

O USO DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA NA ÁREA MÉDICO-ODONTOLÓGICA

José Aguiomar Foggiatto¹

Resumo: A Prototipagem Rápida (Rapid Prototyping) foi desenvolvida no final da década de 80 e tem demonstrado ser uma ferramenta muito poderosa no auxílio ao desenvolvimento de novos produtos. Esta tecnologia permite a obtenção de protótipos físicos diretamente de um modelo sólido feito em um sistema CAD 3D ou a partir da conversão de imagens obtidas da tomografia computadorizada. A sua utilização na área médico-odontológica tem sido bastante tímida e restrita a grandes centros. Desta forma, os planejamentos cirúrgicos continuam dependendo da experiência do profissional e de imagens bidimensionais, como as obtidas de equipamentos de tomografia computadorizada. O uso de protótipos, que reproduzem com boa precisão a anatomia da região que sofrerá a intervenção médica, permite melhorar bastante a visualização, facilitando o planejamento cirúrgico e diminuindo o tempo das cirurgias. Assim, a Prototipagem Rápida pode ajudar nas análises clínicas dos profissionais que trabalham com ortopedia, neurocirurgia, cirurgia e traumatologia bucomaxilofacial e ortognática, cirurgia craniomaxilofacial e plástica, implantodontia, oncologia, entre outras. Este trabalho tem por objetivo apresentar algumas aplicações da Prototipagem Rápida na área Médico-Odontológica e divulgar este serviço disponível na UTFPR entre os profissionais da Saúde.

Palavras-Chave: Prototipagem rápida, Tomografia computadorizada, Biomodelos, Implantologia.

Abstract: Rapid Prototyping Technology (RP) was developed in the end of the eighties and has demonstrated to be a powerful tool to new products development. This technology allows directly the construction of physical prototypes from a solid CAD 3D model or from images obtained from Computed Tomography (CT). Its use in the Medical/odontological area has been shy and restricted to large centers. Without this technology, surgical planning continues to depend on the professional experience and on the interpretation of bi-dimensional CT images. The prototypes obtained by RP

¹ Graduado em Engenharia Mecânica. Doutor em Engenharia Mecânica pela UFSC. Professor junto ao Departamento Acadêmico de Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. e-mail: foggiat@cefetpr.br

reproduces with good precision the anatomy of the region that will suffer the medical intervention. This allows to improve the visualization of procedure, facilitating the surgical planning and reducing the surgeries time. Thus, the Rapid Prototyping technology can help in their clinical analyses in the area of ortopedy, neurosurgery, bucomaxilofacial and Orthognathic surgery, traumatology, craniomaxilofacial and plastic surgery, oncology, among others. The objective of this work is to present some applications of the RP in the Medical/odontological area and to divulge this service available in the UTFPR for the Health Professionals.

Keywords: Rapid Prototyping, Computed Tomography, Biomodel, Implantology.

1. Introdução

A Prototipagem Rápida vem se consolidando no meio industrial como uma tecnologia imprescindível para agilizar o desenvolvimento de novos produtos. Sua utilização permite a detecção de erros nas fases iniciais do projeto evitando retrabalhos. Com isso é possível antecipar o lançamento do novo produto e ganhar em competitividade.

Infelizmente, no Brasil, essa tecnologia ainda é pouco utilizada em outras áreas, como a médico-odontológica. Isso acontece, principalmente, devido ao número limitado de empresas prestadoras de serviços de prototipagem, ao custo e muitas vezes devido ao desconhecimento desta tecnologia por parte dos profissionais da área. Num recente levantamento, foi verificado que apenas um hospital possuía uma máquina de Prototipagem Rápida em todo o território nacional, a Rede Sarah de Hospitais de Reabilitação, em Brasília. Este fato evidencia a limitada utilização da Prototipagem Rápida na área de saúde. Como resultado, grande parte da população fica sujeita a intervenções cirúrgicas com maiores riscos de erros médicos, devido a falta de informações mais precisas sobre a anatomia da região afetada.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, através do NUFER - Núcleo de Prototipagem e Ferramental, possui um equipamento de Prototipagem Rápida desde 1998 e tem prestado serviços predominantemente para o setor industrial. Visando atender também à área médica, algumas iniciativas estão sendo tomadas, no sentido de divulgar essa tecnologia. Atualmente, em Curitiba, alguns dentistas já estão incluindo nos seus planejamentos cirúrgicos a fabricação de biomodelos, e os resultados têm sido satisfatórios. Este trabalho pretende relacionar algumas aplicações na área médico-odontológica e contribuir para a difusão desta importante tecnologia entre os profissionais da saúde.

2. Tecnologias de Prototipagem Rápida

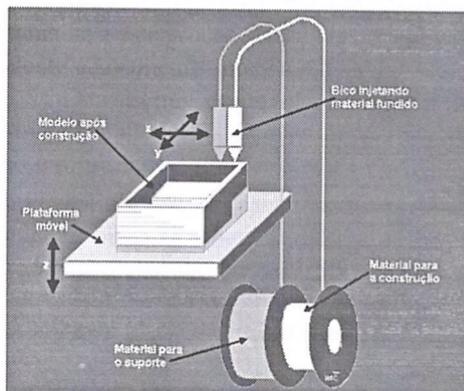
A Prototipagem Rápida é um processo aditivo construtivo, utilizado para obtenção de protótipos diretamente de um modelo tridimensional. As geometrias podem ser obtidas utilizando um programa de modelagem sólida (CAD) ou pela conversão de arquivos obtidos de scanners 3D ou de tomógrafos. Esta tecnologia surgiu no final dos anos 80 e, desde então, tem sido utilizada por diversas áreas de conhecimento. Dentre os inúmeros processos desenvolvidos, apenas alguns se consolidaram no mercado, como a Estereolitografia, Modelagem por Fusão e Deposição e Sinterização Seletiva a Laser:

Estereolitografia (SLA): Este sistema, criado pela 3D SYSTEMS em parceria com a CIBA, constrói o protótipo pela polimerização de uma resina líquida fotocurável por meio da incidência de luz ultravioleta gerada através de um raio laser. A solidificação é feita camada a camada, e este processo permite a obtenção de peças com boa transparência e excelente acabamento superficial.

Sinterização Seletiva a Laser (SLS): Este sistema, desenvolvido na Universidade do Texas (EUA), permite a construção de modelos físicos utilizando materiais na forma de pó, que é processado em um ambiente inerte e termicamente controlado no interior de uma câmara. Ele atinge a temperatura de fusão (sinterização) por ação de um laser de CO_2 . Depois que uma camada é sinterizada, uma nova é depositada e assim sucessivamente até finalizar a construção da peça. Este processo exige um trabalho de pós-processamento para melhorar o acabamento das superfícies, e a sua grande vantagem é a variedade de materiais que podem ser utilizados, incluindo os metais.

Modelagem por Fusão e Deposição (FDM): Este processo de prototipagem, desenvolvido pela Stratasys Inc., constrói as peças por deposição de um material termoplástico extrudado (Yan & Gu, 1996). A cabeça injetora traça os perímetros da seção transversal e os preenche construindo assim cada camada (Figura 1). Um dos materiais comumente utilizados é o ABS, um plástico de engenharia de boas propriedades mecânicas. Recentemente, foram lançadas máquinas que permitem a construção de peças em policarbonato e polifenilsulfona e possuem propriedades mecânicas e térmicas ainda melhores que o ABS. O processo FDM está disponível em Curitiba no NUFER - Núcleo de Prototipagem e Ferramental, localizado no Centro de Inovação Tecnológica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

FIGURA 1
Esquema simplificado do processo FDM.



Outros equipamentos também têm merecido destaque nos últimos anos, entre eles as impressoras 3D da Z-Corp, que usam uma tecnologia de impressão desenvolvida no MIT, que permitem a construção de protótipos a partir de um pó, que é aglomerado por uma resina através de um cabeçote igual a de uma impressora a jato de tinta. Entre as principais vantagens estão o baixo custo, a rapidez de construção e a possibilidade de gerar protótipos coloridos.

No desenvolvimento de novos produtos, a Prototipagem Rápida tem demonstrado ser uma importante ferramenta, pois permite a verificação da funcionalidade de componentes em montagens, avaliação de forma e função, avaliação da manufaturabilidade, disponibilização de pré-séries, redução no tempo de projeto, entre outras. Na área Médico-Odontológica esta tecnologia está sendo progressivamente introduzida como uma importante etapa, pois o uso de protótipos, que reproduzem com boa precisão a anatomia da região de interesse, permite melhorar bastante a visualização, facilitando o planejamento cirúrgico, diminuindo o tempo das cirurgias e minimizando a chance de erros.

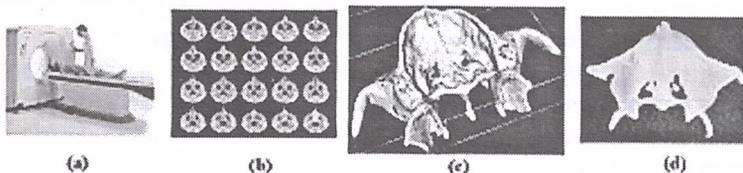
Em termos numéricos, até 2004, foram instaladas em todo o mundo 11166 máquinas de Prototipagem Rápida, sendo que os Estados Unidos possui 4578 dessas máquinas (Wohlers, 2004). Infelizmente, o Brasil possui apenas 45 máquinas, distribuídas em empresas e em instituições de ensino e pesquisa. Acredita-se que este número deva crescer bastante nos próximos anos, em função das inúmeras vantagens que o seu uso tem proporcionado aos usuários e a crescente necessidade de aumento de competitividade entre as empresas.

3. Conversão das Imagens Tomográficas para Modelos Tridimensionais

A aquisição de imagens a partir da tomografia computadorizada helicoidal fornece uma seqüência de seções transversais da região de interesse. Utilizando um programa de reconstrução 3D, é possível transformar essas imagens bidimensionais em um modelo tridimensional (Figura 2), que poderá ser utilizado na fabricação de um biomodelo em uma máquina de Prototipagem Rápida.

As imagens obtidas no tomógrafo geralmente utilizam a tecnologia digital que obedece as normas internacionais do padrão DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine). Elas são obtidas através de cortes axiais na região desejada e o equipamento deve estar ajustado para a menor espessura possível, pois quanto menor esse valor melhor será a qualidade do modelo.

FIGURA 2 – (a) Aquisição das imagens no tomógrafo; (b) Imagens 2D (DICOM); (c) Modelo 3D (STL); (d) Biomodelo prototipado em ABS.

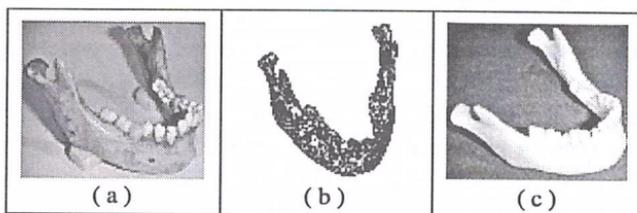


O programa de reconstrução 3D, que permite a geração do modelo tridimensional, depende de parâmetros de entrada como densidade média, contorno e opacidade. Depois de definida a região que será construída, o arquivo deve ser salvo no formato STL (stereolithography file). Este formato representa o sólido através de uma malha triangular e é o padrão utilizado pelas tecnologias de Prototipagem Rápida.

A imagens tridimensionais podem ser enviadas via Internet e utilizadas para facilitar a comunicação entre equipes multidisciplinares que possuem profissionais trabalhando em diferentes lugares. Sua manipulação é simples, e normalmente os programas oferecem ferramentas para rotação, translação e ampliação do biomodelo, além de ser possível a medição de comprimentos, áreas e volumes. É importante que o usuário da tecnologia de Prototipagem Rápida tenha domínio sobre estas ferramentas, pois assim ele terá a possibilidade de avaliar se a geometria gerada no computador corresponde ao que se deseja construir por Prototipagem Rápida. A definição exata da região de interesse pode resultar num biomodelo menor e conseqüentemente de menor custo.

Neste contexto, a UTFPR oferece cursos de Mestrado e Doutorado na área médica através de linhas de pesquisas em Informática Médica, Processamento Digital de Imagens, Tomografia Computadorizada, entre outras, no CPGEI - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial. Como exemplo, podem-se citar os trabalhos de Souza (2002) e Grandó (2005) que desenvolveram suas dissertações de mestrado utilizando como tema a reconstrução e a segmentação de imagens tomográficas. A Figura 3 ilustra o resultado obtido por Souza (2002) na reconstrução de uma mandíbula (Volpato, 2002).

FIGURA 3 – (a) Mandíbula seca; (b) Arquivo STL gerado a partir das imagens tomográficas; (c) Protótipo em ABS fabricado por Prototipagem Rápida na UTFPR.



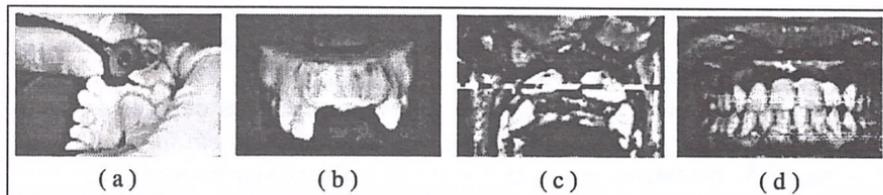
4. Aplicações na Área Odontológica

As recentes publicações científicas na área Médico-Odontológica têm relatado diversos casos de sucesso com a utilização da tecnologia da Prototipagem Rápida. O uso de biomodelos tem permitido diminuir o tempo das intervenções cirúrgicas trazendo mais conforto ao paciente e diminuindo a chance de erros para o cirurgião. Dentro da odontologia destacam-se as áreas de próteses, implantes, ortodontia e cirurgias como as principais beneficiárias do uso desta tecnologia.

A literatura apresenta diversos trabalhos enaltecendo os benefícios do uso de biomodelos prototipados. Da Rosa (2004) apresentou um caso de cirurgia ortognática combinada maxilomandibular. Com auxílio de um biomodelo, a cirurgia foi simulada, realizando-se as osteotomias desejadas e movendo o terço médio da face e a mandíbula para a posição desejada.

Em outro trabalho, Zandoná (2003) utiliza um biomodelo em ABS construído numa máquina de Prototipagem Rápida (FDM 2000 – UTFPR) para auxiliar o tratamento de um paciente que apresentava ausência dos elementos 22 e 21, e com o dente 11 com extração prevista. Na fase pré-cirúrgica in-vitro, realizada em ambiente estéril foi feita a ajustagem e a fresagem dos blocos ósseos adaptando-os sobre o biomodelo prototipado; e na fase cirúrgica in-vivo foram instalados os blocos na paciente, fixados por parafusos como na técnica convencional de enxerto em blocos (Figura 4).

FIGURA 4 – (a) Preparo dos blocos ósseos; (b) Ajuste no biomodelo; (c) Fixação no paciente; (d) Resultado Final.



O autor comenta que o ajuste do bloco ósseo foi significativamente facilitado pela ausência de sangue e tecidos moles, e pela possibilidade de manipulação do biomodelo com extrema liberdade, o que não é possível realizar no paciente na técnica clássica.

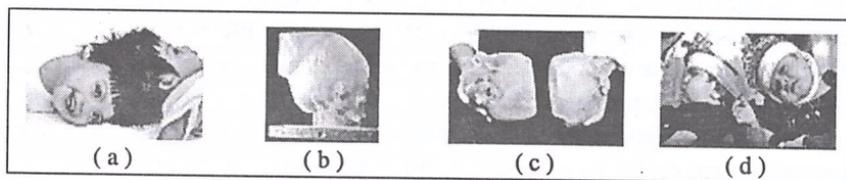
Choi et al. (2002) afirmam que a Prototipagem Rápida tem se constituído em um recurso de grande importância para o planejamento cirúrgico-protético de situações de alta complexidade, como às vivenciadas na implantodontia contemporânea. O estudo diagnóstico com o uso dos biomodelos pode ser recomendado, pois reduz o custo global do tratamento, elimina potenciais erros clínicos e conduz a melhores resultados.

5. Aplicações na Área Médica

A área médica também tem utilizado a Prototipagem Rápida no planejamento cirúrgico. O caso mais popular é a separação das gêmeas siamesas, conhecidas como “Pequenas Marias”, que nasceram na Guatemala, em 2001, unidas pelo crânio e com os rostos virados em direções opostas. A separação foi realizada na UCLA Medical Center, na Califórnia, após dois meses de preparação. A equipe médica utilizou no planejamento cirúrgico vários biomodelos em estereolitografia, entre eles, alguns que reproduziam os vasos sanguíneos das meninas. A Figura 5

ilustra as gêmeas antes e depois da cirurgia de separação, bem como a simulação realizada no biomodelo. A utilização dos biomodelos encurtou para 25% o tempo usualmente gasto em procedimentos semelhantes.

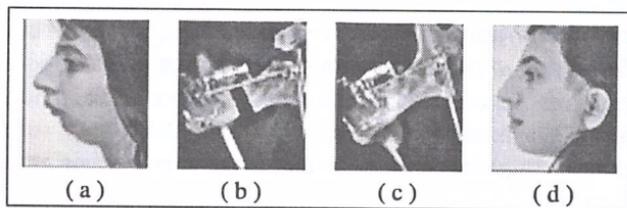
FIGURA 5 – (a) Gêmeas unidas pela cabeça; (b) Biomodelo em estereolitografia; (c) definição do plano de corte; (d) Gêmeas após separação.



Outra aplicação importante é no tratamento de anormalidades ósseas com efeitos estéticos e funcionais para o paciente. No caso do tratamento de deformidades faciais simples, Meurer (2002) afirma que os biomodelos não são tão úteis, pois as técnicas cirúrgicas padronizadas resultam em bons resultados. No entanto, nos casos onde os procedimentos cirúrgicos são complexos e personalizados, os biomodelos facilitam a cirurgia, melhoram os resultados, diminuem os riscos, as complicações e o tempo cirúrgico.

O uso da distração osteogênica para a correção dos defeitos ósseos e futura colocação de implantes intra-orais têm sido utilizado em implantodontia (Guerra, 2005). No caso mostrado na Figura 6, foi utilizado um biomodelo feito por estereolitografia no planejamento da distração osteogênica. O tempo de cirurgia foi de 2 horas e o resultado final foi considerado satisfatório.

FIGURA 6 – (a) Face com anormalidade; (b)Planejamento no biomodelo; (c) Biomodelo na configuração desejada; Face após intervenção.



Neste último caso é importante destacar o ganho que a paciente teve em termos funcionais e psicológicos. É inegável que, o aumento da sua qualidade de vida pós-cirurgia, justifica os custos decorrentes da aplicação de novas tecnologias.

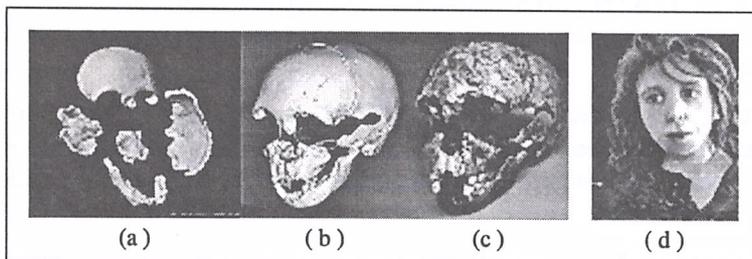
5. Outras Aplicações

É possível, também, a utilização da Prototipagem Rápida na área de arqueologia, como por exemplo, no estudo de múmias. No Brasil, um trabalho conjunto entre o Instituto Nacional de Tecnologia (INT), Centro de Pesquisas Renato Archer

(CENPRA), Museu Nacional e Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) permitiu a reprodução da face de uma mulher entre 25 e 30 anos, que viveu em Tebas 600 anos antes da era cristã.

Nesta mesma linha, pesquisadores da Universidade de Zurich reconstituíram o rosto de uma criança de Neanderthal, que teria vivido entre 30000 e 50000 anos atrás. A face foi gerada a partir de alguns fragmentos preservados de um crânio. Foram utilizadas técnicas de modelagem tridimensional, tomografia computadorizada e Prototipagem Rápida (Figura 7).

FIGURA 7 – (a) Representação dos fragmentos gerada a partir de tomografia; (b) Reconstrução digital do crânio; (c) Protótipo em estereolitografia pintado para se assemelhar com o original; (d) Face provável de uma criança de Neanderthal.



A área de criminalística pode também se beneficiar com a Prototipagem Rápida com a possibilidade da identificação de cadáveres a partir de ossadas encontradas muito tempo após a morte da vítima.

6. Considerações Finais

A aplicação da Prototipagem Rápida na área Médico-Odontológica deveria ser considerada como uma importante meta a ser alcançada pelos profissionais da área cirúrgica. A literatura é farta de exemplos de sucesso em procedimentos em que os pacientes permaneceram menos tempo sob intervenção cirúrgica e os médicos contaram com um grau de confiança maior devido as simulações e informações obtidas a partir dos biomodelos. Os custos adicionais decorrentes da utilização desta tecnologia são compensados pelo menor tempo cirúrgico, menor risco para o paciente e menor chance de erros médicos.

Este trabalho procurou mostrar por meio de alguns exemplos, como a Prototipagem Rápida pode auxiliar os profissionais da área Médico-Odontológica. Espera-se que em pouco tempo esta tecnologia faça parte dos planejamentos cirúrgicos como acontece hoje na Engenharia na área de desenvolvimento de novos produtos.

7. Bibliografia

CHOI, J.Y.; CHOI, J.H.; KIM, N.K.; KIM, Y.; LEE, J.K.; KIM, M.K.; LEE, J.H.; KIM, M.J.; “Analysis of errors in medical rapid prototyping models”, *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.*, v.31: p.23–32, 2002.

DA ROSA, E. L. S.; “Avanços tecnológicos em cirurgia ortognática”, *Revista de Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial*, v.4, s.1, 2004.

GRANDO, N.; **Segmentação de Imagens Tomográficas Visando a Construção de Modelos Médicos**, Dissertação - Mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2005.

GUERRA, F. L. B.; SOARES, M. M.; COSENZA, F.R.; “Distração Osteogênica em Região Posterior de Mandíbula”, *International Osseointegration Conference*, São Paulo, 2005.

MEURER, E.; **As Tecnologias CAD-CAM em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial**, Tese – (Doutorado em Odontologia) - Programa de Pós-Graduação em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial, Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2002.

SOUZA, M. A.; **Integrando Reconstrução 3D de Imagens Tomográficas e Prototipagem Rápida para fabricação de Modelos Médicos**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 2002.

VOLPATO, N.; FOGGIATTO, J. A.; ERTHAL, J. L.; “Prototipagem Rápida - A experiência do NuPES/CEFET-PR através de estudos de casos”. *PLASTSHOW 2002*, São Paulo, 2002.

WOHLERS, T.; “Rapid Prototyping & Tooling, state of the industry annual” **2004 Worldwide Progress Report**, Wohlers Associates, Inc., 2004.

YAN, X.; GU, P.; “A Review of Rapid Prototyping Technologies and Systems”. *Computer Aided Design*, v. 28, p. 307-318, 1996.

ZANDONÁ, M.; **Otimização de enxertos ósseos aposicionais com auxílio de imagens tomográficas computadorizadas e engenharia simultânea**, Monografia - Especialização em Implantodontia, Universidade Católica do Paraná, 2003.

8. Nota de responsabilidade

O autor é o único responsável pelo material impresso incluído neste artigo.