

## Prototipagem aplicada ao planejamento reverso das fixações zigomáticas

*Bio-modelling applied to the reverse planning of zygomatic fixtures*

André Carlos de Freitas\*  
Robson Gonçalves de Mendonça\*\*  
Sérgio Wendell\*\*\*  
Luís Rogério Duarte\*\*\*\*

### RESUMO

A prototipagem rápida tornou-se um importante exame auxiliar para o diagnóstico e tratamento, com fixações zigomáticas (FZ), de maxilas severamente reabsorvidas. Nestas situações, a necessidade de construção de um planejamento fidedigno que minimize variáveis cirúrgicas e protéticas é determinante para o sucesso clínico. Portanto, a utilização de biomodelos no planejamento reverso das FZs tem-se tornado uma rotina, pois reduz o custo global do tratamento, possibilita simulações cirúrgicas prévias, elimina erros potenciais e conduz a resultados mais previsíveis. Assim sendo, a partir de uma revista da literatura e da apresentação de casos clínicos, este artigo se propõe apresentar a prototipagem rápida como recurso auxiliar no planejamento reverso das FZs.

**Unitermos** - Prototipagem rápida; Protótipo 3D; Estereolitografia; Fixação zigomática.

### ABSTRACT

Rapid bio-modelling has become an important auxiliary test in the diagnosis and treatment of severely resorbed maxillae with zygomatic fixtures (ZF). In these situations, dependable planning which minimises both surgical and prosthetic variables is a determining factor for clinical success. For this reason, the use of bio-models in the reverse planning of ZFs has become routine, since they reduce the overall cost of the treatment, allow for pre-operative surgical simulations, eliminate potential errors and make the results more predictable. That being the case, this study proposes to present rapid bio-modelling as an auxiliary resource in the reverse planning of ZFs, based on a review of the literature and a presentation of case reports.

**Key Words** - Rapid prototyping; 3D prototype; Stereolithography; Zygomatic fixture.

Recebido em: jan/2005  
Aprovado em: mar/2005

\* Doutor em CTBMF; Coordenador do curso de Especialização em Implantodontia da FOUFBA; Professor adjunto da Faculdade de Odontologia da UFBA.

\*\* Especialista em Implantodontia; Mestre em Odontologia UFBA; Professor do curso de Especialização em Implantodontia da FOUFBA; Professor em CTBMF da UEFS - BA e da Unime - BA.

\*\*\* Especialista em Implantodontia; Mestre em Odontologia UFBA; Professor do curso de Implantodontia da FOUFBA.

\*\*\*\* Especialista em Implantodontia; Mestre em Implantologia USC - Bauru; Professor do curso de Especialização em Implantodontia da FOUFBA.

## Introdução

A utilização do conceito de planejamento reverso na Odontologia contemporânea ampliou a aplicação dos exames imaginológicos no diagnóstico e tratamento cirúrgico de diversas deformidades bucodentofaciais. Neste contexto, a prototipagem rápida tem-se constituído em um recurso de grande importância para o planejamento cirúrgico-protético de situações de alta complexidade, como às vivenciadas na cirurgia bucomaxilofacial e na Implantodontia contemporânea.

Na Implantodontia, a necessidade de prever resultados diante de situações críticas tornou-se uma rotina desafiadora, especialmente, quando a condição clínica e radiográfica do paciente conduz ao diagnóstico de edentulismo total seguido de atrofia severa da maxila. Nesta situação, o remanescente ósseo apresenta-se inadequado para a instalação de implantes osseointegrados ou, simplesmente, não existe.

Para a resolução destes casos, a utilização de fixações zigomáticas tem-se mostrado uma excelente alternativa de tratamento<sup>1,8,13</sup>. No entanto, o grau de dificuldade técnica existente na execução desta alternativa terapêutica requer do implantodontista a minimização das variáveis cirúrgico-protéticas, por meio de um planejamento reverso fidedigno. Portanto, o estudo diagnóstico com o uso dos biomodelos pode ser recomendado, pois reduz o custo global do tratamento, elimina erros clínicos potenciais e conduz a melhores resultados<sup>3,21,24</sup>.

Em suma, a partir de uma revista da literatura e da apresentação de casos clínicos, este artigo se propõe a apresentar a prototipagem e demonstrar sua aplicabilidade no planejamento reverso das fixações zigomáticas (FZ).

### Prototipagem: definição e sistemas

A prototipagem rápida é uma tecnologia que possibilita a produção de modelos e protótipos a partir de um sistema CAD (computer-aided design)<sup>10,20</sup>. Ou seja, permite a duplicação morfológica de estruturas anatômicas em escala real de 1:1, obtidas por meio de exames como tomografia computadorizada (TC), ressonância magnética e ultra-sonografia produzindo os chamados biomodelos<sup>10</sup>.

Os biomodelos obtidos por esta tecnologia permitem uma visualização tridimensional das estruturas anatômicas complexas da face e cavidade bucal, facilitando o planejamento pré-operatório e otimizando o tempo de tratamento cirúrgico. No caso específico das fixações zigomáticas, possibilita o estudo apurado do grau de atrofia óssea, do remanescente alveolar e do potencial de ancoragem do osso zigomático<sup>3, 22</sup>.

Os sistemas de prototipagem rápida surgiram em 1987 com o processo de estereolitografia (Stereolithography-SL) da empresa americana 3D systems que, inicialmente, tiveram o seu emprego restrito à área industrial com o objetivo

de melhorar a qualidade dos produtos. Somente nos meados de 1990 iniciou-se, na Bélgica, o desenvolvimento dos protótipos médicos que posteriormente estenderam-se à prática odontológica<sup>1,4,6,7,21</sup>.

Por se tratar de uma tecnologia relativamente nova ainda não existe um consenso sobre a nomenclatura ideal. Os nomes comumente utilizados são: fabricação por camadas (layer manufacturing), impressão tridimensional (tridimensional printing), fabricação de formas livres (solid freeform fabrication) e prototipagem rápida (rapid prototyping)<sup>20</sup>. A terminologia mais aceita é a prototipagem rápida, pois a primeira aplicação desta tecnologia foi para a fabricação de protótipos<sup>11</sup>.

Existem diversos sistemas para a confecção de biomodelos. Os mais utilizados dispõem-se no quadro a abaixo:

Líquido	Steriolitografia (SLA)	
Sólidos	Modelagem por deposição de Material Fundido (FDM)	
Pós	Sinterização Seletiva a Laser (SLS)	Impressão Tridimensional (3D Printer)

Cada sistema apresenta peculiaridades próprias relativas à forma de construção do biomodelo, variando desde o tipo de luz utilizada (SLA-laser ultravioleta<sup>6,15,16,20</sup>; SLS-laser de CO<sub>2</sub>) até o mecanismo de fabricação por camadas (FDM-extrusão e endurecimento de material termoplástico aquecido<sup>1,4,6,17,18</sup>; 3D Printer- camadas de material em pó, onde um rolo distribui e comprime o pó na mesa da câmara de fabricação<sup>6,7</sup>). A SLA é a tecnologia de prototipagem rápida mais utilizada no momento, devido à maior exatidão e melhor acabamento superficial dos biomodelos<sup>6,11,12</sup>.

### Etapas do processo de prototipagem

O processo de prototipagem biomédica compreende algumas fases que são interligadas e interdependentes, que estão representadas no esquema a seguir:



• **Fase 1 - Seleção do paciente**

A seleção do paciente é uma das etapas mais importantes deste processo, sendo essencial considerar a relação custo-benefício<sup>20,23</sup>. A opção pela confecção de biomodelos, em detrimento de técnicas menos dispendiosas, deve ser reservada apenas às situações em que exista real benefício ao paciente<sup>16,19</sup>. Tal como nas reabilitações de maxilas severamente reabsorvidas que serão tratadas com enxertos ósseos de grande extensão ou serão submetidas a implantação de FZs (Figura 1).



Figura 1  
Paciente selecionado para confecção de TC e prototipagem.

• **Fase 2 - Aquisição das imagens**

A aquisição das imagens para prototipagem rápida é realizada por meio de tomografia computadorizada (TC). A TC é uma técnica radiográfica que incorpora os princípios de digitalização direta de imagem; ou seja, são imagens eletrônicas obtidas por meio de radiografias seccionais de uma determinada parte do corpo, geralmente numa orientação axial<sup>24,27</sup> (Figura 2). Na aquisição das imagens para a biomodelagem da região bucomaxilofacial a TC tradicional praticamente não sofre alterações. Entretanto, cuidados como evitar inclinação do gantry, posicionamento adequado do paciente para

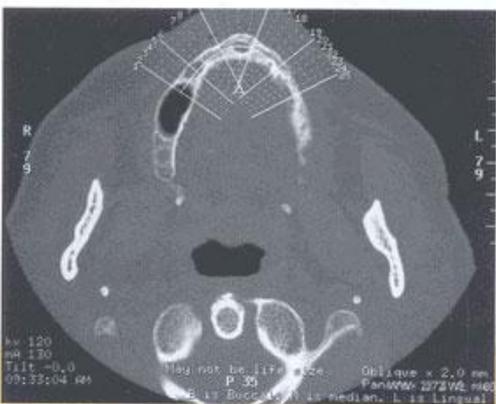


Figura 2  
Tomografia Computadorizada - Corte axial.

reduzir artefatos e atenção aos princípios de radiobiologia são necessários<sup>6,7,11,20</sup>.

• **Fase 3 - Transferência das imagens**

Depois da aquisição, as imagens podem ser analisadas num terminal de vídeo, transmitidas através de e-mail, via FTP (File Transfer Protocol) ou gravados em CDs<sup>5,17</sup>. Vale ressaltar que o tamanho dos arquivos Dicom em torno de 520 Kb, por corte, pode ser um problema para o envio das imagens via e-mail (Figura 3).

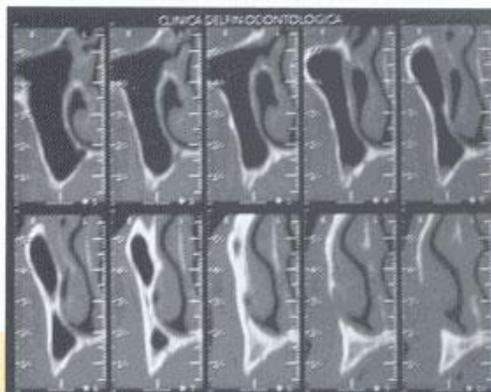


Figura 3  
Arquivos Dicom - Cortes coronais da TC do paciente.

• **Fase 4 - Manipulação das imagens**

Para esta etapa do processo são necessários softwares biomédicos específicos. Os principais são o Analyse (Mayo Foundation, EUA), Mimics (Materialise, Bélgica), Biobuid (Anatômics, Austrália) e o nacional ProMed, desenvolvido pela Cen PRA<sup>14,15,16,17</sup>.

Estes softwares apresentam funções básicas para o processamento e conversão dos arquivos em imagens. Eles se fazem necessários, pois os arquivos de imagens gerados nos aparelhos de TC representam cortes 2D e são salvos no formato Dicom. Porém, para a construção de um biomodelo, a estação de prototipagem necessita de arquivos 3D, preferencialmente no formato STL, que é o formato padrão para prototipagem<sup>1,11,12,16</sup> (Figura 4).



Figura 4  
Arquivos 3D - Aspecto digital do biomodelo.

▪ Fase 5 - Confeção dos biomodelos

Atualmente existem empresas que trabalham apenas com confecção de modelos biomédicos, permitindo a utilização de materiais adequados para tal finalidade. Duas tecnologias são utilizadas para a criação destes biomodelos, tendo como resultado modelos BioFast e BioVisium<sup>17</sup>. Embora a SLA seja o processo mais empregado (Figura 5), na SLS a utilização de um revestimento tipo verniz, reduz a porosidade possibilitando o manuseio do modelo durante a cirurgia. Nos biomodelos SLS, a translucidez da resina facilita a visualização de estruturas internas, como os seios paranasais. Porém, dificulta a avaliação de detalhes superficiais.

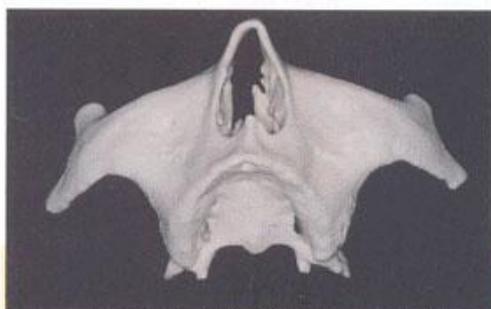


Figura 5  
Biomodelo obtido a partir do modelo 3D.

Com relação ao tempo necessário para a confecção do biomodelo, estima-se em torno de uma semana entre todo o ciclo para a obtenção do biomodelo e planejamento cirúrgico<sup>18</sup>. No entanto, para regiões mais distantes do centro de fabricação deve-se considerar a necessidade de um tempo maior<sup>20</sup>, de duas a quatro semanas, contando com o transporte via correio.

### Aplicação no planejamento das FZs

A prototipagem biomédica tem exercido significativo impacto no planejamento e realização do tratamento da atrofia maxilar severa por meio de FZs. Pois, a utilização de biomodelos no planejamento pré-operatório destes casos tem possibilitado maior precisão e redução do tempo cirúrgico (Figuras 6 e 7).

A cirurgia de instalação das FZs exige alta precisão técnica, sendo que um dos aspectos mais importantes do ato cirúrgico encontra-se no direcionamento de perfuração das fresas. Este deve ser firme, constante e balizado por referências confiáveis. Segundo Uchida et al<sup>21</sup>, a inclinação de instalação das FZs, da maxila para o osso zigoma, deve ser de aproximadamente 43,8° para evitar perfurações indesejadas da maxila, do zigoma ou da fossa infratemporal. Entretanto, a utilização apenas de referências clínicas não



Figura 6  
Confeção e estudo do acesso ao seio maxilar.



Figura 7  
Demarcação dos pontos ideais de acesso para as fixações zigomáticas no palato.



Figura 8  
Análise do ponto de saída das fixações no osso malar.

garante uma avaliação segura, devido as variações individuais, em casos de pacientes de baixa estatura que tendem a apresentar a espessura média do zigoma reduzida<sup>22</sup>, tornando-se uma variável crítica para o sucesso da osseointegração das FZs (Figura 8). Dito isto, entende-se a relevância do auxílio prestado pelos exames tomográficos e o pelos biomodelos no direcionamento destes implantes.

Outro aspecto importante, da simulação prévia de FZs em biomodelos, está na mensuração pré-operatória do comprimento das fixações que serão necessárias para o suporte logístico do ato cirúrgico (Figura 9). Posto que, as FZs apresentam custo elevado e dificuldades, por parte do fabricante, de disponibilização de estoque para consignação deste produto. Devido a significância deste aspecto, Nkenke et al<sup>22</sup> estudaram 30 pacientes (15 homens

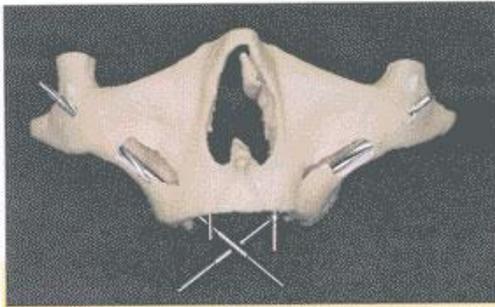


Figura 9  
Fresagem do biomodelo para avaliação do tamanho e posicionamento das fixações.

e 15 mulheres) buscando determinar, dentre outros aspectos, o comprimento dos implantes zigomáticos dentro do zigoma.

O uso dos biomodelos permite a construção de guias cirúrgicos personalizados que auxiliam na evidência de discrepâncias maxilomandibulares e orientam o melhor posicionamento tridimensional das FZs<sup>5,6,25,26</sup>. Esta análise do posicionamento tridimensional torna-se confiável, quando os biomodelos são adequadamente montados em articulador semi-ajustável (ASA) e o guia cirúrgico é estabilizado a partir de referências anatômicas e oclusais. De acordo com alguns autores<sup>25</sup>, a utilização de guias cirúrgicos para



Figura 10  
Guia cirúrgico personalizado.



Figura 11  
Implantes instalados de acordo com planejamento em protótipo.

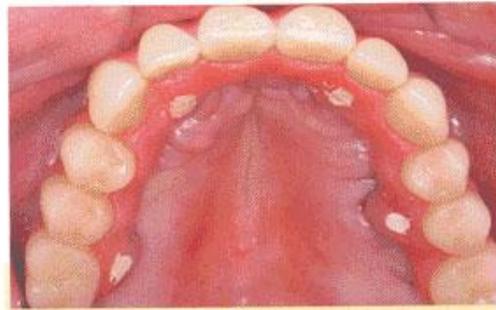


Figura 12  
Prótese instalada - Vista oclusal.



Figura 12a  
Prótese instalada - Vista frontal.

a instalação de FZs deve ser estimulada, apesar de pequenas variações de direcionamento serem observadas entre o planejamento e o ato cirúrgico<sup>26</sup>.

A montagem de biomodelos em ASA e a construção de guias cirúrgicos individualizados visando a instalação de FZs significa muito mais do que a simples sofisticação do planejamento (Figuras 14, 15 e 16). Trata-se de um recurso



Figura 13  
Radiografia de controle pós-operatório.

tecnológico de alta precisão<sup>41,42</sup> que padroniza a linguagem e o pensamento de toda a equipe profissional, otimizando resultados e minimizando erros. Este procedimento deve ter indicação absoluta nos casos de reabilitação de maxila atrófica com quatro fixações zigomáticas (Figuras 17, 18, 19, 20 e 21).

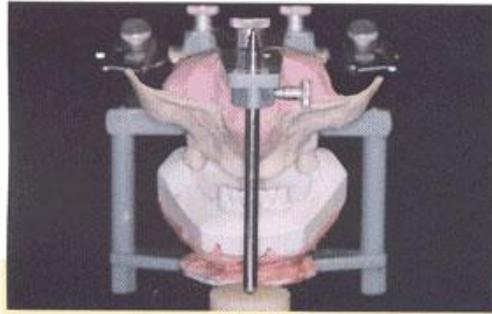


Figura 14  
Montagem do biomodelo em ASA.



Figura 18  
Réplicas das FZs instaladas no biomodelo.

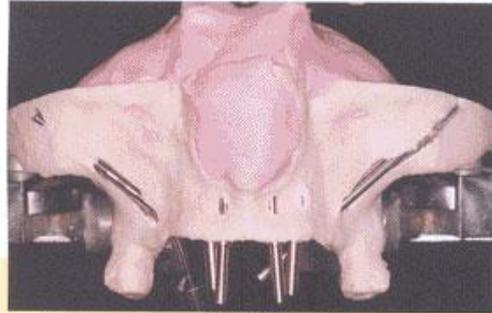


Figura 15  
Planejamento cirúrgico das fixações em maxila utérica.

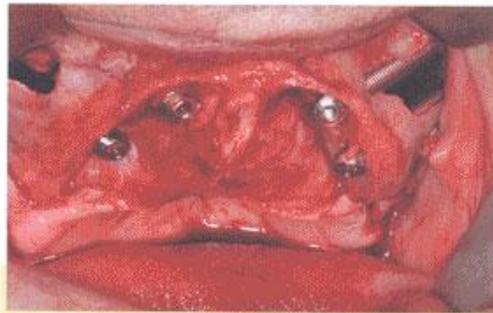


Figura 19  
FZs instaladas na cirurgia.

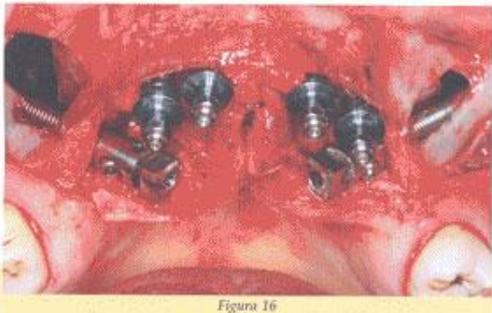


Figura 16  
Fixações instaladas.

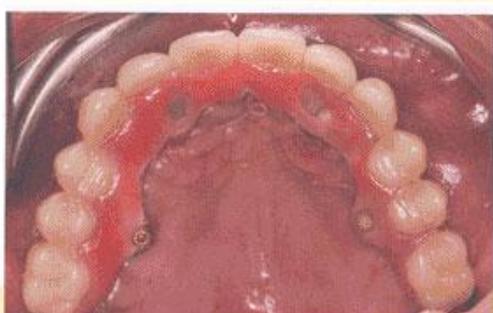


Figura 20  
Prótese fixa sobre FZs, instalada em 48 horas.



Figura 17  
Sondagem e simulação do biomodelo para a técnica das quatro FZs em sistema de carga imediata estabelecida por Duarte et al. (2004).

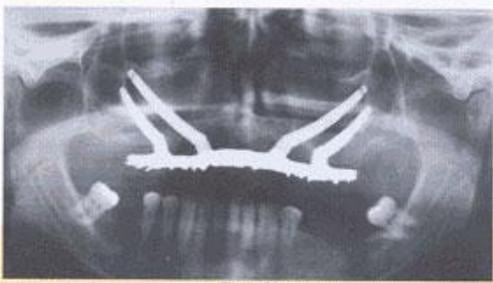


Figura 21  
Raios-X panorâmico do pós-operatório imediato mostrando a execução do tratamento planejado no biomodelo.

Em suma, a prototipagem rápida pode ser indicada no tratamento com FZs para: planejamento pré-operatório<sup>7,18</sup>, exercício cirúrgico para simulação de tratamento<sup>19,24</sup>, confecção prévia de guia ou goteiras cirúrgicas<sup>6,7,10</sup>, bem como recurso didático para treinamento de estudantes e profissionais que desejam se iniciar nesta técnica<sup>20</sup>.

### Vantagens e desvantagens do uso da prototipagem

A aplicação da prototipagem rápida na cirurgia das FZs adiciona vantagens ao tratamento, tais como: aumento da previsibilidade e a redução de 30% do tempo cirúrgico<sup>16</sup>, redução do período de anestesia e o risco de infecção, melhora no resultado e diminuição do custo global do tratamento<sup>20,21,24</sup>.

Para a produção dos biomodelos faz-se necessário o processamento de um grande volume de dados com uso intensivo da informática<sup>11,10</sup>. Isto gera alto custo operacional e a existência de poucos centros especializados na fabricação dos biomodelos. O que limita sua aplicação em procedimentos rotineiros de menor complexidade<sup>6</sup>.

Entretanto, a magnitude do tratamento reabilitador da maxila atrófica por meio da implantação de fixações zigomáticas atinge dimensões terapêuticas e financeiras tais, que tornam o custo operacional do exame de prototipagem pouco significativo. As maiores desvantagens para as cirurgias das FZs, não encontram-se no custo, mas na ausência de correlação positiva entre biomodelos e estruturas anatômicas de revestimento, tais como tonicidade muscular, espessura de mucosas, abertura de boca e capacidade elástica de comissura labial.

A presença destas variáveis anatômicas gera dificul-

dades transcirúrgicas de respeito absoluto ao posicionamento tridimensional das FZs, pré-determinadas nos biomodelos. Porém, esta limitação não invalida a aplicação deste recurso, pois as variações são pequenas e, perfeitamente, controláveis. Haja vista, Vrielinck et al<sup>25</sup> afirmar que a utilização de um ponto clínico padrão possibilita uma localização adequada destes implantes e Hirsch et al<sup>13</sup> relatar que em 124 FZs instaladas, obteve taxas de sucesso de 97,9%, e grau de satisfação dos pacientes tratados de 80%.

### Conclusões

O avanço tecnológico ocorrido nos últimos anos trouxe significativas modificações à rotina de trabalho de várias áreas, especialmente nas ciências médicas. Na Odontologia, uma das mudanças mais relevantes encontra-se na utilização dos biomodelos obtidos por prototipagem rápida. Estes biomodelos apresentam amplas indicações de uso.

Na Implantodontia, tem-se mostrado especialmente útil para o diagnóstico, planejamento e simulação cirúrgica das FZs, pois, promove a unificação da linguagem entre paciente e profissional, facilitando a compreensão real do procedimento a ser realizado. Assim como permite treinamento prévio da equipe cirúrgica, minimizando erros e otimizando resultados.

#### Endereço para correspondência:

André Carlos de Freitas  
Faculdade de Odontologia - Pós-graduação e Extensão em Implantodontia  
Av. Araújo Pinho, 62 - 10º andar  
Salvador - BA  
Tel.: (71) 3336-6885  
a.c.freitas@uol.com.br - www.grupogpi.com.br

#### Agradecimentos

Nossos especiais agradecimentos aos doutores Emerson Teixeira e Roberto Brandão pela condução protética dos casos clínicos citados neste artigo.

**Referências Bibliográficas**

1. Artus S. Prototipagem. In: [www.artis.com.br/prototipagem](http://www.artis.com.br/prototipagem). Acesso em 15/04/2004.
2. Bibb R, Brow R. The application of computer aided product development techniques in medical modeling topic: rehabilitation and prostheses Biomed Sci Instrum.2000;36:319-24.
3. Brånemark PI, Surgery and Fixture Installation, Zygomaticus Fixture Clinical Procedures (ed 1). Gotemburgo, Suécia, Nobel Biocare AB, 1998; 1
4. Carvalho.F.PrototipagemRápida.In:[www.geocites.com/sjuvella/PrototipagemRápida.html](http://www.geocites.com/sjuvella/PrototipagemRápida.html).Acesso em 04/1/2005.
5. Choi JY et al. Analysis of erros in medical rapid prototyping models. J. Oral Maxillofacial Surgery; 2000;31(1):23-32.
6. Chilverquer I et al. A estereolitografia na implantodontia avançada: conceitos, indicações e usos. Implant News; 2004,1(1):69-72.
7. Chilverquer I et al. A prototipagem na Odontologia do novo milênio. In: 4º Congresso Internacional de Osseointegração da APCD; 2004, cap. 17; 317-328.
8. Duarte LR et al. Reabilitação Total de Maxila Atrófica Utilizando 4 Fixações Zigomáticas em Sistema de Carga Imediata. Implant News. V.1, n.1, jan/fev; 2004: 45-50.
9. Duarte LR. et al. Fixações Zigomáticas: uma excelente alternativa cirúrgica para maxila severamente reabsorvida. Revisão de literatura e estado científico atual. Implant News. v. 1, n.6, nov/ dez, p. 477-485; 2004.
10. D'Urso et al. Stereolithographic(SL) biomodeling in craniofacial surgery. Br J Plastic Surg; 1998; 51(7): 23-32.
11. Fernalda AB. Integração Metrologia,CAD e CAM: Uma Contribuição ao Estudo da Engenharia Reversa. [Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica].Universidade de São Paulo-São Carlos;1999.
12. Gomide RB. Fabricação de componentes injetados em insetos produzidos por estereolitografia. [Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica].Universidade Federal de Santa Catarina; 2000.
13. Grellmann DA. Utilização das tecnologias de estereolitografia e microfusão para aplicações em prototipagem rápida e ferramental rápido. [Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica].Universidade Federal de Santa Catarina; 2001
14. Hirsch JM, Öhrnello LO, Henry PJ, Andreasson L, Brånemark PI, Chiapasco M, Gynther G, et al. A Clinical Evaluation of the Zygoma Fixture: One Year of Follow-up at 16 Clinics. J Oral Maxillofac Surg; 2004; 62: 22-29, Suppl 2.
15. Hoffmann I et al. Experiences in fabrication and using of stereolithography models on the field of mounth, jaw and face surgery. ICR-PM,1998;(56)4: 1-6.
16. <http://www.bioparts.com.br/prototipagem> Acesso em 10/04/2004
17. <http://www.phidias.org/Acesso> em 10/04/2004.
18. <http://www.surgicase.com/prototipagem>.Acesso em 10/04/2004.
19. James WJ et al. Correction of congenital malar hypoplasia using stereolithography for presurgical planning. J Oral Maxillofac Surg; 1998;56(4):512-7.
20. Mazzonetto R et al. Uso de modelos estereolitograficos em cirurgia buco-maxilo-facial. Rev. APCD, v.56(2), Mar/Abril; 2002.
21. Meurer E., Oliveira M.G., Meurer M.L., da Silva J.V.L., Bárbara S.A., Heitz C. Biomodelos de Prototipagem Rápida em CTBMF. Rev Bras Cir e Periodont; 2003;1(3):172-80.
22. Nkenke E, Hahn M, Lell M, Wiltfang J, Schultze-Mosgau S, Stech B, Radespiel-Tröger M, Neukam FW. Anatomic site evaluation of the zygomatic bone for dental implant placement. Clin Oral Impl. Res;2003; 14: 72-79.
23. Uchida Y, Goto M, Katsuki T, Akiyoshi, T. Measurement of the Maxilla and Zygoma as an Aid in Installing Zygomatic Implants. J Oral Maxillofac Surg; 2001; 59: 1193-1198.
24. Peckitt NS et al . The cost o treatment. Disponível em < [http:// www . maxfac . com/cost 1.htm](http://www.maxfac.com/cost1.htm)>. Acesso em 18/4/2004.
25. Salles PS et al. Esteriolitografia auxiliando o planejamento cirúrgico em deformidades orais. Revista Brasileira de Patologia Oral,out/dez; 2002; 1(1): 54-60.
26. Steenberghe DV, Malavez C, Cleynenbreugel JV, Serhal CB, Dhooere E, Schutyser F, Suetens P, Jacobs R. Accuracy of drilling guides for transfer from three-dimensional CT-based planning to placement of zygoma implants in human cadavers. Clin Oral Impl. Res; 2003; 14: 131-136.
27. Vrielink L, Politis C, Schpers S, Pauwels M, Naert I. Image-based planning and pterygoid implant placement in patients with severe bone atrophy using customized drill guides. Preliminary results from a prospective clinical follow-up study. Int J Oral Maxillofac Surg; 2003; 32: 7-14.