico. Os autores ainda ressaltam que a comunicação com os pacientes foi facilitada no intuito de definir o diagnóstico e o plano de tratamento e que eles tiveram um maior nível de compreensão do tratamento proposto.

Na Implantodontia, Freitas e colaboradores²⁶ aplicaram essa tecnologia em planejamentos reversos de reabilitações orais à custa de fixações zigomáticas em maxilas atroficas. Dessa forma, os autores puderam concluir que obtiveram bons resultados e que indicam os biomodelos de PR no planejamento cirúrgico desses casos.

Amaral, Barreto e Carvalho¹² demonstraram bons resultados estéticos e funcionais ao utilizarem um protótipo para a confecção de um guia cirúrgico em região anterior de maxila, para posterior instalação de implantes. Esse guia serviu para medir e direcionar os implantes, sendo sua utilização de extrema importância no tratamento.

No planejamento de distrações osteogênicas em um paciente portador de deformidade dento-facial, Robiony e colaboradores¹⁶ utilizaram um biomodelo de PR, confeccionado pela técnica da *SLA*, com resultado pós-operatório satisfatório. O protótipo foi útil na simulação da osteotomia e na conformação do distrator. Os autores ainda ressaltam a importância da interação das especialidades cirúrgicas com a Imaginologia e a Engenharia.

Meurer e colaboradores²⁷ relataram que, devido ao desenvolvimento tecnológico das técnicas de PR e de diagnóstico por imagem, o processo de fabricação dos modelos biomédicos vem evoluindo. Contudo, por ser um processo de alto nível de complexidade, deve-se estar muito atento, desde a aquisição de imagens computadorizadas, como também na manipulação das imagens pelos *softwares* específicos. Os autores concluíram, entre outras coisas, que os biomodelos no Brasil ainda têm seu uso restrito, devido às despesas envolvidas na produção de protótipos e por uma quantidade reduzida de equipamentos disponíveis.

A experiência obtida com a utilização dos protótipos confeccionados pela técnica da *3DP* no serviço de CTBMF do Hospital Santo Antônio (UFBA) e em hospitais privados de Salvador (BA) ratifica os autores supracitados, na medida em que os biomodelos de PR foram de grande auxílio no planejamento e execução de procedimentos cirúrgicos diversos, realizados pelos Cirurgiões Bucomaxilofaciais Dr. Roberto Azevedo, Dr. Weber Cavalcante, Dr. Lucio Safira, Dr. Rodrigo Bomfim e

Dr Delano Souza, como é exemplificado nas Figuras 3 a 6, a seguir.

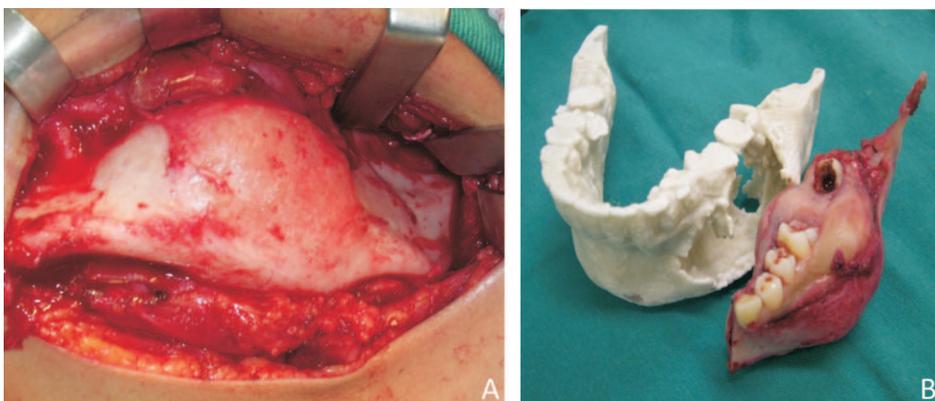


Figura 3, A e B - Mixoma odontogênico de mandíbula e comparação da peça cirúrgica com o seu respectivo biomodelo.

Nota: Cirurgia realizada pelos Drs. Weber Cavalcante, Lucio Safira e Delano Souza.

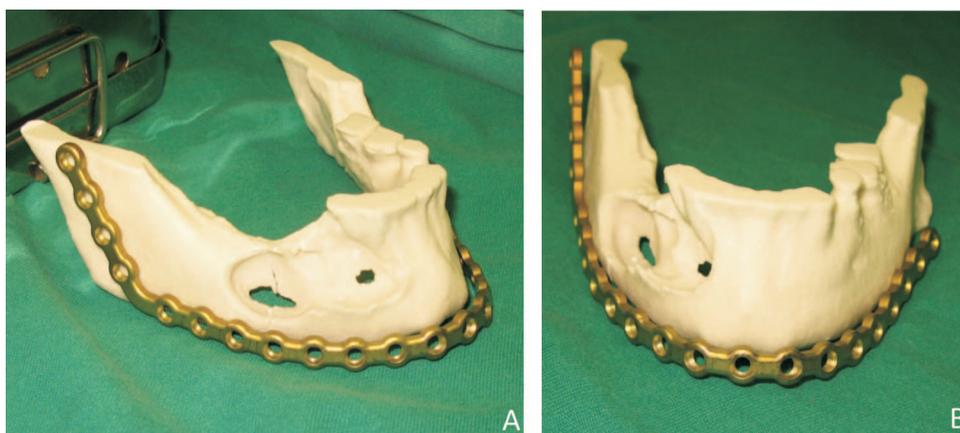


Figura 4, A e B - Conformação prévia de placa de reconstrução a partir de biomodelo que reproduz extenso ameloblastoma de mandíbula com rompimento de corticais.

Nota: planejamento realizado pela equipe de Cirurgia Bucomaxilofacial da Residência do Hospital Santo Antônio - OSID.



Figura 5 - Vista inferior de biomodelo reproduzindo mixoma de mandíbula.

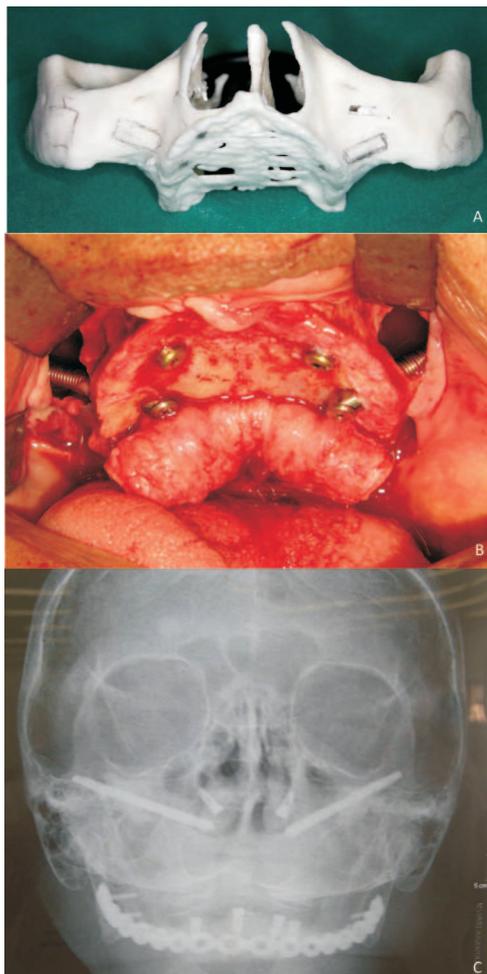


Figura 6 - A - Protótipo de maxila e terço médio de face utilizado no planejamento de fixações zigomáticas; **B** – Implantes zigomáticos instalados conforme protótipo; **C** – Controle radiográfico pós-operatório.

Nota: Cirurgia realizada pelos Drs. Roberto Azevedo, Lucio Safira e Rodrigo Bomfim

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As vantagens obtidas pela utilização dos biomodelos de PR se constituem num grande avanço na Odontologia, já que permite a redução do tempo cirúrgico, bem como a diminuição da dose anestésica, facilita a comunicação do profissional com o paciente e sua família, permite a conformação prévia de biomateriais e órteses e, acima de tudo, permite a obtenção de resultados funcionais e estéticos mais significativos.

REFERÊNCIAS

- 1 GORNI, A.A. **Introdução à prototipagem rápida e seus processos.** Disponível em: <http://www.gorni.hpg.ig.com.br/protrap.htm>. Acesso em: 15 out. 2007.
- 2 WINDER, J.; BIBB, R. Medical rapid prototyping technologies : state of the art and current limitations for application in oral and maxillofacial surgery. **J. Oral Maxillofac. Surg.**, Philadelphia, v.63, p.1006-1015, 2005.
- 3 JARDINI, A.L.M. et al. Improvement of the spatial resolution of prototypes using infrared laser stereolithography on thermosensitive resins. **J. Mater. Process. Technol.**, Amsterdam, v.172, p.104-109, 2006.
- 4 BESANT, C.B. **CAD/CAM: projeto e fabricação com auxílio de computador.** Rio de Janeiro: Campus, 1985.
- 5 SUGAR, A. et al. The development of a collaborative medical modeling service: organizational and technical considerations. **Br. J. Oral Maxillofac. Surg.**, Edinburgh, v.42, p.323-330, 2004.
- 6 ROSA, E.L.S.; OLESKOVICZ, C.F.; ARAGÃO, B.N. Rapid prototyping in maxillofacial surgery and traumatology: case report. **Braz. Dent. J.**, Ribeirão Preto, v.15, n.2, p.243-247, 2004.
- 7 MEURER, E. **As tecnologias CAD/CAM em cirurgia e traumatologia bucomaxilofacial.** 2002. Tese (Doutorado em Odontologia)– Faculdade de Odontologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- 8 MAZZONETTO, R. et al. Uso de biomodelos estereolitográficos em cirurgia bucomaxilofacial. **R. Assoc. Paul. Cir. Dent.**, São Paulo, v.56, n.2, mar./abr. 2002.
- 9 MEURER, E. et al. Os biomodelos de prototipagem rápida em cirurgia e traumatologia bucomaxilofacial. **RBC: R. Bras. Cir. Periodontia**, Curitiba, v.1, n.3, p.172-180, 2003
- 10 CUNNINGHAM JR, I.I.; MADSEN, M.J.; PETERSON, G. Stereolithographic modeling technology applied to tumor resection. **J. Oral Maxillofac. Surg.**, Philadelphia, v.63, p.873-879, 2005.
- 11 CHOI, J.Y. et al. Analysis of errors in medical rapid prototyping models. **Int. J. Oral Maxillofac. Surg.**, Copenhagen, v.31, n.1, p.23-32, Feb. 2002.
- 12 AMARAL, J.M.B.L. do; BARRETO, M.A.; CARVALHO, R.S. de. Recursos tecnológicos aplicados à implantodontia atual. In: DIB, L.L. (Org.) **Atualização clínica em Odontologia.** São Paulo: Artes Médicas, 2006. p.731-744.
- 13 PETZOLD, R.; ZEILHOFER, H.F.; KALENDER, W.A. Rapid prototyping in Medicine: basics and applications. **Comput. Med. Imaging Graph.**, Tarrytown, v.23, n.5, p.277-284, Sept./Oct. 1999.
- 14 CENTRO DE PESQUISA PROFESSOR RENATO ARSCHER. **Protocolo para aquisição de imagens médicas.** Disponível em: <www.cenpra.gov.br> Acesso em: 8 dez. 2007.
- 15 SEITZ, H. et al. Rapid prototyping models for surgical planning with hard and soft tissue representation. **Int. Congress Ser.**, Amsterdam, v.1268, p.567-572, 2004.
- 16 ROBIONY, M. et al. Virtual reality surgical planning for maxillofacial distraction osteogenesis: the role of reverse engineering rapid prototyping and cooperative work. **J. Oral Maxillofac. Surg.**, Philadelphia, v.65, p.1198-1208, 2007.
- 17 FOGGIATTO, J.A. O uso da prototipagem rápida na área médico-odontológica. **Tecnol. Humanismo**, Curitiba, v.20, n.30, p.60-68, 2006.
- 18 SOUZA, M.A.; CENTENO, T.M.; PEDRINI, H. Integrando reconstrução 3D de imagens tomográficas e prototipagem rápida para a fabricação de modelos médicos. **R. Bras. Eng. Bioméd.**, Rio de Janeiro, v.19, n.2, p.103-115, 2003.
- 19 PINHEIRO, S.S. **Avaliação da fidelidade de protótipos de mandíbulas secas humanas obtidos pelo sistema de 3DP™ a partir de imagens captadas por meio de tomografia computadorizada de feixe cônico.** 2007. Dissertação (Mestrado em Odontologia) - Faculdade de Odontologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007
- 20 SANGHERA, B. et al. Preliminary study of rapid prototype medical models. **Rapid Prototyping J.**, Birmingham, AL, v.7, n.5, p.275-284, 2001.
- 21 PAPADOPOULOS, M.A. et al. Three-dimensional craniofacial reconstruction imaging. **Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.**, St. Louis, v.93, p.382-393, 2002.

- 22 KITAI, N.; YASUDA, Y.; TAKADA, K. A stent fabricated on a selectively colored stereolithographic model for placement of orthodontic mini-implants. **Int. J. Adult Orthodon. Orthognath. Surg.**, Chicago, v.17, n.4, p.264-266, 2002.
- 23 GIROD, S. et al. Computer-aided 3-D simulation and prediction of craniofacial surgery: a new approach. **J. Craniomaxillofac. Surg.**, Edinburgh, v.29, p.156-158, 2001.
- 24 D'URSO, P.S. et al. Stereolithographic biomodelling in cranio-maxillofacial surgery: a prospective trial. **J. Craniomaxillofac. Surg.**, Edinburgh, v.27, p.30-37, 1999.
- 25 WAGNER, J.D. et al. Rapid 3-dimensional prototyping for surgical repair of maxillofacial fractures: a technical note. **J. Oral Maxillofac. Surg.**, Philadelphia, v.62, p.898-890, 2004.
- 26 FREITAS, A.C. et al. Prototipagem aplicada ao planejamento reverso das fixações zigomáticas. **ImplantNews**, São Paulo, v.2, n.2, p.153-160, 2005.
- 27 MEURER, E. et al. A critical review on acquisition and manipulation of CT images of the maxillofacial area for rapid prototyping. In: BARTOLO, P.J. da S. (Ed.). **Virtual modeling and rapid manufacturing: advanced research in virtual and rapid prototyping**. London: Taylor & Francis; A.A.Balkema, 2005. p.167-174.