

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

V656a Viegas, Vinicius Nery

Avaliação das variações da transferência do planejamento virtual e sobre protótipos biomédicos para a instalação de implantes dentários pela técnica de cirurgia guiada. / Vinicius Nery Viegas. – Porto Alegre, 2008.
106 f. : il.

Tese (Doutorado em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial) – Faculdade de Odontologia, PUCRS.
Orientação: Prof^a. Dr^a. Marília Gerhardt de Oliveira.
Co-orientação: Prof. Dr. Rogério Miranda Pagnoncelli.

1. Odontologia. 2. Implantodontia. 3. Cirurgia Odontológica. 4. Imagem – Digitalização (Odontologia). 5. CAD-CAM. I. Oliveira, Marília Gerhardt de. II. Pagnoncelli, Rogério Miranda. III. Título.

CDU 617.69

Ficha elaborada pela bibliotecária Cíntia Borges Greff CRB 10/1437

VINICIUS NERY VIEGAS

**AVALIAÇÃO DAS VARIAÇÕES DA TRANSFERÊNCIA DO PLANEJAMENTO
VIRTUAL E SOBRE PROTÓTIPOS BIOMÉDICOS PARA A INSTALAÇÃO DE
IMPLANTES DENTÁRIOS PELA TÉCNICA DE CIRURGIA GUIADA**

Tese apresentada como parte dos requisitos obrigatórios para obtenção do título de Doutor em Odontologia, pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, na área de concentração em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marília Gerhardt de Oliveira

Co-orientador: Prof. Dr. Rogério Miranda Pagnoncelli

Porto Alegre/RS

2008

DEDICATÓRIA

À minha família.
Sem vocês, não teria alcançado mais este objetivo.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

A realização deste doutorado é um grande sonho e fruto de muito trabalho. Agradeço a **Deus** por ter me permitido lutar com saúde para a concretização desta etapa da minha vida profissional, pela família maravilhosa que possuo e pela força nos momentos mais difíceis desta caminhada.

Ao meu pai, **Jorge Luiz Viegas da Silva**, por acreditar em mim e na minha capacidade. Agradeço, não apenas as oportunidades que me foram dadas ao longo de minha vida, mas também os exemplos vividos. A persistência, a dedicação, a humildade e o respeito a todas as pessoas sempre estiveram presentes na tua vida.

À minha mãe, **Rejane Maria Nery Viegas**, responsável por grande parte de minha formação pessoal. Sei que sempre posso contar com teu apoio e tua torcida.

À minha **vó Maria**, pelo exemplo de vida e pela dedicação diária durante os últimos anos. Sem a tua ajuda, não teria chegado até aqui.

À minha **vó La Hire**, pela sua dedicação na minha criação e pela vontade constante de estar ao nosso lado.

Aos meus irmãos, **Viviane e Fabrício**, pelo convívio constante ao longo da minha vida. Torço por vocês assim como sei que torcem e ficam felizes com cada etapa vencida em nossas vidas.

Aos **meus tios, tias, primos e primas**, por compartilharem comigo os momentos de minha vida. Estaremos sempre juntos, unidos e em paz.

Aos meus grandes amigos **Eduardo, Fábio, Leandro, Luís, Ricardo, Paulo, Marcelo e Rafael**, pelo companheirismo e pelos grandes momentos que passamos juntos. Vocês estavam presentes nos momentos mais felizes e tristes de minha vida. Bom saber que posso contar com vocês. Espero que nossa amizade só se fortaleça com o tempo.

À minha namorada **Ana**, pelo carinho e companheirismo.

AGRADECIMENTOS

AGRADECIMENTOS

À **Prof^a. Dr^a. Marília Gerhardt de Oliveira**, orientadora deste trabalho, pelos ensinamentos, respeito, carinho, disponibilidade e grande entusiasmo na realização deste trabalho.

Ao **Prof. Dr. Rogério Miranda Pagnoncelli**, responsável por grande parte da minha formação em pesquisa, pelo excelente convívio nos últimos sete anos e pela colaboração com esta pesquisa.

À **Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul**, na pessoa de seu Magnífico Reitor, **Prof. Dr. Joaquim Clotet**. Tenho orgulho de dizer que sou graduado em Odontologia na PUCRS e desenvolvo minhas atividades de pós-graduação nesta casa.

À **Faculdade de Odontologia da PUCRS**, em nome do seu atual diretor, **Prof. Marcos Túlio Mazzini Carvalho** e de seu diretor durante minha graduação, **Prof. Dr. Raphael Onorino Carlos Loro** (*in memoriam*). Há quase dez anos, tenho nesta casa, um ambiente de intenso aprendizado, amizade e respeito pelos seus professores, alunos e funcionários.

Ao **Dr. Vinicius Dutra**, cirurgião-dentista especialista em Radiologia, que confiou e colaborou significativamente com este trabalho.

Ao engenheiro mecânico **Tiago Broilo** pela disponibilidade e imensa colaboração com a análise dos resultados desta pesquisa.

Ao **Prof. Dr. João Feliz de Moraes**, pela valorosa contribuição na análise estatística deste trabalho.

Ao **Prof. Me. Clóvis Gallina** pelos ensinamentos e apoio ao trabalho.

À técnica em radiologia **Gisele**, ao técnico em óptica **Arno** e ao futuro engenheiro **Celso** pelo apoio a este trabalho.

À empresa de implantes dentários **Neodent[®]** por acreditar e investir em pesquisas de qualidade no Brasil.

Aos **colegas de mestrado, doutorado, especialização em Implantodontia, funcionários e amigos dos "tempos de PUCRS"**, pelo respeito e amizade construídos ao longo destes anos.

A todos vocês, meu muito obrigado!

RESUMO

A cirurgia guiada em Implantodontia consta de etapas que integram diagnóstico por imagem, planejamento virtual, bioprototipagem e aplicação cirúrgica. O objetivo desta pesquisa foi avaliar as variações na transferência do planejamento virtual e sobre protótipos biomédicos para o procedimento de instalação de implantes dentários por meio desta técnica. O experimento foi realizado em 11 réplicas idênticas de mandíbula humana edêntula. A definição do posicionamento dos implantes foi padronizada e realizada em *software* específico, a partir de imagens de tomografias computadorizadas *cone-beam* pré-operatórias. Para cada uma das mandíbulas, foram confeccionados biomodelos e guias cirúrgicos pelo método de estereolitografia. Inicialmente, foram realizadas cirurgias simuladas com a colocação e remoção dos implantes nos protótipos. Em seguida, os implantes foram instalados nas réplicas de mandíbula. Para análise dos resultados, foram realizadas tomografias pós-operatórias e obtidos cortes padronizados nos protótipos e nas réplicas, que possibilitaram a visualização dos leitos dos implantes. A sobreposição dos modelos tridimensionais pré e pós-operatórios permitiu a avaliação da distância linear e do ângulo formado pelos longo-eixos dos implantes planejados e executados. Medidas lineares realizadas diretamente sobre os modelos foram utilizadas para avaliar a validade de procedimentos simulados em protótipos na fase de planejamento em Implantodontia. As variações das distâncias entre as regiões coronais, centrais e apicais dos 22 implantes avaliados nesta pesquisa apresentaram valores médios inferiores à 0,41 mm. Quanto à angulação, os implantes instalados no lado direito das réplicas apresentaram variações de $1,45 \pm 0,89$ graus e os do lado esquerdo, de $0,70 \pm 0,30$ graus. A aplicação do teste *t* de *Student*, para comparar as amostras com um valor de referência zero, indicou diferença estatisticamente significativa para todas as medidas analisadas ($p < 0,05$). A correlação entre o posicionamento dos leitos dos implantes, em cada mandíbula, apresentou valores considerados razoáveis a muito bons, de acordo com a distância analisada e o método de interpretação utilizado. De acordo com os resultados desta pesquisa, as variações observadas na transferência para o campo operatório do posicionamento de implantes dentários, determinado durante o planejamento virtual e obtido em cirurgia simulada sobre protótipo biomédico, indicam a confiabilidade da utilização da técnica de cirurgia guiada em Implantodontia. A margem de segurança do método, considerando a variação na posição dos implantes e a superestimação ou subestimação de medidas em procedimentos simulados em biomodelos, deve ser melhor avaliada em estudos clínicos.

Descritores*: CAD-CAM. Cirurgia Bucal. Implantes Dentários. Planejamento. Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico.

*Bireme - Descritores em Ciências da Saúde. Disponível em <http://decs.bvs.br>.

ABSTRACT

Guided surgery in Implant Dentistry consists of stages that comprise image diagnosis, virtual planning, bioprototyping and surgical application. The aim of this research was to evaluate the variations in the transfer of virtual planning and over biomedical prototypes for the procedure of dental implant placement by means of this technique. The experiment was conducted on 11 identical replicas of the human edentulous mandible. Definition of the implant positions was standardized and performed with specific software, from pre-operative cone beam computerized tomography images. For each of the mandibles, biomodels and surgical guides were made by the stereolithographic method. Initially simulated surgeries were performed with placement and removal of implants in the prototypes. After this, the implants were placed in the replicas of the mandible. To analyze the results, post-operative tomographs were performed and standardized cuts obtained on the prototypes and in the replicas, which enabled the implant beds to be visualized. Superimposition of the tridimensional pre and post-operative models allowed evaluation of the linear distance and angle formed by the long axes of the implants that had been planned and obtained. Linear measurements made directly on the models were used to evaluate the validity of procedures simulated in prototypes in the planning stage in Implant dentistry. The variations of distances between the coronal, central and apical regions of the 22 implants evaluated in this research presented mean values lower than 0.41 mm. As regards angulation, the implants placed on the right side of the replicas presented variations of 1.45 ± 0.89 degrees, and those on the left side, 0.70 ± 0.30 degrees. Application of the Student's-*t* test to compare the samples with a reference value zero indicated statistically significant difference for all the measurements analyzed ($p < 0.05$). The correlation between the positions of the implant beds in each mandible presented values considered from reasonable to very good, according to the distance analyzed and the method of interpretation used. According to results of this study, the variations found in the transference to the operative field of dental implant positioning, determined during virtual planning and obtained in surgeries simulated with biomedical prototypes, confirm the reliability of guided surgery techniques in implantology. The safety margin of the method, considering the variation in the position of the implants and the overestimation or underestimation of the measurements in procedures simulated on biomodels, must be better evaluated in clinical studies.

Key-words*: CAD-CAM. Dental Implants. Planning. Surgery, Oral. Cone-Beam Computed Tomography

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Projeção esquemática do feixe de raios X nas TC <i>fan-beam</i> (a) e <i>cone-beam</i> (b).....	33
Figuras 2a e 2b -	Réplicas de mandíbula humana utilizadas na pesquisa.....	54
Figuras 3a e 3b -	Hastes metálicas posicionadas em uma das réplicas de mandíbula humana utilizada na pesquisa (setas pretas). A seta verde indica a haste metálica incluída na estrutura da base de resina acrílica.....	55
Figuras 4a e 4b -	Aparelho de TC <i>cone-beam</i> e posicionamento da mandíbula sobre plataforma de acrílico.....	56
Figura 5 -	Imagem da tela do computador mostrando alinhamento das imagens obtidas nos planos axial, coronal e sagital. <i>Software</i> i-CAT [®] <i>Cone Beam 3-D Imaging System</i>	56
Figura 6 -	Imagem da tela do computador mostrando modelo CAD 3D gerado. Observam-se os artefatos gerados pelas hastes metálicas, sem interferência nos resultados da pesquisa. <i>Software</i> Bioparts Converter 2.1.5 [®]	57
Figura 7 -	Imagem da tela do computador mostrando as quatro janelas de visualização. Observar, na janela <i>cross</i> , a imagem central onde melhor se visualiza a haste metálica. Na janela axial, a orientação do corte <i>cross</i> foi definida de acordo com a haste metálica (linha azul). <i>Software</i> Dental Slice [®]	58

Figuras 8a e 8b -	Imagens correspondentes à janela <i>cross</i> do planejamento dos implantes número 1 e 2. Medidas para padronização da posição dos implantes nos 11 planejamentos. <i>Software</i> Dental Slice®.....	59
Figura 9 -	Biomodelo e guia cirúrgico, com as anilhas, confeccionados pelo método de estereolitografia.....	60
Figura 10 -	Guia cirúrgico fixado na mandíbula por dois pinos estabilizadores.....	62
Figuras 11a e 11b -	Perfurações com as brocas de 2 mm e 3,3 mm e seus respectivos guias-broca.....	63
Figuras 12a e 12b -	Montador do sistema Neoguide® sendo posicionado sobre o implante. Em “b”, observa-se montador do implante (azul) e montador do sistema Neoguide® já parafusado ao implante.....	64
Figuras 13a e 13b -	Colocação do implante. Observar anilha azul, que atua como guia do implante, e montador do implante em contato com o guia cirúrgico.....	64
Figura 14 -	Desenho esquemático da metodologia utilizada para aferição da discrepância entre as posições pré e pós-operatórias dos implantes.....	
Figuras 15a e 15b -	Mandíbula fixada pela presilha metálica e posicionada na base de resina sendo seccionada sob irrigação. Observar a fixação da base de resina acrílica na morsa mecânica...	67

Figura 16 -	Leitos dos implantes observados após o corte das mandíbulas no plano das hastes metálicas.....	68
Figura 17 -	Estereomicroscópio de iluminação transmitida e incidente com câmera de vídeo acoplada.....	69
Figuras 18a e 18b -	Imagens obtidas no estereomicroscópio e representação das medidas realizadas. Em “a” observa-se leito de implante do lado direito da réplica. Em “b” observa-se leito de implante do lado esquerdo do biomodelo.....	69
Figura 19 -	Imagem correspondente à janela tridimensional demonstrando a sobreposição dos modelos CAD 3D. Em rosa, observa-se o implante planejado e em amarelo, o instalado. <i>Software Dental Slice</i> [®]	72
Figuras 20a e 20b -	Em “a” observa-se a proximidade do leito do implante com a parede lingual da réplica. Em “b” observa-se a sobreinstrumentação na região apical do leito do implante no protótipo e seu correto posicionamento em relação à parede lingual.....	78
Figuras 21a e 21b -	Em “a” não se observa o leito do implante no protótipo. Em “b” observa-se, na réplica, o leito do implante na posição planejada.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Valores obtidos na avaliação virtual dos implantes instalados no lado direito das réplicas de mandíbula humana.....	77
Tabela 2 -	Valores obtidos na avaliação virtual dos implantes instalados no lado esquerdo das réplicas de mandíbula humana.....	77
Tabela 3 -	Valores obtidos na avaliação em modelo real dos implantes instalados no lado direito das réplicas de mandíbula humana (M) e protótipos biomédicos (P).....	80
Tabela 4 -	Valores obtidos na avaliação em modelo real dos implantes instalados no lado esquerdo das réplicas de mandíbula humana (M) e protótipos biomédicos (P).....	80
Tabela 5 -	Correlação entre as medidas observadas na avaliação em modelo real dos implantes instalados no lado direito das réplicas e dos protótipos biomédicos.....	81
Tabela 6 -	Correlação entre as medidas observadas na avaliação em modelo real dos implantes instalados no lado esquerdo das réplicas e dos protótipos biomédicos.....	81

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -	Distância entre os pontos apicais dos implantes instalados no lado direito das réplicas de mandíbula humana.....	73
Gráfico 2 -	Distância entre os pontos centrais dos implantes instalados no lado direito das réplicas de mandíbula humana.....	73
Gráfico 3 -	Distância entre os pontos coronais dos implantes instalados no lado direito das réplicas de mandíbula humana.....	74
Gráfico 4 -	Distância entre os pontos apicais dos implantes instalados no lado esquerdo das réplicas de mandíbula humana.....	74
Gráfico 5 -	Distância entre os pontos centrais dos implantes instalados no lado esquerdo das réplicas de mandíbula humana.....	75
Gráfico 6 -	Distância entre os pontos coronais dos implantes instalados no lado esquerdo das réplicas de mandíbula humana.....	75
Gráfico 7 -	Distância média entre os pontos analisados nos implantes instalados nos lados direito e esquerdo das réplicas de mandíbula humana. Observar que as variações são inferiores a 0,1 milímetros.....	76

Gráfico 8 -	Ângulo formado pelos implantes instalados no lado direito das réplicas de mandíbula humana.....	76
Gráfico 9 -	Ângulo formado pelos implantes instalados no lado esquerdo das réplicas de mandíbula humana.....	77

LISTAS DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AOMR - *American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology*

.bpt - Extensão de arquivos de computador

CAD - *Computer-Aided Design*

CAM - *Computer-Aided Manufacturing*

CCI - Coeficiente de Correlação Intraclasse

.cnv - Extensão de arquivos de computador

CPU - *Central Processing Unit*

DICOM - *Digital Imaging Communicatios in Medicine*

et al. - e outros

EUA - Estados Unidos da América

FDM - *Fused Deposition Manufacturing*

FTP - *File Transfer Protocol*

IAS - Índice Absoluto de Sobrevidência

ICS - Índice Cumulativo de Sobrevidência

Ltda. - Limitada

PUCRS - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

TC - Tomografia Computadorizada

TCCB - Tomografia Computadorizada *cone-beam*

TCFB - Tomografia Computadorizada *fan-beam*

SLS - Sinterização Seletiva a Laser

SPSS - *Statistical Package for the Social Science*

.stl - Extensão de arquivos de computador

www - World Wide Web

3D - Tridimensional

3DP[®] - *Three-Dimensional Printing*

LISTA DE SÍMBOLOS

cm - centímetro

HeCd - Hélio-Cádmio

kVp - quilovoltagem pico

mA - miliampére

mm - milímetro

mm² - milímetro quadrado

p - nível de significância de um teste estatístico

® - marca registrada

% - por cento

± - mais ou menos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	27
2	PROPOSIÇÃO	30
3	REVISTA DE LITERATURA	32
3.1	TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA	32
3.1.1	Tomografia computadorizada <i>fan-beam</i>	33
3.1.2	Tomografia computadorizada <i>cone-beam</i>	34
3.2	PROTOTIPAGEM RÁPIDA	37
3.3	PROTIPAGEM RÁPIDA E IMPLANTODONTIA	40
3.4	CIRURGIA GUIADA EM IMPLANTODONTIA	43
4	METODOLOGIA	53
4.1	PROBLEMA	53
4.2	CONFIGURAÇÃO DA AMOSTRA	53
4.3	PREPARO DAS RÉPLICAS DE MANDÍBULA HUMANA	54
4.4	PLANEJAMENTO PRÉ-OPERATÓRIO	55
4.4.1	Tomografia computadorizada e obtenção do modelo CAD tridimensional	55
4.4.2	Planejamento virtual da posição dos implantes dentários	58
4.4.3	Confecção dos protótipos biomédicos e guias cirúrgicos	60
4.4.4	Simulação do procedimento nos protótipos biomédicos.....	61
4.5	CIRURGIA PARA COLOCAÇÃO DOS IMPLANTES DENTÁRIOS	61
4.5.1	Implantes dentários e sistema de cirurgia guiada	61
4.5.2	Cirurgia guiada	62
4.6	PROCEDIMENTOS PÓS-OPERATÓRIOS	65
4.6.1	Tomografia computadorizada pós-operatória	65
4.6.2	Reformatação e manipulação das imagens pós-operatórias.....	65
4.7	OBTENÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	66
4.7.1	Avaliação em modelo virtual	66

4.7.2	Avaliação em modelo real	67
4.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA	70
5	RESULTADOS	72
5.1	AVALIAÇÃO EM MODELO VIRTUAL	72
5.2	AVALIAÇÃO EM MODELO REAL	78
5.2.1	Estudo descritivo	78
5.2.2	Estudo quantitativo	80
6	DISCUSSÃO	83
7	CONCLUSÕES	96
	REFERÊNCIAS	98
	ANEXO A - Carta de aprovação da Comissão Científica e de Ética da Faculdade de Odontologia da PUCRS.....	106

1 INTRODUÇÃO

O avanço técnico-científico de métodos diagnósticos e terapêuticos nas áreas biomédicas tem proporcionado um significativo aumento na previsibilidade e longevidade dos resultados obtidos nos procedimentos cirúrgico-restauradores. Na Implantodontia contemporânea, as técnicas de bioprototipagem, baseadas nos princípios da tecnologia CAD-CAM (*Computer-Aided Design - Computer-Aided Manufacturing*), têm se constituído em um recurso de grande validade no diagnóstico, definição do plano de tratamento e aplicação cirúrgica. Entre outros aspectos, sua utilização favorece o planejamento pré-operatório, facilita a compreensão do paciente em relação ao procedimento proposto, aumenta a previsibilidade do tratamento e pode diminuir a morbidade cirúrgica.

As etapas preliminares à cirurgia para instalação de implantes dentários são igualmente ou mais importantes do que o ato operatório propriamente dito. O posicionamento inadequado das fixações pode ocasionar lesões a estruturas anatômicas nobres e comprometer, estética ou funcionalmente, a fase protética da reabilitação bucal.

O planejamento e a instalação de implantes podem ser realizados utilizando-se somente tomografias computadorizadas e guias cirúrgicos confeccionados sobre modelos de estudo. Entretanto, a visualização tridimensional direta das áreas a serem abordadas cirurgicamente e a simulação, em modelo real, do procedimento cirúrgico a ser realizado podem contribuir significativamente para a obtenção de resultados mais condizentes com o plano de tratamento inicialmente proposto. O protótipo biomédico ou biomodelo reproduz fielmente a condição óssea do paciente e possibilita este tipo de avaliação.

Da mesma forma, o ato operatório pode se tornar mais seguro e menos invasivo com a utilização de guias cirúrgicos individualizados para orientação da colocação dos implantes. O desenvolvimento de programas de computador para o planejamento da posição das fixações e sua interligação com os métodos de bioprototipagem tornaram possível a confecção destes tipos de guia.

O processo que envolve a aquisição e reformatação das imagens tomográficas, o planejamento do posicionamento dos implantes em modelo virtual, a confecção de um guia cirúrgico prototipado e sua utilização na cirurgia de colocação

de implantes, com sistemas específicos, pode ser denominado cirurgia guiada em Implantodontia.

Diversos trabalhos relatam o sucesso desta técnica, todavia, a avaliação das variações na transferência do posicionamento planejado dos implantes para o campo operatório, com a utilização da cirurgia guiada, ainda é pouco descrita na literatura.

PROPOSIÇÃO

2 PROPOSIÇÃO

Os objetivos desta pesquisa foram:

- avaliar as variações na transferência do planejamento virtual para a instalação de implantes dentários pela técnica de cirurgia guiada, comparando os resultados obtidos entre o posicionamento planejado sobre a tomografia computadorizada pré-operatória e a posição observada na tomografia pós-operatória;
- avaliar as variações na transferência do planejamento sobre protótipos biomédicos para a instalação de implantes dentários pela técnica de cirurgia guiada, comparando o posicionamento dos implantes na cirurgia simulada no biomodelo e na cirurgia final, em réplicas idênticas de mandíbula humana.

3 REVISTA DE LITERATURA

3.1 TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

A tomografia computadorizada (TC) é um método de diagnóstico por imagem que utiliza a radiação X e permite obter a reprodução de uma secção do corpo humano em qualquer um dos três planos do espaço (GARIB et al., 2007).

Na TC, um sistema de detectores é utilizado para medir a atenuação de um feixe colimado de raios X em uma série de projeções através do paciente. Em seguida, técnicas de reconstrução matemática são empregadas para calcular um valor dentro de uma escala de tons de cinza para cada ponto (pixel) do corte. Esta informação é utilizada para produzir uma imagem eletrônica (STIMAC; KELSEY, 1992).

Desde a criação do primeiro modelo de aparelho de TC, os avanços tecnológicos na Imagenologia e na Informática permitiram o desenvolvimento de diversas gerações de tomógrafos. Independentemente da geração e do fabricante, tais equipamentos apresentam, basicamente, os seguintes componentes:

- gerador: fornece alta voltagem ao tubo de raios X;
- unidade de varredura: composta pelo *gantry* e pela mesa. O *gantry* contém o tubo de raios X, os detectores eletrônicos e o sistema de colimação que determina a espessura dos cortes tomográficos. E a mesa posiciona e estabiliza o paciente durante o escaneamento;
- sistema de computação: consiste em uma unidade central de processamento (CPU) que contém processadores e dispositivos de armazenamento da imagem;
- console de comando: integra dispositivos que selecionam os parâmetros de aquisição da imagem e sua representação no monitor de vídeo;
- sistema de resfriamento: mantém o ambiente numa temperatura estável, permitindo o bom funcionamento dos sistemas informatizados (ABECASIS, 1999; BONTRAGER, 1999; IBRAHIM, 2006).

Os aparelhos de tomografia computadorizada podem ser classificados em duas categorias, quanto à forma de emissão do feixe de raios X emitido: *fan-beam* ou de feixe em leque e *cone-beam* ou de feixe cônico (FIGURA 1) (SCARFE; FARMAN; SUKOVIC, 2006).

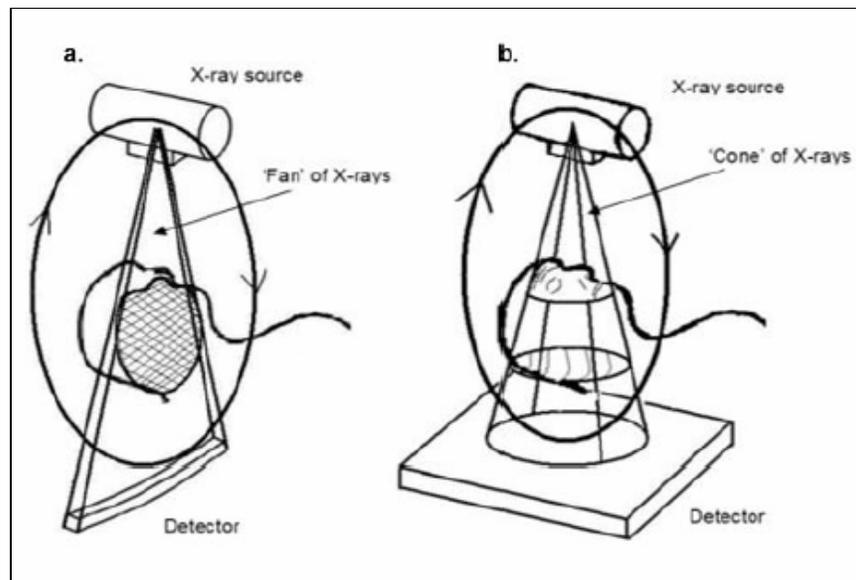


Figura 1 - Projeção esquemática do feixe de raios X nas TC *fan-beam* (a) e *cone-beam* (b).
Fonte: Modificado de Scarfe, Farman e Sukovic (2006).

3.1.1 Tomografia computadorizada da *fan-beam*

Na tomografia computadorizada *fan-beam* (TCFB), a fonte de raios X e os detectores são montados em um *gantry* rotatório. Os dados são adquiridos corte a corte, geralmente, no plano axial e a manipulação das imagens permite representações bi e tridimensionais (SCARFE; FARMAN; SUKOVIC, 2006).

A tomografia helicoidal *fan-beam* é a mais utilizada na área médica. Atualmente, aparelhos com multi-detectores ou *multislice* permitem a aquisição de até 64 cortes simultâneos, reduzindo a dose de radiação e o tempo de escaneamento (HASHIMOTO et al., 2006; SCARFE; FARMAN; SUKOVIC, 2006; SUOMALAINEN et al., 2008).

Os tomógrafos helicoidais são classificados como aparelhos de última geração (GARIB et al., 2007). Possuem múltiplos anéis de alvo e de detectores que também colaboram para uma melhor resolução da imagem. São extremamente rápidos, em relação aos modelos de gerações anteriores, permitindo que um corte tomográfico seja obtido em poucas dezenas de milissegundos (SEERAM, 2001).

No console de comando, o operador seleciona os parâmetros de varredura como diferença de potencial (kVp), corrente elétrica (mA), tempo de exposição aos raios X, número e espessura dos cortes tomográficos, bem como o intervalo entre os cortes (IBRAHIM, 2007).

Na dinâmica de escaneamento, a mesa do paciente desliza em direção e através da abertura do *gantry*. Sendo assim, o indivíduo é movimentado ao longo do eixo horizontal, enquanto o tubo de raios X executa um movimento rotacional contínuo em torno do mesmo, desenhando uma trajetória helicoidal. No lado oposto da fonte de raios X, estão localizados os detectores, que transformam a radiação em sinal elétrico, o qual é convertido em imagem digital (BRINK, 1995; ROMANS, 1995; AMARO JUNIOR; YAMASHITA, 2001; IBRAHIM, 2007).

3.1.2 Tomografia computadorizada *cone-beam*

O advento da tomografia computadorizada *cone-beam* (TCCB) ou tomografia computadorizada volumétrica representa o desenvolvimento de um tomógrafo relativamente pequeno e de menor custo, especialmente indicado para a região dentomaxilofacial. O desenvolvimento desta nova tecnologia está provendo à Odontologia a reprodução da imagem tridimensional dos tecidos mineralizados maxilofaciais, com mínima distorção e dose de radiação significativamente reduzida em comparação à TC tradicional, de feixe em leque (HASHIMOTO et al., 2006; GARIB et al., 2007; SUOMALAINEN et al., 2008).

O aparelho de TC de feixe cônico é muito compacto e assemelha-se ao aparelho de radiografia panorâmica. Geralmente, o paciente é posicionado sentado, mas, em alguns aparelhos, acomoda-se o indivíduo deitado. Apresenta dois componentes principais, posicionados em extremos opostos da cabeça do paciente: a fonte ou tubo de raios X, que emite um feixe em forma de cone, e um detector. O

sistema tubo-detector realiza somente um giro de 360 graus em torno da cabeça do paciente e, a cada determinado grau de giro (geralmente a cada 1 grau), o aparelho adquire uma imagem base da cabeça do paciente, muito semelhante a uma telerradiografia, sob diferentes ângulos ou perspectivas. Ao término do exame, essa seqüência de imagens base (*raw data*) é reconstruída para gerar a imagem volumétrica em três dimensões, por meio de um *software* específico com um sofisticado programa de algoritmos, instalado em um computador convencional acoplado ao tomógrafo. O tempo de exame pode variar de 10 a 70 segundos (uma volta completa do sistema), porém o tempo de exposição efetiva aos raios X é bem menor, variando de 3 a 6 segundos (SCARFE; FARMAN; SUKOVIC, 2006; GARIB et al., 2007).

Alguns estudos estabeleceram comparações entre as TCCB e TCFB para avaliação da capacidade de reprodução da anatomia da área estudada. Hashimoto et al. (2006) investigaram a qualidade das imagens tomográficas adquiridas por aparelhos de feixe cônico e *fan-beam multislice*. Cortes tomográficos de 2 mm de uma maxila humana seca, lado direito, foram analisados por 5 cirurgiões-dentistas, considerando a qualidade e a reprodutibilidade das estruturas anatômicas: tecido ósseo, esmalte dentário, dentina, cavidade pulpar, espaço do ligamento periodontal e lâmina dura. Para a observação de todos os itens, a TCCB apresentou resultados equivalentes ou superiores à TCFB *multislice* ($p < 0,01$).

Em continuação do estudo anterior, Hashimoto et al. (2007) acrescentaram ao trabalho a observação de imagens adquiridas pelo tomógrafo *multislice* com variação nos parâmetros para visualização específica de tecidos dentários e ósseo. Ainda assim, os resultados observados nas tomografias *cone-beam* foram superiores, caracterizando este tipo de exame de imagem como de grande utilidade em Odontologia.

Loubele et al. (2007) avaliaram, por meio de medidas lineares, as dimensões de 25 mandíbulas humanas secas observadas em cortes de TCCB e TCFB helicoidal convencional. As mensurações diretas, na peça anatômica, foram, em média, 0,23 mm e 0,34 mm maiores em relação às medidas realizadas nas tomografias de feixe cônico e de feixe em leque, respectivamente. No mesmo trabalho, foi avaliada a qualidade da imagem de uma maxila humana, com tecidos moles, submetida à TCCB e TCFB *multislice*.

Os autores concluíram que para avaliação das dimensões ósseas, as tomografias avaliadas apresentam resultados satisfatórios, apesar de subestimarem o tamanho real do objeto. Quanto à qualidade da imagem, a TCCB apresentou melhores resultados na visualização de pequenas estruturas, como lâmina dura e espaço do ligamento periodontal, enquanto que a TCFB permitiu observação mais fiel de cortical óssea e tecido gengival (LOUBELE et al., 2007).

Em estudo semelhante, Suomalainen et al. (2008) realizaram tomografias computadorizadas *cone-beam* e *fan-beam multislice* de mandíbula humana, com e sem tecidos moles. Os autores realizaram medidas lineares, necessárias para o planejamento da colocação de implantes dentários, em duas áreas edêntulas e uma região dentada. Dispositivos metálicos foram fixados na crista alveolar e na vestibular das áreas edêntulas, com o objetivo de padronizar o corte tomográfico analisado. Na região dentada, apenas o dispositivo vestibular foi colocado. Dois especialistas em radiologia bucomaxilofacial observaram as imagens obtidas, selecionando os cortes nos quais os aparatos metálicos eram mais visíveis. As medidas realizadas foram: altura total da mandíbula, distância da crista alveolar ao canal mandibular, espessura da cortical óssea no aspecto mais inferior da peça anatômica e espessura vestibulo-lingual da mandíbula passando pela margem superior do canal mandibular.

A mandíbula foi seccionada nas áreas de interesse em cortes de 4 mm de espessura. As seções foram microradiografadas e utilizadas como padrão-ouro no estudo. O erro de mensuração mostrou diferença estatisticamente significativa entre os métodos avaliados ($p=0,022$). O referido erro foi de 4,7% nas imagens obtidas pela TCCB, em mandíbula seca, e 8,8% na TCFB. Na simulação com os tecidos moles, o erro de mensuração foi de 2,3% e 6,6%, respectivamente. A redução da dose de radiação na tomografia *multislice* não alterou, significativamente, os resultados obtidos. Os autores concluíram que a tomografia de feixe cônico é uma ferramenta confiável para mensurações da quantidade óssea durante o planejamento de cirurgias para colocação de implantes dentários (SUOMALAINEN et al., 2008)

3.2 PROTOTIPAGEM RÁPIDA

Prototipagem rápida pode ser definida como um conjunto de processos tecnológicos que permite fabricar objetos físicos tridimensionais (protótipos), a partir de um projeto CAD (*Computer-Aided Design*). O objetivo é obter um modelo real com as mesmas características geométricas do virtual, que pode ser manipulado para vários fins. Uma das aplicações desta técnica é a reprodução de estruturas anatômicas. O processo de fabricação utiliza dados de imagem da região anatômica de interesse, obtidos por equipamentos de imagens biomédicas, resultando nos biomodelos ou protótipos biomédicos (JAMES et al., 1998; NASCIMENTO SILVA, 2004; PELTOLA et al., 2008).

Os dados obtidos nas tomografias computadorizadas, ressonâncias magnéticas e ultra-sonografias são armazenados no formato DICOM (*Digital Imaging Communicatios in Medicine*). O programa DICOM estabelece uma linguagem comum entre os equipamentos de imagem e computadores, estejam estes em hospitais, clínicas ou laboratórios. As imagens no formato DICOM não perdem definição e, conseqüentemente, sua interpretação pode ser realizada em prazo indeterminado (HENRI et al., 1997; NAGY, 2007; MEURER et al., 2008).

Os *softwares* biomédicos reconhecem o formato DICOM e permitem a construção do modelo CAD tridimensional (3D). O CAD envolve a criação de figuras por meio de um computador e caracteriza-se por uma modelagem eletrônica e tridimensional de determinado objeto. Em prototipagem biomédica, o modelo CAD 3D é obtido, geralmente, com a sobreposição de vários cortes de um exame tomográfico, aproximados por um conjunto de faces triangulares, em *softwares* específicos (GOMIDE, 2000; GRELLMANN, 2001; MEURER, 2002).

A obtenção do modelo CAD 3D envolve várias etapas de manipulação das imagens obtidas. A segmentação constitui uma das fases mais importantes deste processo. É caracterizada pela apresentação dos elementos constituintes de uma imagem. Nesta fase, os elementos de interesse são extraídos para subsequente processamento, visualização e análise. No caso dos protótipos para cirurgias bucomaxilofaciais, em que o objeto de estudo é a peça óssea, a segmentação visa à separação da porção óssea dos tecidos adjacentes (SOUZA; CENTENO; PEDRINI, 2003; MEURER et al., 2008).

A técnica de segmentação de imagem mais utilizada é a limiarização ou binarização, devido à sua execução simplificada. Esta operação está, quase sempre, embutida em soluções matemáticas avançadas e consiste, basicamente, em determinar objetos de interesse em uma imagem. A ferramenta de segmentação utilizada neste método é denominada *threshold*. Este recurso permite delimitar um intervalo de densidades tomográficas, possibilitando a separação dos tecidos escolhidos dos demais. Os tecidos de interesse são identificados, baseados pelo valor do nível de cinza de cada pixel (de acordo com a escala *Hounsfield*), enquanto que os demais são extraídos (SILVA et al., 2004; SOUZA; CENTENO; PEDRINI, 2003; IBRAHIM, 2007).

A associação do CAD ao CAM (*Computer-Aided Manufacturing*) permite a construção de modelos reais através das técnicas de prototipagem. Nesta etapa, o arquivo CAD é convertido em um formato apropriado para a prototipagem. O formato *.stl, originado da palavra *Stereolithography*, por ser aberto, ganhou a preferência dos sistemas de prototipagem, além de ser aceito como padrão e ser o mais utilizado como interface entre os processos desta tecnologia. Os arquivos *.stl da *workstation* são transmitidos para o computador da estação de prototipagem, via *internet*, onde eventuais erros são corrigidos e os parâmetros para construção do protótipo, definidos (GOMIDE, 2000; GRELLMANN, 2001; MEURER, 2002; SOUZA; CENTENO; PEDRINI, 2003).

Segundo Gomide (2000) e Grellmann (2001), na construção dos biomodelos, comumente são utilizadas técnicas aditivas. Os sistemas aditivos, de fabricação por camadas, podem ser classificados em:

- sistemas baseados em líquidos;
- sistemas baseados em pó;
- sistemas baseados em sólidos.

A estereolitografia consiste em um sistema baseado em líquidos que apresenta um reservatório de resina líquida fotossensível, uma plataforma de construção e um laser de Hélio-Cádmio (HeCd) guiado por espelhos para polimerizar a resina. Iniciada a etapa de construção do biomodelo, também se inicia a construção de uma estrutura de suporte para o protótipo, composta do mesmo material que o sustenta dentro do reservatório de resina. Ambos são gerados no modelo CAD e no formato *.stl, depois transferidos para a máquina de prototipagem.

Após a primeira camada de resina ser exposta ao laser, ela se solidifica. A seguir, a plataforma desce e uma camada subsequente é então polimerizada. Este movimento se repete até o modelo ser completamente construído. Finalizada esta etapa, o biomodelo é colocado em uma câmara de raios ultravioleta (UV) durante 10 minutos, completando o processo. A estrutura de suporte é feita do mesmo material do biomodelo e só é removida após a completa polimerização (JACOBS, 1992; WINDER; BIBB, 2005; IBRAHIM, 2007). A técnica da estereolitografia possui precisão dimensional de aproximadamente 0,10 mm (KLEIN et al., 1992; VAN STEENBERGHE et al., 2002).

A sinterização seletiva a laser (SLS) e o sistema de impressão tridimensional 3DP^{®1} (*Three-Dimensional Printing*) constituem exemplos de sistemas de prototipagem rápida baseados em pó (IBRAHIM, 2007).

No processo de SLS, o laser percorre a superfície do pó, depositado sobre a plataforma de construção por um rolo de deposição, aquecendo as partículas e aglutinando-as, até formar uma camada sólida. Uma vez solidificada a primeira camada, a plataforma movimenta-se para baixo, o subsistema de alimentação deposita e regulariza nova camada de pó e o laser sinteriza a camada recém depositada. O pós-processamento consiste de um jateamento de areia e polimento (GOMIDE, 2000). A técnica possui resolução dimensional em torno de 0,25 mm (BERRY et al., 1997).

No processo de construção de um protótipo por meio da técnica de impressão tridimensional, o rolo avança e deposita uniformemente uma camada de pó. Um jato de fluido é adicionado ao pó, aglutinando-o. Em seguida, a plataforma desce e a outra camada de pó depositada recebe novo jato de fluido. Esta segunda camada aglutina-se e adere-se à camada anterior e assim, sucessivamente. Depois de concluído, o protótipo é aspirado para eliminação de pó não aglutinado em sua superfície. Este processo não confere grande resistência à estrutura. Assim, depois de confeccionado, o biomodelo é submetido a um pós-processamento pelo acréscimo de materiais conhecidos como infiltrantes, para aumento da resistência (ASHLEY, 1991; SACHS et al., 1992a,b; MELICAN et al., 2000). A tecnologia de 3DP[®] apresenta uma resolução dimensional em torno de 0,17 mm (IBRAHIM, 2007).

¹3DP[®], Instituto Tecnológico de Massachusetts, Cambridge, EUA.

O FDM (*Fused Deposition Manufacturing*) é um sistema baseado em sólidos. Neste processo, o modelo é construído pela extrusão e pelo endurecimento de um filamento de material termoplástico. Assim como nas outras técnicas, a construção ocorre pela deposição do material em diferentes estratos. A precisão estimada destes modelos é de 0,12 mm (GOMIDE, 2000; WINDER; BIBB, 2005).

3.3 PROTIPAGEM RÁPIDA E IMPLANTODONTIA

As maiores dificuldades na reabilitação bucal com implantes, observadas nas fases cirúrgica e/ou protética, ocorrem frequentemente devido a falhas no diagnóstico e planejamento dos casos (LAL et al., 2006).

A *American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology* (AAOMR) recomenda que, durante o diagnóstico e planejamento de reabilitações bucais extensas com implantes, a avaliação do tecido ósseo disponível deve ser, obrigatoriamente, realizada por exames de tomografia computadorizada (ALMOG et al., 2006).

Neste contexto, Jacobs et al. (1999) avaliaram a confiabilidade das imagens bidimensionais reformatadas, obtidas por tomografia computadorizada, no planejamento para a colocação de implantes dentários. O estudo foi realizado em 100 pacientes, parcial ou totalmente edêntulos, que se submeteram ao exame e posterior reabilitação bucal com implantes. A altura óssea disponível abaixo do seio maxilar, da fossa nasal e acima do canal mandibular foi mensurada, sendo descontada uma margem de segurança de 1,5 mm. O planejamento envolveu o número, a localização e o tamanho dos implantes, a altura óssea disponível e possíveis complicações anatômicas, como fenestração e deiscência ósseas, perfuração do seio maxilar, ausência de estabilidade primária e má posição do implante em relação à biomecânica e estética requeridas pela prótese. Os autores observaram no trans-operatório que, em algumas situações, a colocação do implante conforme o planejado era impossível, sobretudo por achados trans-operatórios não identificados ou subestimados na tomografia computadorizada. A relação entre o número de implantes e os locais escolhidos para sua instalação foi satisfatória. Dos 416 implantes planejados, 395 puderam ser colocados. Entretanto, foi constatada

uma correlação fraca entre o tamanho do implante planejado e o efetivamente executado (44%). Em 110 dos 395 casos, os implantes instalados foram mais curtos do que os planejados. Fixações mais longas foram colocadas em 74 casos. Os resultados das complicações trans-operatórias foram surpreendentemente altos (46% dos casos).

Segundo os autores, as imagens tomográficas bidimensionais reformatadas podem ser utilizadas para o planejamento pré-operatório do número e localização dos implantes. Todavia, para a definição precisa do tamanho das fixações e prevenção de complicações anatômicas durante a cirurgia, estas imagens não são confiáveis, dificultando a previsibilidade do procedimento (JACOBS et al., 1999).

Desta forma, diante da necessidade da implementação dos recursos disponíveis para o planejamento em Implantodontia, as técnicas de prototipagem rápida ou bioprototipagem, denominação utilizada quando aplicadas nas áreas biomédicas, passaram a ter uma excelente indicação na busca de resultados satisfatórios, com menor índice de complicações trans-operatórias (CHOI et al., 2002; ALMOG et al., 2006).

Os protótipos biomédicos possibilitam visualização e manipulação direta das áreas a serem abordadas cirurgicamente. Estruturas da anatomia óssea do paciente podem ser medidas e o ato operatório, simulado. Estes procedimentos, prévios à cirurgia, aumentam a previsibilidade da técnica, a aplicabilidade do planejamento realizado e podem reduzir o tempo cirúrgico (CHOI et al., 2002; SARMENT; AL-SHAMMARI; KAZOR, 2003; MEURER et al., 2008).

Erickson et al. (1999) avaliaram a opinião de cirurgiões bucomaxilofaciais sobre a utilização de modelos de estereolitografia no diagnóstico, definição do plano de tratamento, simulação do procedimento cirúrgico e confecção de implantes aloplásticos para reconstruções anatômicas. Setenta e seis biomodelos foram confeccionados no período estudado. Durante a fase de planejamento, 69% dos entrevistados utilizaram os protótipos como auxiliar no diagnóstico e, em 92% dos casos, estes foram empregados para a determinação do plano de tratamento. Setenta e três por cento dos profissionais utilizaram os biomodelos para orientar seu paciente quanto ao procedimento a ser realizado. Cirurgias simuladas pré-operatórias foram realizadas em 38% dos casos. O tempo cirúrgico foi considerado menor por 77% dos cirurgiões, em relação a cirurgias sem estudo de protótipos, assim como a extensão do acesso cirúrgico, que foi ressaltada por 38% dos

participantes. Procedimentos mais complexos foram realizados com maior segurança e previsibilidade, sendo destacados por 46% dos entrevistados. Apesar da grande aplicabilidade dos biomodelos, observada em 96% das fases do tratamento, segundo o estudo, apenas 15% dos cirurgiões consideraram a utilização da prototipagem rápida essencial para o tratamento do paciente. Ainda assim, os autores destacaram o uso de protótipos na busca de resultados mais previsíveis e duradouros.

Em estudo semelhante, Erben et al. (2002) entrevistaram 38 cirurgiões bucomaxilofaciais para investigar as principais indicações dos biomodelos e os benefícios advindos de sua utilização no planejamento pré-operatório. Os biomodelos foram utilizados no planejamento de cirurgia para instalação de implantes osseointegrados e outros procedimentos. Os profissionais manifestaram que o uso de protótipos biomédicos aumentou a qualidade do diagnóstico, possibilitou a simulação das intervenções no pré-operatório, facilitou o entendimento dos pacientes e serviu de orientação no trans-cirúrgico.

Wulf et al. (2003) publicaram um estudo que foi desenvolvido entre setembro de 1999 e abril de 2002 com o objetivo de avaliar a relevância dos protótipos biomédicos nas etapas pré, trans e pós-operatórias de cirurgias bucomaxilofaciais. Cinquenta e quatro profissionais foram entrevistados, descrevendo suas experiências sobre um total de 466 casos. As vantagens da utilização de biomodelos, destacadas nos estudos anteriormente citados, foram corroboradas por esta pesquisa.

Na Implantodontia, as técnicas de bioprototipagem não possuem aplicação somente na construção e análise de biomodelos. Com o advento de sofisticados métodos de aquisição, manipulação de imagens e *softwares* de planejamento virtual, a construção de guias cirúrgicos prototipados tem permitido o estabelecimento de uma relação mais confiável entre a posição planejada e final dos implantes dentários. Este aumento da previsibilidade da posição das fixações e da futura prótese está baseado nos conceitos da técnica de cirurgia guiada em Implantodontia (GARG, 2006; ROSENFELD; MANDELARIS; TARDIEU, 2006).

3.4 CIRURGIA GUIADA EM IMPLANTODONTIA

Cirurgia guiada em Implantodontia é a técnica que permite a definição do posicionamento de implantes osseointegrados em modelo virtual e a transferência deste planejamento para o ato operatório, por meio de guia cirúrgico prototipado e componentes especiais: *softwares* específicos, técnicas de bioprototipagem e sistemas para a instalação dos implantes (BALSHI; WOLFINGER; BALSHI, 2006a; LAL et al., 2006; KUPEYAN; SHAFFNER; ARMSTRONG, 2006; MARCHACK, 2007).

A confecção de um guia cirúrgico, que permita uma reprodução fiel da posição planejada das fixações, pode ser fundamental para o sucesso das reabilitações bucais sobre implantes (GANZ, 2003).

Guias cirúrgicos, realizados pelo método convencional, apresentam algumas limitações que podem dificultar a obtenção de resultados estéticos e funcionais satisfatórios. Os modelos de estudo, sobre os quais são confeccionados estes guias, fornecem uma representação rígida e não funcional dos tecidos moles que recobrem o rebordo alveolar, impossibilitando a visualização da anatomia óssea da região estudada e, conseqüentemente, inviabilizando a escolha de uma orientação definitiva para os implantes (LAL et al., 2006).

Na técnica de cirurgia guiada em Implantodontia para reabilitação de arcos totalmente edêntulos, algumas etapas, prévias ao planejamento da posição das fixações, devem ser seguidas:

- montagem dos modelos de estudo em articulador semi-ajustável;
- enceramento diagnóstico;
- duplicação do enceramento diagnóstico para confecção de guia tomográfico em resina acrílica;
- realização de pelo menos seis perfurações de 1,5 a 2 mm de diâmetro na região vestibular do guia tomográfico e preenchimento com material radiopaco;
- registro interoclusal com silicona de adição ou condensação para orientação durante o exame tomográfico;
- aquisição tomográfica com o guia e o registro em oclusão;

- aquisição tomográfica isolada do guia para casos de cirurgia sem retalho ou *flapless* (PAREL; TRIPLETT, 2004; BALSHI; WOLFINGER; BALSHI, 2006b; MARCHACK, 2007; SANNA; MOLLY; VAN STEENBERGHE, 2007; VAN ASSCHE et al., 2007).

Os cortes tomográficos adquiridos no formato DICOM devem ser convertidos, em *software* específico, para a manipulação e reformatação das imagens bidimensionais em tridimensionais. Durante este processo, a imagem isolada do guia tomográfico é sobreposta à sua imagem em oclusão, utilizando-se como referência os pontos radiopacos (PAREL; TRIPLETT, 2004; BALSHI; WOLFINGER; BALSHI, 2006b; MARCHACK, 2007; SANNA; MOLLY; VAN STEENBERGHE, 2007; VAN ASSCHE et al., 2007). Nesta fase, define-se também o *threshold* a ser aplicado no caso (SOUZA; CENTENO; PEDRINI, 2003).

Os arquivos obtidos na etapa anterior podem, então, ser abertos em *softwares* de planejamento da posição dos implantes. Estes programas permitem a visualização dos cortes tomográficos no plano axial, em reconstruções panorâmica e tridimensional (MARCHACK, 2007; SANNA; MOLLY; VAN STEENBERGHE, 2007; VAN ASSCHE et al., 2007). Possibilitam, ainda, a manipulação da curva de reconstrução panorâmica, sobre o plano axial, obtendo-se cortes ortogonais a ela para a observação da espessura vestibulo-lingual ou vestibulo-palatina do rebordo alveolar (PAREL; TRIPLETT, 2004; SANNA; MOLLY; VAN STEENBERGHE, 2007; VAN ASSCHE et al., 2007).

O planejamento virtual permite ao implantodontista a escolha da localização, da orientação e das dimensões dos implantes e pilares protéticos a serem instalados. A emergência dos implantes e sua relação com a futura prótese também podem ser observadas e ajustadas conforme conveniência. Desta forma, as limitações dos guias cirúrgicos convencionais podem ser superadas (LAL et al., 2006).

A etapa final do planejamento consiste na definição dos locais de inserção de dois ou mais pinos de estabilização do guia cirúrgico prototipado, que serão dispostos na região vestibular do guia, entre os implantes (BALSHI; WOLFINGER; BALSHI, 2006b; MARCHACK, 2007; SANNA; MOLLY; VAN STEENBERGHE, 2007).

Após a conclusão do planejamento, os arquivos obtidos devem ser enviados para algum serviço de prototipagem biomédica, onde serão convertidos em um

formato apropriado para a obtenção de protótipos (GOMIDE, 2000; GRELLMANN, 2001; MEURER, 2002; PAREL; TRIPLETT, 2004; MARCHACK, 2007; SANNA; MOLLY; VAN STEENBERGHE, 2007; VAN ASSCHE et al., 2007).

Considerando a posição dos implantes, um guia cirúrgico é projetado sobre o modelo virtual e enviado para a estação de prototipagem, onde será confeccionado (LAL et al., 2006).

De acordo com Garg (2006), três tipos de guia podem ser fabricados pelas técnicas de prototipagem, assegurando maior previsibilidade na reabilitação bucal com implantes osseointegrados. Os guias ósseo-suportados ou justa-ósseos são fixados após o deslocamento do retalho muco-periosteal. Apresentam como vantagens a estabilidade de posição durante o procedimento de colocação dos implantes e a possibilidade de visualização direta das estruturas anatômicas. A necessidade de acesso cirúrgico mais amplo pode ser considerada uma desvantagem da utilização deste tipo de guia. Geralmente, são utilizados em arcos parcial ou totalmente edêntulos (TARDIEU; VRIELINCK; ESCOLANO, 2003; GARG, 2006; LAL et al., 2006).

Na técnica que utiliza guias cirúrgicos muco-suportados, a fixação dos pinos estabilizadores é realizada via trans-mucosa. A seqüência de brocas para a colocação dos implantes inicia com um *punch* ou extrator de tecidos moles, com o guia já em posição (PAREL; TRIPLETT, 2004; MARCHACK, 2007; SANNA; MOLLY; VAN STEENBERGHE, 2007). Estão indicados para arcos totalmente edêntulos. A técnica de duplo escaneamento, que envolve tomografias computadorizadas do guia tomográfico, isoladamente e em oclusão, é obrigatória nestes casos. A vantagem desta técnica é a possibilidade de realização de procedimentos minimamente invasivos, sem deslocamento de retalhos, favorecendo o trans e o pós-operatório (GARG, 2006).

Os guias cirúrgicos dento-suportados são apoiados nos dentes remanescentes do paciente. Estão indicados para reabilitação de regiões parcialmente edêntulas e apresentam bons resultados em cirurgias minimamente invasivas, sem a necessidade de retalho (GARG, 2006).

Finalizada a etapa de confecção do guia prototipado, o procedimento cirúrgico para a colocação dos implantes poderá ser realizado, de acordo com as recomendações de cada sistema (ALMOG et al., 2006).

Estudos sobre cirurgia guiada passaram a ser mais destacados na literatura odontológica a partir do início dos anos 2000. Gateno et al. (2003) realizaram uma pesquisa para avaliar a precisão do assentamento de guias cirúrgicos fabricados por estereolitografia e pelo método convencional, em resina acrílica. Sete voluntários com dentição completa foram incluídos na pesquisa. Para cada paciente, foram confeccionados um guia prototipado e outro em acrílico, que foi utilizado como padrão-ouro no trabalho pelo fato de ser confeccionado por técnica direta sobre o modelo de estudo. O espaço entre os dentes e os guias foi avaliado por meio da colocação de fina camada de material para registro de mordida na face interna do guia, seguido de seu posicionamento na boca. As áreas preenchidas pelo material foram mensuradas após a realização de cortes transversais dos guias. A diferença média entre as regiões avaliadas foi de 0,24 mm². Os resultados indicaram que os guias cirúrgicos obtidos pela técnica de estereolitografia apresentam elevado grau de precisão, quanto à sua adaptação sobre os dentes, de modo que o planejamento virtual de sua modelagem pode ser transferido para a cirurgia no paciente.

Sarment, Sukovic e Clinthorne (2003) compararam a precisão do posicionamento final de leitos de implantes, em réplicas de mandíbula humana edêntula, com os planejamentos realizados para a confecção de dois tipos de guias cirúrgicos. Primeiramente, um guia tomográfico contendo cinco pré-molares de material radiopaco (sulfato de bário) foi confeccionado para ser posicionado no lado direito das mandíbulas. Foram realizadas tomografias computadorizadas *cone-beam* das réplicas, com o guia em posição. Após a manipulação e reformatação das imagens, foi planejado, para cada mandíbula, a instalação de 10 implantes dentários. No lado direito, o planejamento foi realizado de acordo com o longo eixo dos pré-molares radiopacos. No lado esquerdo, onde não foi confeccionado guia tomográfico, a posição dos implantes foi definida e um guia cirúrgico foi construído pelo método de estereolitografia. Os procedimentos de instalação dos implantes foram realizados por cinco experientes profissionais, cada um trabalhando em uma mandíbula. Após a realização da instrumentação com a seqüência de brocas recomendada pelo fabricante, os implantes não foram colocados.

Para a obtenção dos resultados, tomografias computadorizadas pós-operatórias foram realizadas e as imagens sobrepostas ao planejamento. A distância média entre a posição planejada e as osteotomias foi de 1,5 mm na porção mais superior e de 2,1 mm no ápice, quando os guias convencionais foram utilizados. As

mesmas medidas foram significativamente reduzidas para 0,9 e 1,0 mm com a utilização de guias prototipados ($p < 0,01$). Em média, as variações observadas, quanto à angulação das pretensas fixações, foram de $8 \pm 4,5$ graus e $4,5 \pm 2$ graus nas osteotomias realizadas com guia cirúrgico convencional e de estereolitografia, respectivamente ($p < 0,01$). Os resultados deste estudo demonstraram as vantagens da utilização de guias cirúrgicos prototipados durante a instalação de implantes dentários (SARMENT; SUKOVIC; CLINTHORNE, 2003).

Van Assche et al. (2007) avaliaram a precisão da transferência do planejamento em computador para a colocação de implantes dentários em quatro mandíbulas humanas, parcialmente edêntulas e com a presença dos tecidos moles. Todas as etapas da cirurgia guiada foram realizadas sobre as peças anatômicas, desde a moldagem inicial e enceramento diagnóstico, até a instalação dos implantes (12 no total).

Tomografias computadorizadas *cone-beam* pós-operatórias foram realizadas e as imagens obtidas foram sobrepostas às pré-operatórias, em ambiente virtual. Os implantes colocados apresentaram, em média, uma variação na angulação de 2 graus (0,7 - 4 graus), quando comparados ao planejamento, enquanto que a variação linear foi de 1 mm (0,3 - 2,3 mm) na região mais superficial e 2 mm (0,7 - 2,4 mm) no ápice dos implantes.

Os autores concluíram que o planejamento em computador, utilizando imagens obtidas em tomógrafos *cone-beam* podem ser aplicados em cirurgia para colocação de implantes dentários com guia prototipado (VAN ASSCHE et al., 2007).

Woitchunas (2008) realizou um estudo em 11 mandíbulas humanas secas para avaliação da transferência do planejamento virtual da posição de implantes dentários para o campo operatório. As imagens digitais utilizadas na fase de planejamento foram adquiridas por aparelho de tomografia computadorizada helicoidal *multislice*. Após as etapas de reformatação e manipulação das imagens, foi planejada a colocação de três implantes em cada mandíbula. As regiões que receberam os implantes variaram de acordo com a área edêntula de cada peça anatômica. Todos os implantes foram instalados pela técnica de cirurgia guiada, com guias confeccionados pelo método de estereolitografia.

Para a análise dos resultados, as imagens obtidas nas tomografias pós-operatórias foram sobrepostas às correspondentes ao planejamento virtual. A distância média entre a região mais superficial dos implantes planejados e

executados foi de 0,74 mm, enquanto que a variação angular média entre seus longo-eixos foi de 2,25 graus.

A avaliação comparativa da pesquisa demonstrou diferenças estatisticamente significativas entre as posições obtidas e planejadas, indicando a necessidade de estudos complementares para analisar a aplicabilidade desta nova rotina técnica na prática clínica de Implantodontia (WOITCHUNAS, 2008).

Van Steenberghe et al. (2002) realizaram um estudo piloto para avaliar os resultados da colocação de implantes dentários pela técnica de cirurgia guiada em maxilas edêntulas de dois cadáveres. Posteriormente, aplicaram o método na reabilitação bucal de oito pacientes.

Guias cirúrgicos ósseo-suportados, confeccionados pelo método de estereolitografia, foram utilizados em todos os procedimentos. Tomografias computadorizadas pós-operatórias foram realizadas nos cadáveres e as variações entre os implantes planejados e executados, avaliadas. A distância média entre os pontos mais superficiais e apicais dos implantes foi de $0,8 \pm 0,3$ mm e $0,9 \pm 0,3$ mm, respectivamente. O ângulo formado pelos longo-eixos dos implantes apresentou variação média de $1,8 \pm 1,0$ graus.

Quanto aos pacientes, todos relataram satisfação com a técnica. O acompanhamento clínico-radiográfico de 12 meses não demonstrou alterações nos implantes e na prótese (VAN STEENBERGHE et al., 2002).

Sammartino et al. (2004) realizaram um estudo comparativo dos guias cirúrgicos convencionais e fabricados por estereolitografia, descrevendo um caso clínico de uma paciente com severa atrofia óssea mandibular. Na investigação relatada, os autores utilizaram dois diferentes métodos de planejamento cirúrgico. No primeiro, procederam à construção de um guia cirúrgico em resina acrílica avaliando os aspectos clínicos do caso. A avaliação da quantidade e densidade óssea foi realizada a partir de uma tomografia computadorizada. O guia cirúrgico prototipado foi obtido a partir do planejamento virtual realizado. Os autores observaram que o planejamento no *software* permitiu maior precisão e consistência no posicionamento e orientação dos implantes, pois foi possível planejar a posição das fixações nas áreas de melhor quantidade e qualidade ósseas. Por este motivo, a cirurgia da paciente foi realizada com o planejamento virtual e com guias cirúrgicos de estereolitografia. O tempo total de cirurgia foi diminuído com a utilização do guia obtido por prototipagem rápida. Segundo os autores, o planejamento com base na

técnica estereolitográfica é seguro e sua aplicação na Implantodontia apresenta inúmeras vantagens. Esta tecnologia oferece benefícios biológicos e terapêuticos que simplificam o manejo anatômico-cirúrgico com vistas a uma colocação precisa do implante.

Di Giacomo et al. (2005) descreveram resultados preliminares da aplicação clínica de guias cirúrgicos fabricados pelo método de estereolitografia para colocação de implantes dentários pela técnica de cirurgia guiada. Na pesquisa, foram utilizados guias cirúrgicos prototipados em quatro pacientes, com a colocação de 21 implantes no total. Foram realizados moldagens e enceramento diagnóstico para cada um dos casos e fabricada uma placa-guia rígida, a qual continha uma mistura de elementos radiopacos que foram posicionados sobre as áreas edêntulas. Após o planejamento virtual das fixações, foram gerados três guias de estereolitografia para cada área cirúrgica. Cada um dos guias continha tubos metálicos (guias-broca) de três diâmetros diferentes, conforme a seqüência da fresagem a ser realizada para inserção dos implantes dentários. Os guias utilizados foram dos tipos ósseo-suportados, dento-suportados e dento-ósseo-suportados. Durante a cirurgia, os guias cirúrgicos foram usados em seqüência, do menor para o maior diâmetro dos tubos. Os autores observaram dificuldade no ajuste dos guias em alguns locais, o que promoveu uma diferença significativa entre o planejado e o obtido. O guia cirúrgico dento-ósseo-suportado apresentou maior estabilidade durante o procedimento.

Tomografias computadorizadas pós-operatórias foram realizadas e as imagens sobrepostas ao planejamento. Para todas as comparações do estudo foi verificada uma diferença mais significativa entre as regiões apicais dos implantes. Os resultados obtidos indicaram uma média de variação entre o longo-eixo dos implantes pré e pós-cirúrgico de $7,25 \pm 2,6$ graus. A análise das distâncias coronais e apicais entre os implantes planejados e executados apresentou variação de 1,45 e 2,99 mm, respectivamente. As menores variações foram observadas nos casos onde o guia cirúrgico apresentava maior estabilidade de posição. Os autores destacaram a necessidade da obtenção de maneiras para aumentar a estabilidade dos guias durante a cirurgia, visando diminuir as variações no posicionamento final dos implantes (DI GIACOMO et al., 2005).

Nickenig e Eitner (2007) avaliaram a transferência do planejamento virtual para a cirurgia de colocação de implantes dentários pela técnica de cirurgia guiada.

Foi incluído no estudo um total de 102 pacientes (250 implantes). As áreas posteriores de mandíbula receberam 55,4% dos implantes. Reabilitação de arcos edêntulos ocorreu em 18 casos (7,2%).

O planejamento de todos os pacientes foi realizado em computador, a partir de imagens obtidas por tomografias computadorizadas *cone-beam*. A cirurgia sem retalho foi utilizada para a colocação de 147 implantes (58,8%) e, em todos os casos, o procedimento transcorreu normalmente. Em 98,4% dos pacientes não foram observados problemas para a adaptação do guia cirúrgico e instrumentação trans-operatória. O espaço interoclusal diminuto foi fator limitante para a técnica em quatro pacientes.

O planejamento inicial foi modificado em oito casos, nos quais, após a realização do retalho muco-periostal, foi constatada a necessidade de alteração no procedimento de manipulação do tecido ósseo disponível e colocação simultânea dos implantes. Quanto à predictibilidade do tamanho das fixações, apenas um implante necessitou ser trocado, devido à insuficiente espessura óssea, por um de menor diâmetro.

As radiografias panorâmicas pós-operatórias demonstraram que estruturas anatômicas como seio maxilar, canal mandibular, forame mentoniano e dentes vizinhos não foram atingidos, de acordo com o planejamento. Quando comparadas às reconstruções panorâmicas do *software* de planejamento, foram observadas diferenças consideráveis no ângulo dos implantes em nove casos.

Os autores concluíram que o planejamento virtual, a partir de imagens adquiridas pela tomografia *cone-beam*, pode ser reproduzido na cirurgia de colocação de implantes dentários e constitui método confiável para definição do posicionamento e dimensões das fixações, prevenindo complicações associadas a estruturas anatômicas e possibilitando cirurgias sem retalho (NICKENIG; EITNER, 2007).

Sanna, Molly e Van Steenberghe (2007) avaliaram a sobrevivência de implantes inseridos em arcos completamente edêntulos pela técnica de cirurgia guiada, utilizando tomografias *cone-beam*, guias muco-suportados e carga imediata. Foram incluídos no estudo, 30 pacientes, com idade compreendida entre 38 e 74 anos (média de 56 anos). O acompanhamento clínico e radiográfico ocorreu por um período máximo de 5 anos (média de 2,2 anos).

De um total de 183 implantes avaliados, 9 foram perdidos (4,9%), sendo que, destes, 8 eram de pacientes fumantes. O índice absoluto de sobrevivência (IAS) dos implantes foi de 95%. O índice cumulativo de sobrevivência (ICS), após 5 anos, foi de 91,5%. Considerando apenas os pacientes não fumantes, o ICS foi de 98,9%. A média de perda óssea foi de 2,6 mm e 1,2 mm nos grupos fumantes e não-fumantes, respectivamente. Os resultados deste estudo indicaram que a instalação de implantes dentários, pela técnica de cirurgia guiada, e colocação imediata de prótese fixa apresentam índices semelhantes ao mesmo tipo de reabilitação sobre implantes reabertos após o período de osseointegração (SANNA; MOLLY; VAN STEENBERGHE, 2007).

4 METODOLOGIA

Esta pesquisa foi realizada junto ao Programa de Pós-graduação em Odontologia, da Faculdade de Odontologia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), como parte integrante da linha de pesquisa Diagnóstico e Terapêuticas Aplicadas. Seu desenvolvimento ocorreu de acordo com o paradigma tradicional quantitativo, tendo como abordagem um estudo descritivo comparativo com delineamento quase-experimental (ENGERS, 1994; FREIRE; PATUSSI, 2001).

O protocolo de pesquisa foi submetido e aprovado pela Comissão Científica e de Ética da Faculdade de Odontologia da PUCRS, sob o número 005/07 (ANEXO A).

4.1 PROBLEMA

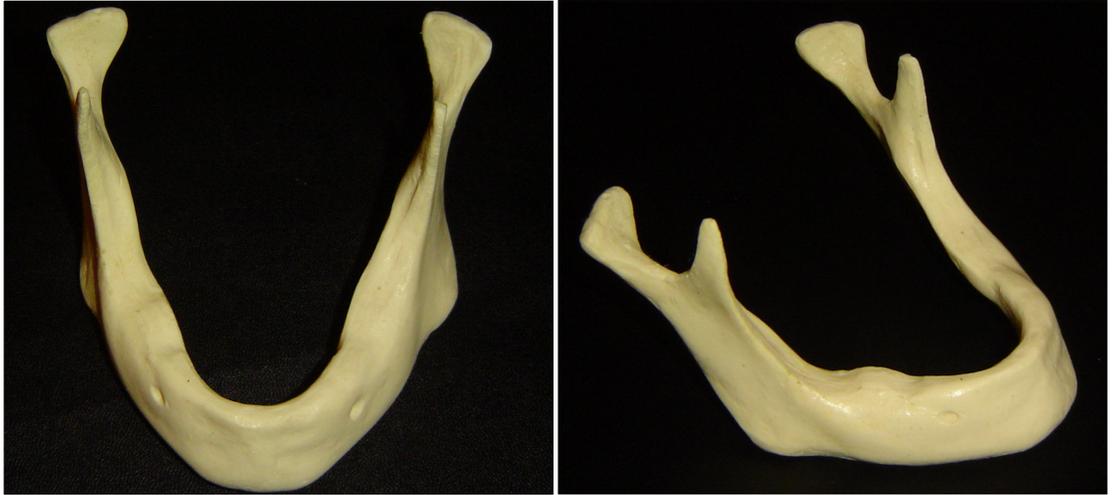
As variações observadas na transferência para o campo operatório do posicionamento de implantes dentários, determinado durante o planejamento virtual e obtido em cirurgia simulada sobre protótipo biomédico, por meio da técnica de cirurgia guiada indicam confiabilidade na utilização deste método?

4.2 CONFIGURAÇÃO DA AMOSTRA

A pesquisa foi realizada em 11 réplicas idênticas de mandíbula humana edêntula², confeccionadas em resina epóxica e adquiridas no comércio local.

²Inodon® Ltda., Porto Alegre, RS, Brasil.

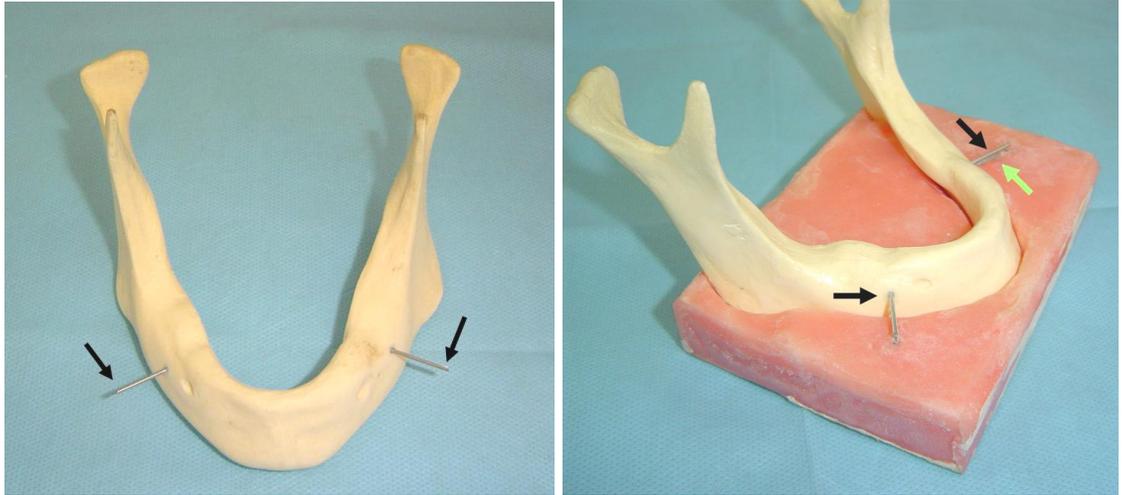
As réplicas de mandíbula utilizadas eram maciças, sem distinção de osso cortical e medular. Sua radiopacidade foi testada previamente em estudo piloto, durante a fase de definição da metodologia da presente pesquisa (Figuras 2a e 2b).



Figuras 2a e 2b - Réplicas de mandíbula humana utilizadas na pesquisa. Fonte: Dados da pesquisa.

4.3 PREPARO DAS RÉPLICAS DE MANDÍBULA HUMANA

Uma haste metálica foi fixada na região de primeiro molar, bilateralmente, em todas as réplicas utilizadas na pesquisa. Para padronização deste procedimento, as mandíbulas foram colocadas em uma base de resina acrílica, desenvolvida para o estudo e que continha outra haste metálica incluída na sua estrutura. Esta segunda haste foi utilizada para orientação da fixação do artefato metálico nas réplicas (Figuras 3a e 3b).



Figuras 3a e 3b - Hastes metálicas posicionadas em uma das réplicas de mandíbula humana utilizada na pesquisa (setas pretas). A seta verde indica a haste metálica incluída na estrutura da base de resina acrílica. Fonte: Dados da pesquisa.

4.4 PLANEJAMENTO PRÉ-OPERATÓRIO

4.4.1 Tomografia computadorizada e obtenção do modelo CAD tridimensional

A tomografia computadorizada utilizada neste estudo foi do tipo *cone-beam*, realizada em tomógrafo³ disponível em uma clínica de Radiologia⁴ na cidade de Porto Alegre/RS (Figura 4a).

As réplicas de mandíbula humana foram posicionadas no aparelho de TC sobre uma plataforma de acrílico na região correspondente à cabeça do paciente, que neste tomógrafo seria posicionado sentado.

Entre a mandíbula e a plataforma foi interposta uma esponja de 2,5 cm de altura, para não haver interferência na imagem da região basilar da réplica (Figura 4b).

³i-CAT® *Cone Beam 3-D Imaging System*, *Imaging Sciences International*, Hatfield, PA, EUA.

⁴CDI, Centro de Diagnóstico por Imagem, Porto Alegre, RS, Brasil.



Figuras 4a e 4b - Aparelho de TC *cone-beam* e posicionamento da mandíbula sobre plataforma de acrílico. Fonte: Dados da pesquisa.

A aquisição das imagens base de cada mandíbula foi realizada durante 40 segundos, com protocolo de alta resolução e voxel de 0,2 mm de dimensões. Os parâmetros utilizados foram de 120 kVp e 8 mA. Ao término do exame, a seqüência de projeções adquirida foi reconstruída em *software* proprietário do aparelho⁵, que compõe o conjunto do equipamento de TC, gerando uma imagem volumétrica tridimensional (primeiro volume). Esta imagem foi alinhada de forma padronizada nos planos axial, coronal e sagital (Figura 5).

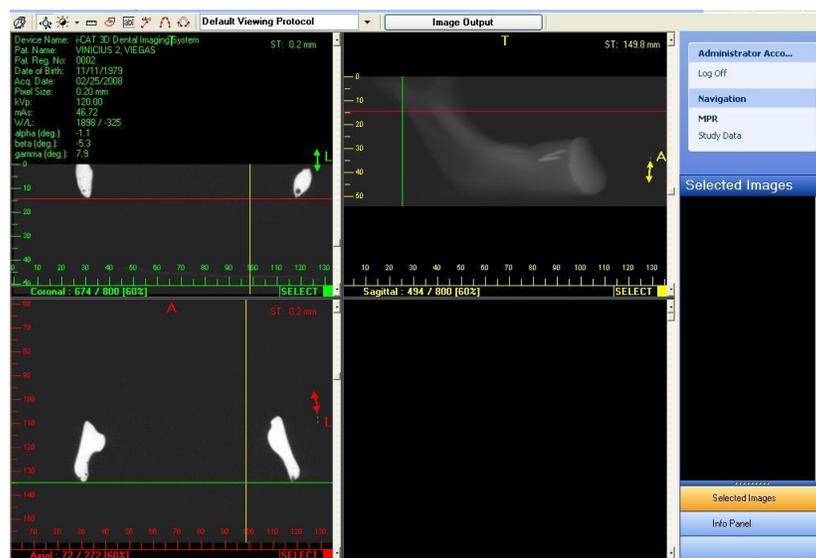


Figura 5 - Imagem da tela do computador mostrando alinhamento das imagens obtidas nos planos axial, coronal e sagital. *Software i-CAT® Cone Beam 3-D Imaging System*. Fonte: Dados da pesquisa.

⁵i-CAT® *Cone Beam 3-D Imaging System*, *Imaging Sciences International*, Hatfield, PA, EUA.

Cortes axiais de 0,2 mm de espessura foram obtidos e exportados no formato DICOM para o *software* Bioparts Converter 2.1.5⁶, onde foram convertidos para o formato *.cnv (indica arquivos de conversão).

A manipulação das imagens para obtenção do modelo CAD tridimensional foi, igualmente, realizada neste programa de computador. A primeira etapa deste processo consiste na identificação das regiões de interesse do objeto a ser reconstruído no conjunto de imagens fornecidas pelo tomógrafo. No referido *software*, uma das ferramentas utilizadas para a segmentação das imagens baseia-se na definição dos níveis de cinza e é denominada *threshold*. As hastes metálicas foram segmentadas, em um segundo volume, da estrutura da réplica de mandíbula, que foi a região de interesse no trabalho.

Para não haver diferença nas representações tomográficas das dimensões das mandíbulas, o intervalo do *threshold* foi padronizado para todas as réplicas (291 a 4095).

Concluída esta etapa, o modelo CAD tridimensional pôde ser gerado e o projeto, finalizado (Figura 6).

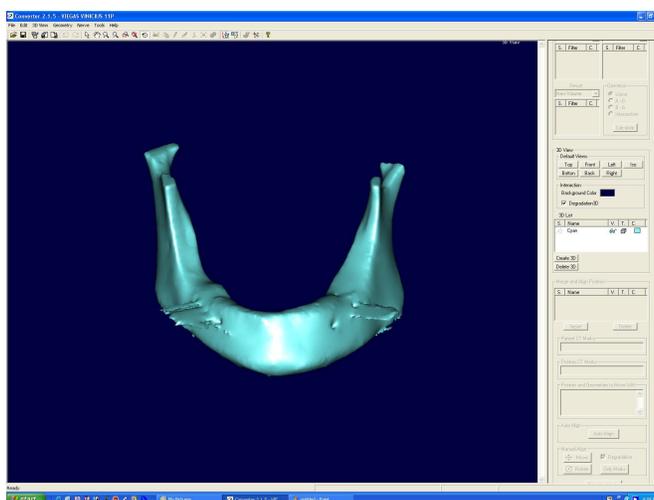


Figura 6 - Imagem da tela do computador mostrando modelo CAD 3D gerado. Observam-se os artefatos gerados pelas hastes metálicas, sem interferência nos resultados da pesquisa. *Software* Bioparts Converter 2.1.5⁶. Fonte: Dados da pesquisa.

O projeto obtido foi exportado para poder ser manipulado em *software* de planejamento da posição de implantes dentários.

⁶Bioparts[®] Prototipagem biomédica, Brasília, DF, Brasil.

Para viabilizar este processo, as imagens foram transformadas de arquivo *.cnv para *.bpt, que é um formato reconhecido pelo programa.

4.4.2 Planejamento virtual da posição dos implantes dentários

O *software* Dental Slice^{®7} foi utilizado para o planejamento da posição dos implantes neste estudo. Este *software* apresenta quatro janelas de visualização: axial, panorâmica, tridimensional e transversal *cross*, que corresponde à reconstrução de um corte ortogonal à linha de reconstrução panorâmica definida sobre o plano axial (Figura 7).

O programa permite a definição das dimensões dos implantes e dos conectores a serem colocados. Nesta pesquisa, os implantes planejados foram de 3,75 mm de diâmetro por 11 mm de comprimento.

O posicionamento dos implantes foi definido no corte transversal *cross* onde a haste metálica podia ser melhor visualizada. Variações na curva de reconstrução panorâmica permitiram que o corte tomográfico utilizado mantivesse a orientação exata da haste metálica (Figura 7).

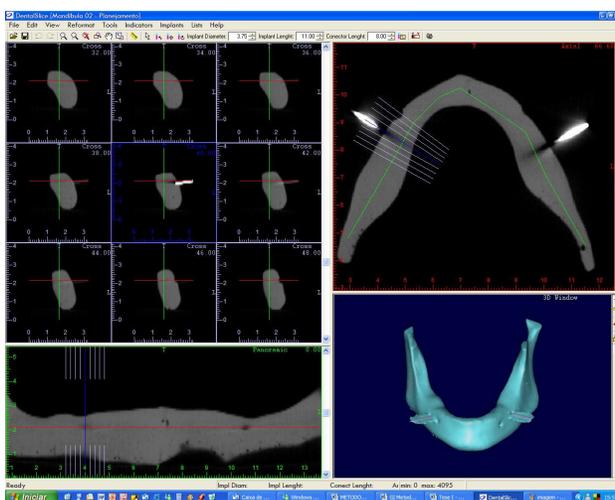
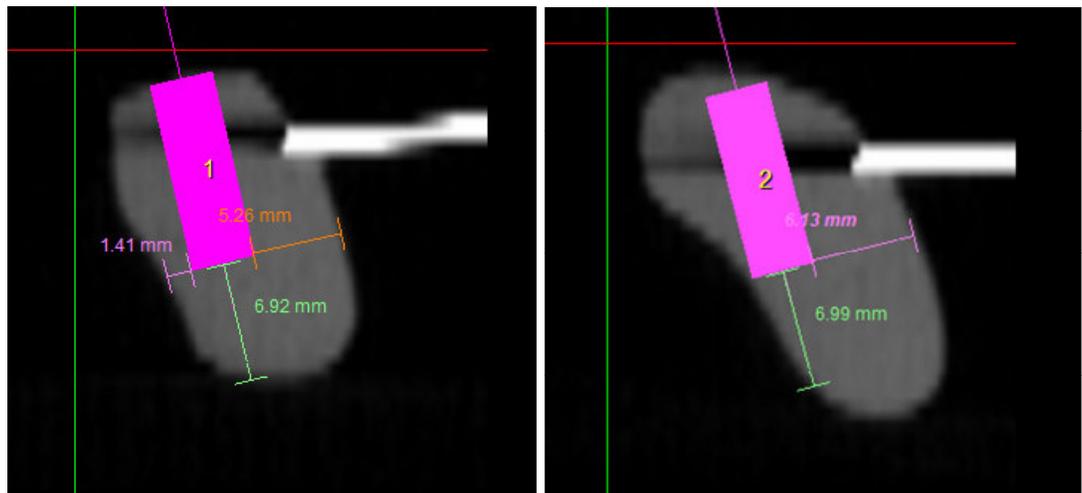


Figura 7 - Imagem da tela do computador mostrando as quatro janelas de visualização. Observar, na janela *cross*, a imagem central onde melhor se visualiza a haste metálica. Na janela axial, a orientação do corte *cross* foi definida de acordo com a haste metálica (linha azul). *Software* Dental Slice[®]. Fonte: Dados da pesquisa.

⁷Dental Slice[®], *software* livre, disponível em www.dentalslice.com.br.

Como o posicionamento das hastes foi padronizado e as mandíbulas eram idênticas, todos os implantes foram planejados no mesmo local.

Para que todos os implantes fossem planejados com a mesma orientação, foram utilizadas medidas padronizadas a partir da imagem do implante até os limites vestibular, lingual e apical do contorno da mandíbula. O implante número 1 foi planejado em posição centralizada na mandíbula e correspondeu ao lado direito da réplica. O implante número 2, lado esquerdo, foi posicionado com a região apical junto à parede lingual da mandíbula (Figuras 8a e 8b).



Figuras 8a e 8b - Imagens correspondentes à janela *cross* do planejamento dos implantes número 1 e 2. Medidas para padronização da posição dos implantes nos 11 planejamentos. *Software Dental Slice*[®]. Fonte: Dados da pesquisa.

Concluído o planejamento, os arquivos de computador obtidos foram enviados para a confecção dos protótipos biomédicos e guias cirúrgicos prototipados.

4.4.3 Confeção dos protótipos biomédicos e guias cirúrgicos

O planejamento virtual foi enviado diretamente para um centro de prototipagem biomédica⁸, via internet, por meio do protocolo *File Transfer Protocol* (FTP).

Os guias cirúrgicos confeccionados neste estudo foram do tipo ósse-suportados.

Os biomodelos e os guias cirúrgicos foram fabricados pelo método de estereolitografia.

Anilhas metálicas correspondentes às dimensões e sistema de implantes utilizado na pesquisa foram fixadas nos guias ao término de seu pós-processamento (Figura 9).



Figura 9 - Biomodelo e guia cirúrgico, com as anilhas, confeccionados pelo método de estereolitografia. Fonte: Dados da pesquisa.

⁸Bioparts® Prototipagem biomédica, Brasília, DF, Brasil.

4.4.4 Simulação do procedimento nos protótipos biomédicos

Cirurgias simuladas para a colocação dos implantes nos biomodelos, com o guia prototipado, foram realizadas previamente ao procedimento nas réplicas de mandíbula humana.

A técnica recomendada pelo fabricante foi seguida em todas as etapas.

Os implantes foram retirados dos biomodelos imediatamente após sua instalação.

4.5 CIRURGIA PARA COLOCAÇÃO DOS IMPLANTES DENTÁRIOS

4.5.1 Implantes dentários e sistema de cirurgia guiada

Os implantes utilizados nesta pesquisa foram cedidos pela Neodent^{®9} e apresentavam as seguintes características: formato cilíndrico, conexão tipo cone morse, comprimento de 11 mm e diâmetro de 3,75 mm.

Da mesma forma, o sistema de cirurgia guiada foi cedido pela empresa e denomina-se Neoguide^{®10}. Este sistema possui os materiais necessários para a colocação de implantes pela técnica de cirurgia guiada.

⁹Neodent[®], Implante osteointegrável, Curitiba, PR, Brasil.

¹⁰Neoguide[®], Neodent[®], Implante osteointegrável, Curitiba, PR, Brasil.

4.5.2 Cirurgia guiada

O processo para a colocação dos implantes dentários pela técnica de cirurgia guiada seguiu os seguintes passos nesta pesquisa:

a) Fixação do guia cirúrgico

A fixação do guia cirúrgico ósseo-suportado foi realizada com a transfixação de dois pinos estabilizadores através de perfurações realizadas no guia e na réplica de mandíbula (Figura 10).

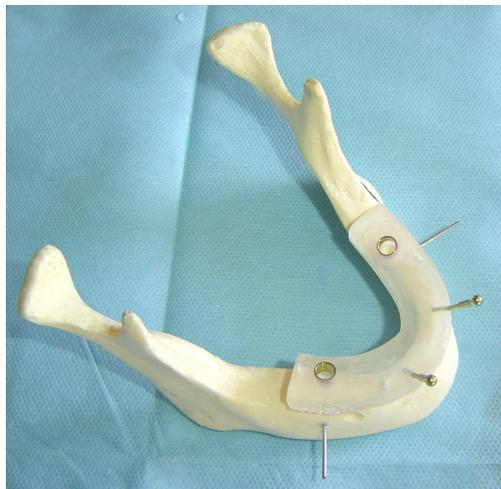
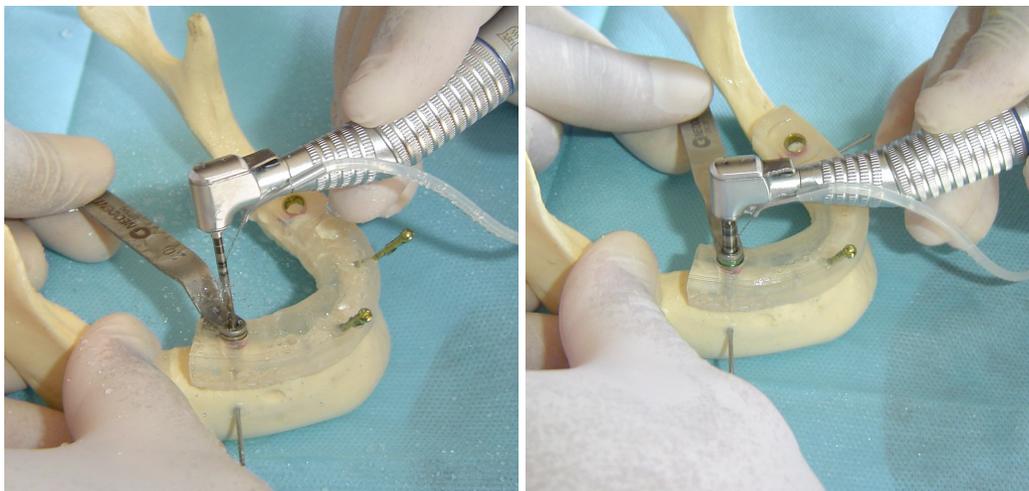


Figura 10 - Guia cirúrgico fixado na mandíbula por dois pinos estabilizadores. Fonte: Dados da pesquisa.

b) Perfurações com a seqüência de brocas

Devido ao fato de não haver a necessidade de remoção de tecido mole, a seqüência de brocas começou com a broca lança para a perfuração inicial. Em seguida, foram utilizadas brocas helicoidais de 2 mm, 2,8 mm, 3 mm e 3,3 mm com seus respectivos guias-broca.

As perfurações foram realizadas com contra-ângulo¹¹ montado em motor elétrico¹² sob constante irrigação (Figuras 11a e 11b).



Figuras 11a e 11b - Perfurações com as brocas de 2 mm e 3,3 mm e seus respectivos guias-broca.
Fonte: Dados da pesquisa.

c) Colocação do guia-implante

O guia-implante é uma anilha que limita os movimentos laterais do montador no momento da colocação do implante.

d) Troca do montador do implante

O sistema Neoguide[®] possui um montador específico e adaptado à anilha (guia-implante) colocada no guia cirúrgico durante o procedimento. Seu diâmetro varia com o diâmetro do implante utilizado. Neste trabalho, foram utilizados montadores de 3,75 mm de diâmetro por 10 mm de comprimento. A troca do montador que acompanha o implante foi realizada em local específico no kit cirúrgico do sistema (Figuras 12a e 12b).

¹¹Kavo[®] do Brasil Indústria e Comércio Ltda., Joinville, SC, Brasil.

¹²VK Driller[®] Equipamentos Elétricos Ltda., São Paulo, SP, Brasil.

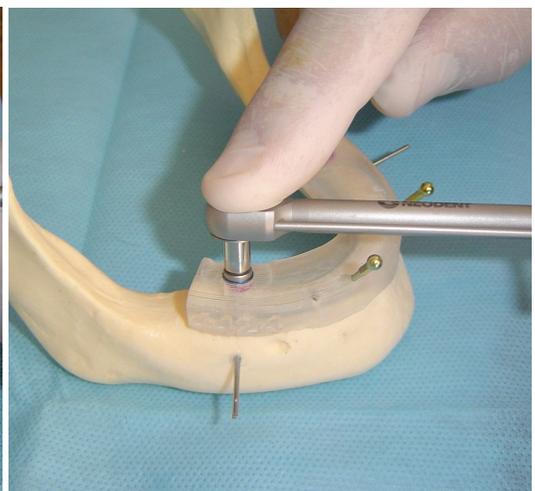


Figuras 12a e 12b - Montador do sistema Neoguide[®] sendo posicionado sobre o implante. Em “b”, observa-se montador do implante (azul) e montador do sistema Neoguide[®] já parafusado ao implante.
Fonte: Dados da pesquisa.

e) Colocação do implante

O implante foi colocado com catraca, sem a utilização de motor.

De acordo com o sistema utilizado, o implante deve ser introduzido no seu leito até o montador entrar em contato com o guia. Isto significa que a altura do guia cirúrgico deve permitir que o implante atinja a profundidade planejada em computador (Figuras 13a e 13b).



Figuras 13a e 13b - Colocação do implante. Observar anilha azul, que atua como guia do implante, e montador do implante em contato com o guia cirúrgico. Fonte: Dados da pesquisa.

Finalizada a etapa de colocação do implante, o montador e o guia foram removidos e o parafuso de cobertura, instalado.

4.6 PROCEDIMENTOS PÓS-OPERATÓRIOS

4.6.1 Tomografia computadorizada pós-operatória

Tomografias computadorizadas pós-operatórias foram realizadas, com os mesmos parâmetros de aquisição das imagens e no mesmo aparelho, para aferição do posicionamento dos implantes em relação ao planejamento inicial.

Após a realização dos exames tomográficos, os implantes foram retirados das réplicas de mandíbula.

4.6.2 Reformatação e manipulação das imagens pós-operatórias

As imagens tomográficas adquiridas receberam o mesmo tratamento das imagens pré-operatórias. Na etapa de obtenção do modelo CAD tridimensional, os implantes foram segmentados, em um segundo volume, juntamente com as hastes metálicas das réplicas de mandíbula. O *threshold* utilizado para a mandíbula foi o mesmo da fase de planejamento.

Os arquivos obtidos foram abertos no programa Dental Slice[®] para que a análise dos resultados pudesse ser realizada.

4.7 OBTENÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.7.1 Avaliação em modelo virtual

O modelo CAD tridimensional do planejamento da posição dos implantes foi sobreposto e alinhado ao modelo pós-operatório, em computador.

Em seguida, foram capturadas, sobre o longo-eixo de cada implante planejado e executado, as seguintes referências:

- um ponto no limite apical do implante;
- um ponto na região central do implante;
- um ponto no limite coronal do implante;
- um vetor de direção sobre longo-eixo do implante (Figura 14).

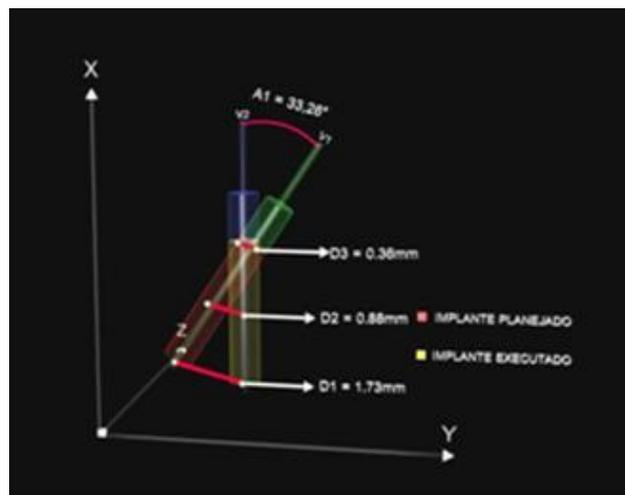


Figura 14 - Desenho esquemático da metodologia utilizada para aferição da discrepância entre as posições pré e pós-operatórias dos implantes. Fonte: Bioparts®.

As medidas D1, D2 e D3 foram calculadas pelas distâncias lineares entre os pontos apicais, centrais e coronais dos implantes, respectivamente.

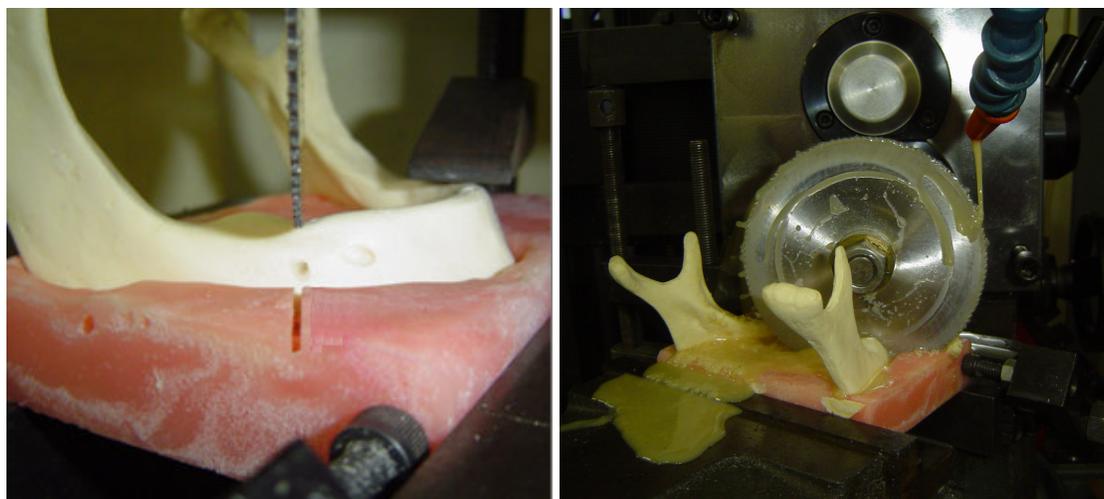
A medida A1 correspondeu ao ângulo formado por vetores sobre os longo-eixos dos implantes.

4.7.2 Avaliação em modelo real

As réplicas de mandíbula humana e os protótipos biomédicos foram seccionados no plano das hastes metálicas com serra circular de aço rápido (1 mm de espessura por 10 cm de diâmetro)¹³ montada em máquina de corte¹⁴, disponível no Laboratório de Mecânica da Divisão de Engenharia Biomédica do Hospital São Lucas da PUCRS.

Para a realização dos cortes, a base de resina, utilizada para padronização do posicionamento das hastes metálicas, foi fixada em uma morsa mecânica¹⁵. As peças a serem seccionadas foram posicionadas na base e mantidas em posição por uma presilha metálica.

O eixo de movimentação da serra foi vertical. A movimentação horizontal foi realizada para a obtenção de segmentos de 6 mm de espessura. O processo de corte foi realizado sob irrigação de óleo solúvel¹⁶ diluído (Figuras 15a e 15b).



Figuras 15a e 15b - Mandíbula fixada pela presilha metálica e posicionada na base de resina sendo seccionada sob irrigação. Observar a fixação da base de resina acrílica na morsa mecânica.

Fonte: Dados da pesquisa.

¹³Serras Lang Indústria e Comércio Ltda., São Paulo, SP, Brasil.

¹⁴Emco FB-3 Milling Machine®, Emco Maier Gessellschaft, Hallein, Áustria.

¹⁵Revalp comércio de máquinas e ferramentas Ltda., São José dos Campos, SP, Brasil.

¹⁶Óleo solúvel para ferramentas de corte, Lubrax OP-38, Petrobrás distribuidora S.A., Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Os cortes dos modelos permitiram a visualização dos leitos dos implantes para posterior análise (Figura 16).



Figura 16 - Leitos dos implantes observados após o corte das mandíbulas no plano das hastes metálicas. Fonte: Dados da pesquisa.

Imagens digitalizadas das peças obtidas foram adquiridas por câmera de vídeo¹⁷ acoplada em estereomicroscópio¹⁸ com iluminação transmitida e incidente.

A distância focal foi padronizada e o aumento das imagens foi de aproximadamente 6 vezes.

Para a obtenção de uma escala de medida adequada ao aumento, foi digitalizada a imagem de um gabarito de resolução com medidas conhecidas.

Esta etapa da pesquisa foi realizada no Laboratório de Metalografia da Faculdade de Engenharia da PUCRS, com apoio do Instituto Idéia de Pesquisa e Desenvolvimento da PUCRS (Figura 17).

¹⁷Sony® XCST70, Sony® corporation, Tóquio, Japão.

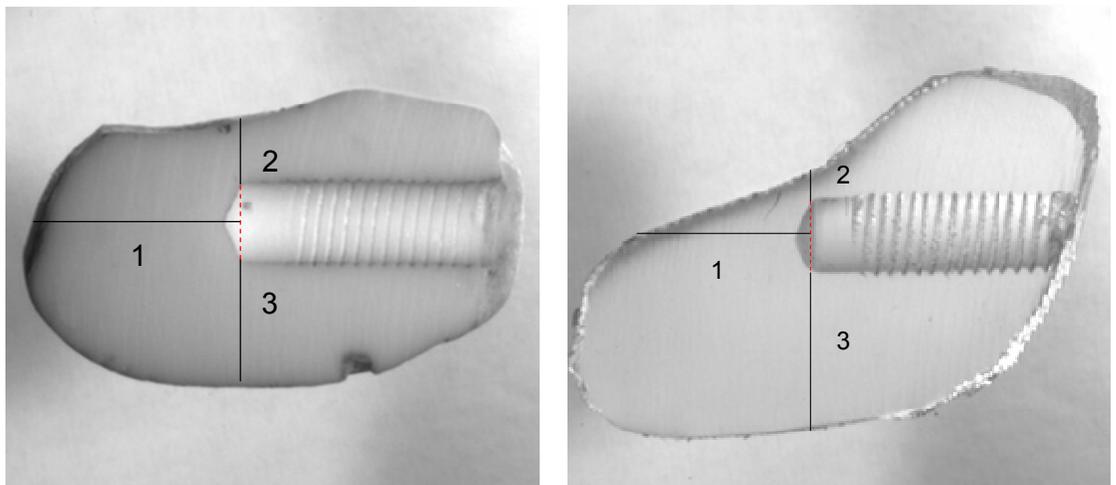
¹⁸DFVasconcelos S.A., Óptica e mecânica de alta precisão, São Paulo, SP, Brasil.



Figura 17 - Estereomicroscópio de iluminação transmitida e incidente com câmera de vídeo acoplada.
Fonte: Dados da pesquisa.

As imagens adquiridas foram exportadas e analisadas no *software* Improlab^{®19}. Com a utilização do gabarito, foi definido que 1 mm correspondia a 23 pixels na imagem. Desta forma, foram realizadas as seguintes medidas lineares:

- medida 1: sobre o longo-eixo do implante, a distância da região apical do leito observado até a margem inferior do modelo;
- medidas 2 e 3: distância do ângulo reto formado pelas margens lateral e apical do leito observado até os limites dos modelos (Figuras 18a e 18b).



Figuras 18a e 18b - Imagens obtidas no estereomicroscópio e representação das medidas realizadas. Em "a" observa-se leito de implante do lado direito da réplica. Em "b" observa-se leito de implante do lado esquerdo do biomodelo. Fonte: Dados da pesquisa.

¹⁹Improlab[®], *software* livre, disponível em www.ee.pucrs.br/~lucas/improlab.

As medidas foram realizadas em dois momentos distintos. Os resultados obtidos corresponderam à média das duas aferições. Durante a realização das medidas, o pesquisador não tinha conhecimento de qual réplica de mandíbula ou biomodelo correspondia a peça observada.

4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos na avaliação virtual desta pesquisa foram analisados por meio de estatística descritiva (média e desvio-padrão) e pelo teste t de *Student* para uma amostra. Este teste pode ser aplicado quando se deseja comparar os valores de uma amostra com um valor de referência (LUIZ, 2005).

Os dados da avaliação em modelo real foram analisados por meio de estatística descritiva e pelo cálculo do Coeficiente de Correlação Intraclasse (CCI), considerando a classificação de Byrt (1996) para interpretação dos valores encontrados (LUIZ, 2005).

O processamento e análise de todos os dados da pesquisa foram realizados com a utilização do *software* estatístico SPSS^{®20} versão 10.0, em ambiente Windows^{®21}.

O intervalo de confiança para a análise dos resultados foi de 95% para todos os testes utilizados.

²⁰SPSS[®] 10.0 para Windows, *Statistical Package for the Social Science*, São Paulo, SP, Brasil.

²¹Windows XP[®] Professional, Microsoft[®] Corporation, Redmond, EUA.

5 RESULTADOS

5.1 AVALIAÇÃO EM MODELO VIRTUAL

A sobreposição dos modelos tridimensionais pré e pós-operatórios em ambiente virtual permitiu a análise de eventuais discrepâncias entre os implantes planejados e instalados, conforme metodologia anteriormente descrita (Figura 19).

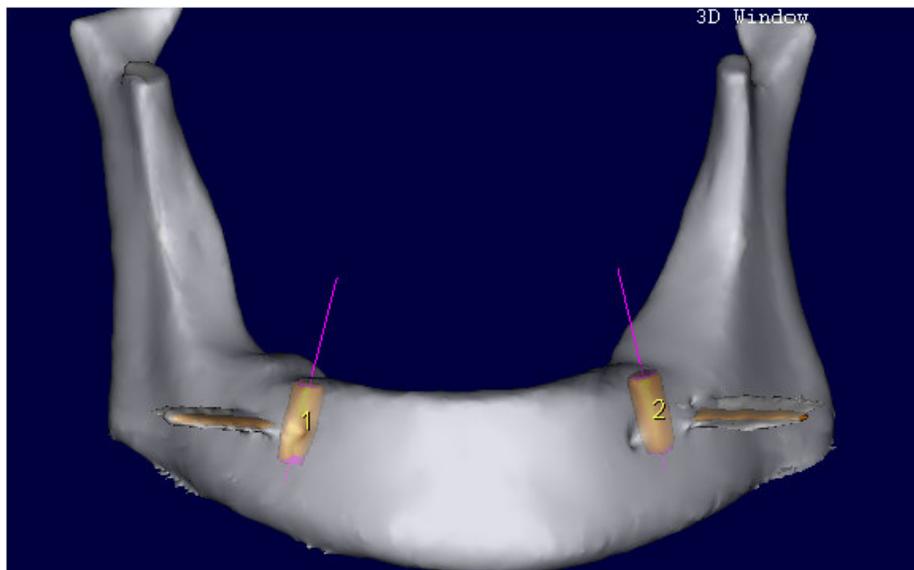


Figura 19 - Imagem correspondente à janela tridimensional demonstrando a sobreposição dos modelos CAD 3D. Em rosa, observa-se o implante planejado e em amarelo, o instalado. *Software Dental Slice®*. Fonte: Dados da pesquisa.

Nos implantes instalados no lado direito das réplicas de mandíbula (número 1), a distância D1 (apical) apresentou valor médio de $0,36 \pm 0,25$ mm (Gráfico 1).

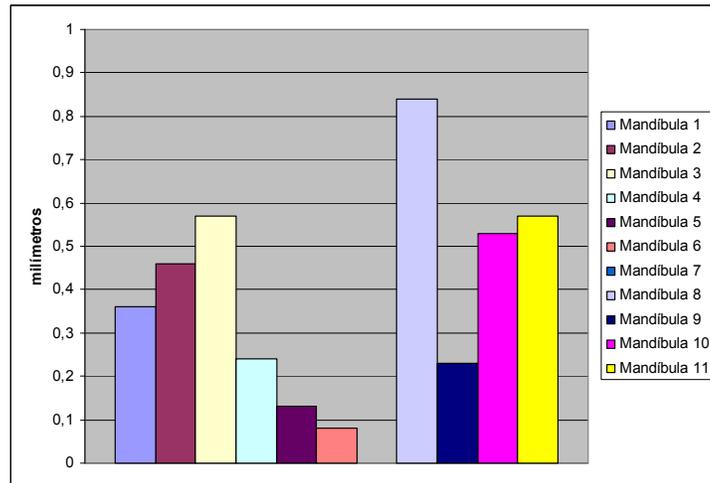


Gráfico 1 - Distância entre os pontos apicais dos implantes instalados no lado direito das réplicas de mandíbula humana. Fonte: Dados da pesquisa.

As distâncias D2 (central) e D3 (coronal) apresentaram, nestes implantes, os valores médios de $0,31 \pm 0,15$ mm e $0,30 \pm 0,17$ mm, respectivamente (Gráficos 2 e 3).

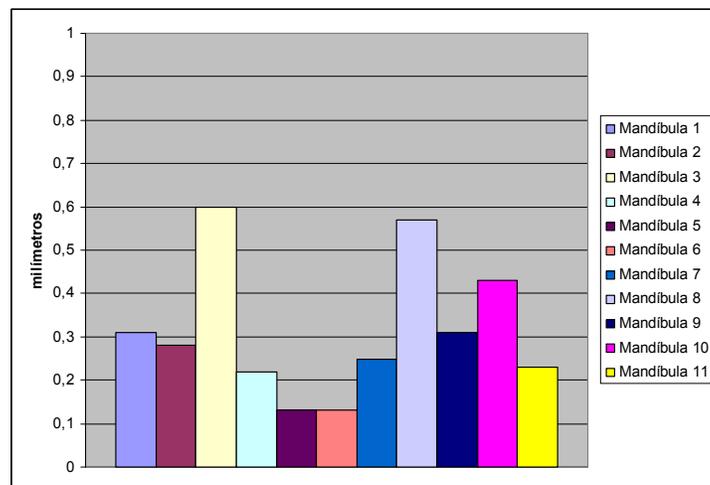


Gráfico 2 - Distância entre os pontos centrais dos implantes instalados no lado direito das réplicas de mandíbula humana. Fonte: Dados da pesquisa.

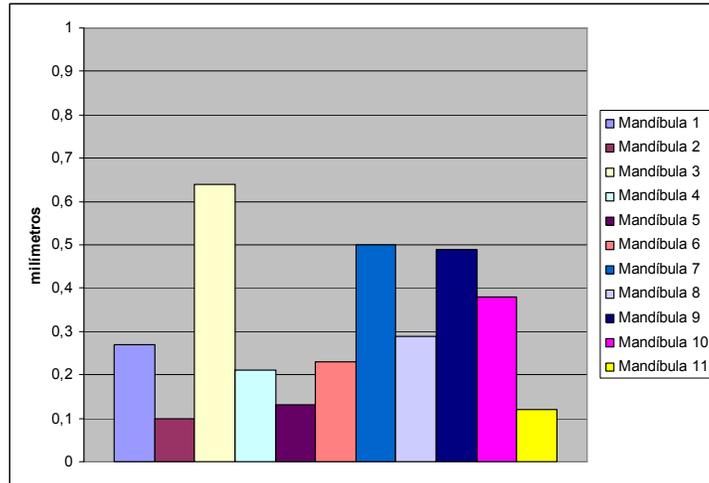


Gráfico 3 - Distância entre os pontos coronais dos implantes instalados no lado direito das réplicas de mandíbula humana. Fonte: Dados da pesquisa.

Nos implantes instalados no lado esquerdo das réplicas de mandíbula (número 2), a distância D1 (apical) apresentou valor médio de $0,41 \pm 0,22$ mm (Gráfico 4).

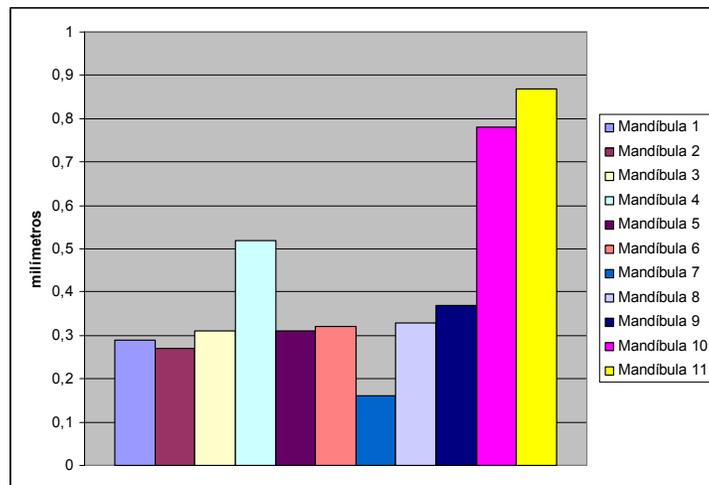


Gráfico 4 - Distância entre os pontos apicais dos implantes instalados no lado esquerdo das réplicas de mandíbula humana. Fonte: Dados da pesquisa.

As distâncias D2 (central) e D3 (coronal) apresentaram, nestes implantes, os valores médios de $0,39 \pm 0,20$ mm e $0,37 \pm 0,20$ mm, respectivamente (Gráficos 5 e 6).

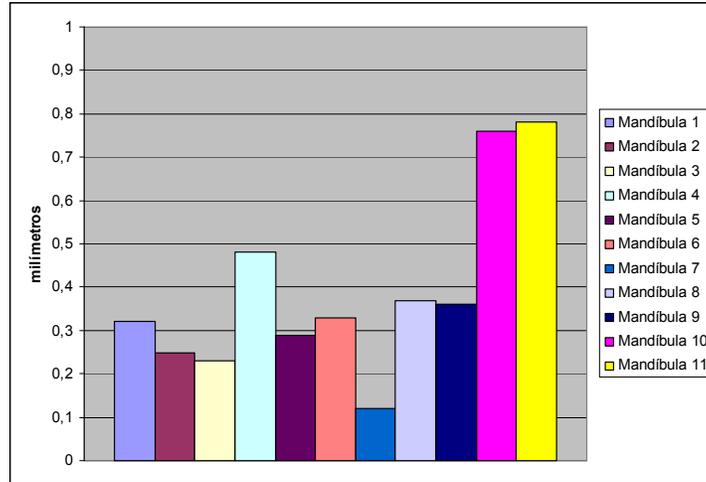


Gráfico 5 - Distância entre os pontos centrais dos implantes instalados no lado esquerdo das réplicas de mandíbula humana. Fonte: Dados da pesquisa.

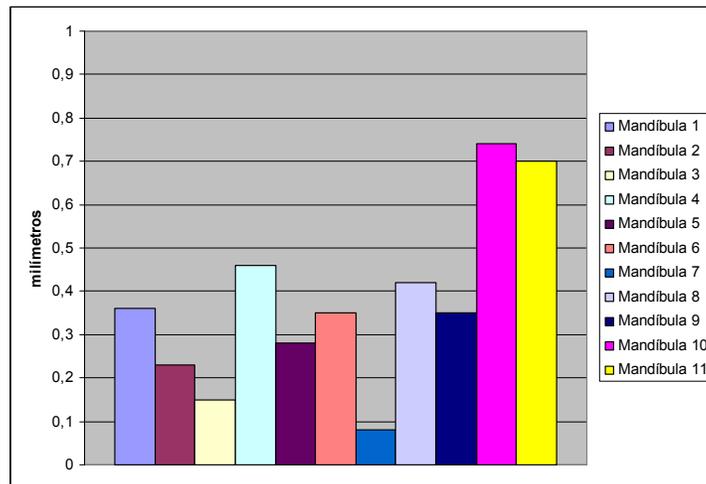


Gráfico 6 - Distância entre os pontos coronais dos implantes instalados no lado esquerdo das réplicas de mandíbula humana. Fonte: Dados da pesquisa.

A distância média entre os pontos analisados apresentou uma tendência de discreto aumento no sentido apical dos implantes (Gráfico 7).

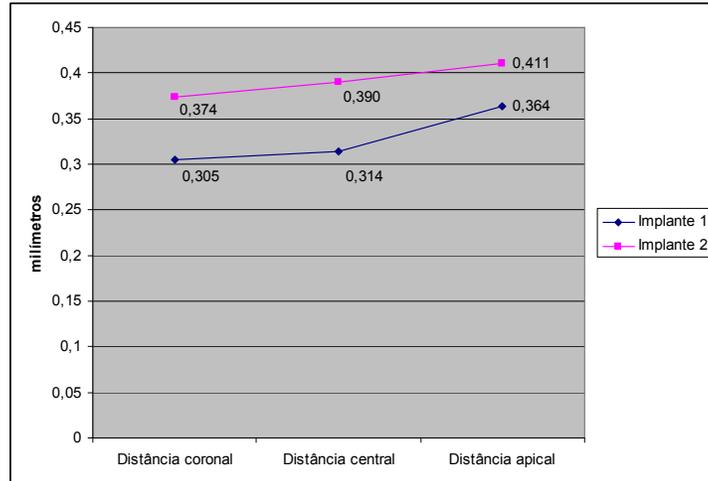


Gráfico 7 - Distância média entre os pontos analisados nos implantes instalados nos lados direito e esquerdo das réplicas de mandíbula humana. Observar que as variações são inferiores a 0,1 milímetros. Fonte: Dados da pesquisa.

O ângulo formado pelos longo-eixos dos implantes apresentou valor médio de $1,45 \pm 0,89$ graus nos implantes de número 1 e $0,70 \pm 0,30$ graus nos implantes de número 2 (Gráficos 8 e 9).

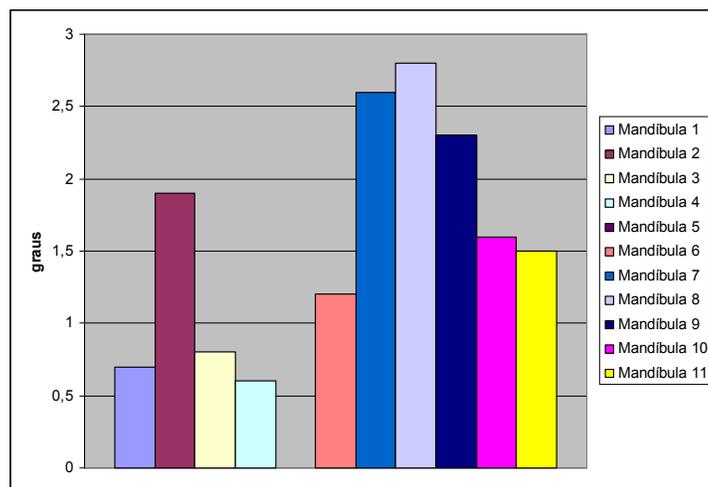


Gráfico 8 - Ângulo formado pelos implantes instalados no lado direito das réplicas de mandíbula humana. Fonte: Dados da pesquisa.

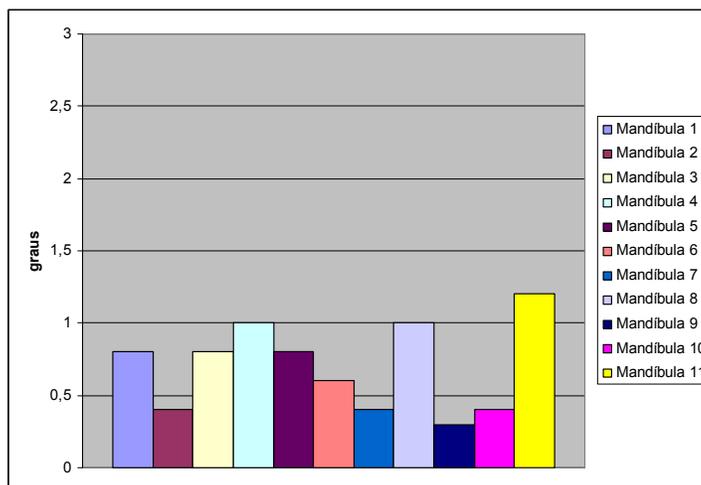


Gráfico 9 - Ângulo formado pelos implantes instalados no lado esquerdo das réplicas de mandíbula humana. Fonte: Dados da pesquisa.

As tabelas 1 e 2 indicam os valores mínimos e máximos das medidas realizadas em computador.

Tabela 1 - Valores obtidos na avaliação virtual dos implantes instalados no lado direito das réplicas de mandíbula humana.

Variável	n	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão
Dist Apical (mm)	11	0,00	0,84	0,36	0,25
Dist Central (mm)	11	0,13	0,60	0,31	0,15
Dist Coronal (mm)	11	0,10	0,64	0,30	0,17
Ângulo (graus)	11	0,0	2,8	1,45	0,89

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 2 - Valores obtidos na avaliação virtual dos implantes instalados no lado esquerdo das réplicas de mandíbula humana.

Variável	n	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão
Dist Apical (mm)	11	0,16	0,87	0,41	0,22
Dist Central (mm)	11	0,12	0,78	0,39	0,20
Dist Coronal (mm)	11	0,08	0,74	0,37	0,20
Ângulo (graus)	11	0,3	1,2	0,70	0,30

Fonte: Dados da pesquisa.

A aplicação do teste t de *Student* para uma amostra foi realizada com a utilização do valor zero como referência. Isto significa que a análise estatística avaliou a variação dos resultados em relação à zero.

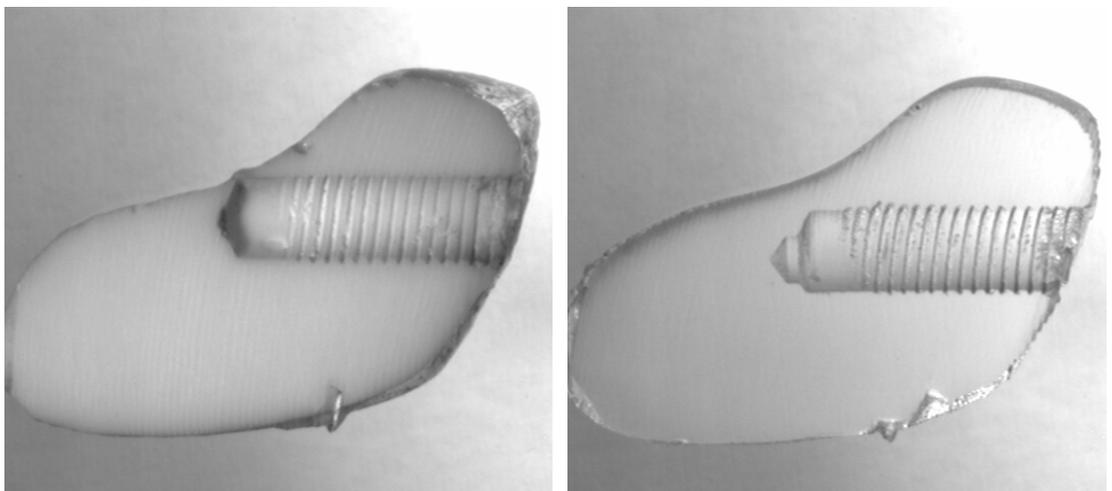
Os resultados de todas as variáveis estudadas foram estatisticamente diferentes de zero ($p < 0,05$).

5.2 AVALIAÇÃO EM MODELO REAL

5.2.1 Estudo descritivo

Não foram observadas fenestrações na região dos implantes nos modelos avaliados. Apenas um implante colocado na réplica de mandíbula humana número 6, lado esquerdo, se aproximou significativamente da parede lingual. Esta proximidade não foi observada na cirurgia simulada no protótipo (Figuras 20a e 20b).

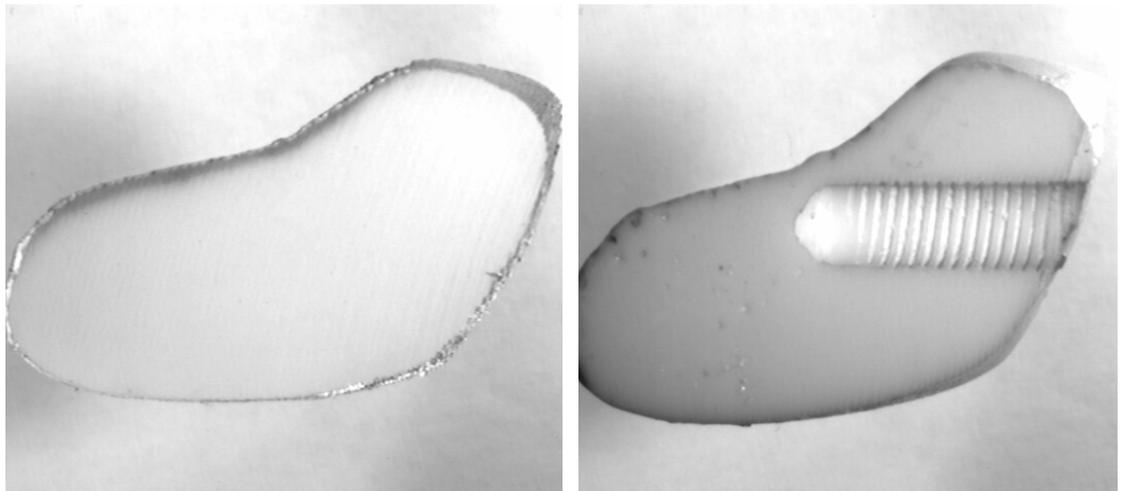
Nesta mesma mandíbula, durante a simulação do procedimento, foi observada uma sobreinstrumentação de aproximadamente 1,25 mm com broca helicoidal de preparo. Este erro não ocorreu na cirurgia de colocação do implante na réplica (Figuras 20a e 20b).



Figuras 20a e 20b - Em "a" observa-se a proximidade do leito do implante com a parede lingual da réplica. Em "b" observa-se a sobreinstrumentação na região apical do leito do implante no protótipo e seu correto posicionamento em relação à parede lingual. Fonte: Dados da pesquisa.

Sobreinstrumentações inferiores a 0,5 mm foram observadas em outros dois leitos de implante.

Durante a cirurgia simulada da mandíbula número 8 ocorreu uma alteração do posicionamento do guia cirúrgico. Desta forma, o implante não foi colocado no plano de corte padronizado na pesquisa. Por este motivo, a avaliação em modelo real da referida mandíbula não foi incluída na análise estatística deste estudo. O guia foi corretamente posicionado na cirurgia de colocação dos implantes na réplica de mandíbula humana (Figuras 21a e 21b).



Figuras 21a e 21b - Em "a" não se observa o leito do implante no protótipo. Em "b" observa-se, na réplica, o leito do implante na posição planejada. Fonte: Dados da pesquisa.

Não foram observadas outras variações significativas nos demais implantes instalados.

5.2.2 Estudo quantitativo

A análise dos dados foi realizada comparando-se as distâncias estabelecidas na metodologia previamente descrita e observadas nas réplicas de mandíbula humana e nos protótipos biomédicos (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3 - Valores obtidos na avaliação em modelo real dos implantes instalados no lado direito das réplicas de mandíbula humana (M) e protótipos biomédicos (P).

Variável	n	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão
Distância 1M (mm)	10	8,28	9,69	8,91	0,53
Distância 1P (mm)	10	8,39	9,85	9,04	0,54
Distância 2M (mm)	10	1,61	3,12	2,41	0,43
Distância 2P (mm)	10	2,08	3,72	2,94	0,49
Distância 3M (mm)	10	4,39	6,69	5,79	0,64
Distância 3P (mm)	10	4,08	6,22	5,11	0,59

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 4 - Valores obtidos na avaliação em modelo real dos implantes instalados no lado esquerdo das réplicas de mandíbula humana (M) e protótipos biomédicos (P).

Variável	n	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão
Distância 1M (mm)	10	6,01	9,52	7,76	1,22
Distância 1P (mm)	10	6,43	9,71	8,26	0,97
Distância 2M (mm)	10	0,26	1,95	0,99	0,50
Distância 2P (mm)	10	0,78	2,34	1,40	0,44
Distância 3M (mm)	10	5,39	7,44	6,54	0,62
Distância 3P (mm)	10	5,28	6,69	6,23	0,44

Fonte: Dados da pesquisa.

As distâncias avaliadas foram comparadas uma a uma para cada implante instalado nas réplicas e nos protótipos. Para a análise de concordância das medidas, foi utilizado o cálculo do Coeficiente de Correlação Intraclasse (CCI).

A intensidade da correlação entre as medidas encontradas foi avaliada de acordo com a classificação de Byrt (1996). Esta classificação define sete intervalos de correlação entre dados: nenhuma (-1,0-0,0), pobre (0,0-0,2), superficial (0,2-0,4), razoável (0,4-0,6), boa (0,6-0,8), muito boa (0,8-0,92) e excelente (0,92-1,0).

Os resultados observados estão apresentados nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5 - Correlação entre as medidas observadas na avaliação em modelo real dos implantes instalados no lado direito das réplicas e dos protótipos biomédicos.

Variável	n	Valor do CCI	Nível de significância	Interpretação (BYRT, 1996)
Distância 1 (mm)	10	0,913	0,0004	Muito boa
Distância 2 (mm)	10	0,538	0,0284	Razoável
Distância 3 (mm)	10	0,643	0,0043	Boa

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 6 - Correlação entre as medidas observadas na avaliação em modelo real dos implantes instalados no lado esquerdo das réplicas e dos protótipos biomédicos.

Variável	n	Valor do CCI	Nível de significância	Interpretação (BYRT, 1996)
Distância 1 (mm)	10	0,805	0,0057	Muito boa
Distância 2 (mm)	10	0,599	0,0335	Razoável
Distância 3 (mm)	10	0,757	0,0099	Boa

Fonte: Dados da pesquisa.

Os valores de p encontrados em todos os casos indicaram que as associações realizadas não ocorreram ao acaso e foram estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

6 DISCUSSÃO

O planejamento pré-operatório pode ser considerado a etapa de maior importância para a obtenção de sucesso nas reabilitações bucais com implantes osseointegrados. Na Implantodontia atual, as tomografias computadorizadas (TC) constituem exames fundamentais para o diagnóstico adequado e definição do plano de tratamento. As imagens de TC permitem a determinação dos potenciais sítios receptores de implantes, por meio da análise da quantidade óssea disponível e da localização das estruturas anatômicas. Com base nestas informações, o implantodontista pode constatar a necessidade de eventuais reconstruções ósseas e determinar o tipo de prótese a ser confeccionada (GANZ, 2005; ALMOG et al., 2006).

O diagnóstico por imagem nas ciências biomédicas tem apresentado grande avanço nas últimas décadas. Estudos com a utilização de aparelhos de tomografia computadorizada de feixe cônico ou *cone-beam* (TCCB) têm sido cada vez mais destacados na literatura (HASHIMOTO et al., 2006; SCARFE; FARMAN; SUKOVIC, 2006; HASHIMOTO et al., 2007; GARIB et al., 2007; LOUBELE et al., 2007; SUOMALAINEN et al., 2008). Os resultados de pesquisas que avaliaram a capacidade de reprodução das estruturas anatômicas maxilofaciais em aparelhos deste tipo, em comparação aos observados em tomografias computadorizadas de feixe em leque ou *fan-beam* (TCFB), demonstraram a possibilidade de visualização adequada dos tecidos dentário e ósseo nas imagens obtidas por TCCB (HASHIMOTO et al., 2006; HASHIMOTO et al., 2007; LOUBELE et al., 2007; SUOMALAINEN et al., 2008).

Diante da qualidade da imagem observada, fundamental para o planejamento em Implantodontia, e do crescente interesse dos profissionais de Odontologia neste tipo de TC, a tomografia de escolha nesta pesquisa foi a de feixe cônico. Trabalhos recentes sobre cirurgia guiada para a colocação de implantes dentários, igualmente, optaram pela utilização da TCCB (ALMOG et al., 2006; NICKENIG; EITNER, 2007; VAN ASSCHE et al., 2007).

O planejamento em Implantodontia sempre constituiu um grande desafio ao cirurgião-dentista. A tomografia computadorizada, muitas vezes, não possibilita a definição precisa do tamanho das fixações e prevenção de complicações anatômicas

durante a cirurgia. Jacobs et al. (1999) constataram uma correlação fraca entre o tamanho do implante planejado e o efetivamente colocado, em estudo que envolveu 100 pacientes e mais de 400 implantes. Loubele et al. (2007), em seu trabalho, observaram uma subestimação das dimensões ósseas em relação às medidas realizadas sobre diferentes tomografias computadorizadas. Da mesma forma, Suomalainen et al. (2008) observaram erros de mensuração de dimensões ósseas em imagens tomográficas. Estas dificuldades observadas tornam-se mais críticas no planejamento de implantes em pacientes com pouca quantidade de tecido ósseo disponível para a instalação das fixações.

O advento das técnicas de prototipagem rápida modificou este paradigma. Os protótipos biomédicos possibilitam visualização e manipulação direta das áreas de interesse, proporcionando um estreitamento da relação entre pré e trans-operatório (CHOI et al., 2002; SARMENT; AL-SHAMMARI; KAZOR, 2003; MEURER et al., 2008).

Baseando-se no princípio de que a previsibilidade do ato cirúrgico pode ser aumentada com a inclusão de protótipos na etapa de planejamento da reabilitação bucal, esta pesquisa realizou cirurgias simuladas em biomodelos, previamente ao procedimento em réplicas de mandíbula humana, considerando a hipótese dos resultados encontrados na simulação poderem prever os eventos do ato operatório.

A definição pela técnica de estereolitografia para a confecção dos protótipos utilizados neste estudo justifica-se por dois aspectos: os biomodelos obtidos por este processo permitem melhor visualização do posicionamento dos implantes, devido à sua transparência; a precisão dimensional destes modelos apresenta resultados semelhantes ou superiores aos demais métodos (KLEIN et al., 1992; BERRY et al., 1997; GOMIDE, 2000; VAN STEENBERGHE et al., 2002; WINDER; BIBB, 2005; IBRAHIM, 2007).

Desta forma, o posicionamento final dos implantes pôde ser visualizado nos protótipos, permitindo a identificação de eventuais danos a estruturas anatômicas nobres, como a parede lingual das mandíbulas. A precisão dimensional mais fiel minimizou erros de aferição na avaliação de medidas e dimensões nos biomodelos e nas réplicas.

As vantagens da utilização da bioprototipagem em Implantodontia, destacadas por Erickson et al. (1999), Erben et al. (2002) e Wulf et al. (2003) foram

constatadas nesta pesquisa. O uso de protótipos biomédicos possibilitou a simulação das intervenções no pré-operatório e serviu de orientação no trans-operatório.

As exigências estéticas e funcionais dos pacientes têm aumentado consideravelmente nos últimos anos, de modo que a reabilitação bucal com implantes, proposta pelo cirurgião-dentista durante a fase de planejamento, deve, cada vez mais, coincidir com a conclusão do tratamento. A previsibilidade da posição dos implantes e das características da restauração final aumentou de maneira significativa com a idealização e a execução da técnica de cirurgia guiada em Implantodontia. Este método está baseado em tomografias computadorizadas e técnicas de prototipagem rápida, caracterizando uma evolução técnico-científica no conceito de reabilitação bucal com implantes osseointegrados.

A técnica de cirurgia guiada para a instalação de implantes dentários, com a utilização de guias confeccionados pelo método de estereolitografia, foi descrita por diversos autores na literatura (TARDIEU; VRIELINCK; ESCOLANO, 2003; SARMENT; SUKOVIC; CLINTHORNE, 2003; PAREL; TRIPLETT, 2004; SAMMARTINO et al., 2004; DI GIACOMO et al., 2005; BALSHI; WOLFINGER; BALSHI, 2006a; BALSHI; WOLFINGER; BALSHI, 2006b; KUPEYAN; SHAFFNER; ARMSTRONG, 2006; LAL et al., 2006; MARCHACK, 2007; SANNA; MOLLY; VAN STEENBERGHE, 2007; VAN ASSCHE et al., 2007; WOITCHUNAS, 2008).

A presente pesquisa baseou-se no protocolo de cirurgia com guias ósseo-suportados. Este tipo de guia apresenta boa estabilidade de posição, entretanto necessita de acesso cirúrgico para ser fixado no rebordo alveolar (VAN STEENBERGHE et al., 2002; DI GIACOMO et al., 2005; GARG, 2006; LAL et al., 2006).

A confecção dos guias ósseo-suportados é realizada diretamente sobre modelo CAD tridimensional, obtido a partir de imagens tomográficas. Por esta razão, não houve necessidade de simular tecidos moles neste estudo.

A maior influência dos tecidos moles na cirurgia guiada está relacionada à estabilidade do guia prototipado muco-suportado e não na sua confecção. Nestes casos, aquisições tomográficas do paciente com o guia de resina acrílica em posição e somente do guia são obrigatórias. A sobreposição das imagens dos guias, tendo pontos radiopacos como referência, possibilita a confecção de um guia prototipado adaptado à mucosa do paciente. Técnicas de moldagem com material de

consistência pesada permitem a compressão da mucosa, a confecção de um guia tomográfico justaposto a este tecido resiliente e, conseqüentemente, uma maior estabilidade do guia prototipado em cirurgias sem retalho ou *flapless* (PAREL; TRIPLETT, 2004; BALSHI; WOLFINGER; BALSHI, 2006b; GARG, 2006; MARCHACK, 2007; SANNA; MOLLY; VAN STEENBERGHE, 2007; VAN ASSCHE et al., 2007).

A resiliência da mucosa certamente influencia a transferência do planejamento virtual da posição dos implantes para o campo operatório, de modo que guias ósseo-suportados, que apresentam maior estabilidade de posição, poderiam ser utilizados em casos limítrofes. A precisão da transferência do planejamento neste tipo de guia pode ser superior à obtida com guias mucosuportados. Apesar da necessidade de acesso cirúrgico, a utilização destes guias pode possibilitar a colocação de implantes em áreas com pouca quantidade de tecido ósseo disponível com maior segurança e minimizar a necessidade de cirurgias de reconstruções ósseas (GARG, 2006; LAL et al., 2006; VAN STEENBERGHE et al., 2002; VAN ASSCHE et al., 2007).

O estudo de Gateno et al. (2003) demonstrou uma excelente adaptação, sobre dentes, de guias confeccionados por estereolitografia. Por meio da aquisição de imagens tomográficas com qualidade, a adaptação sobre o leito ósseo pode, igualmente, ser satisfatória, conforme observado por Van Steenberghe et al. (2002). Os autores, após estudo piloto em dois cadáveres, constataram apropriado assentamento e estabilidade dos guias ósseo-suportados confeccionados pelo método de estereolitografia. As conclusões desta avaliação inicial possibilitaram a aplicação clínica da técnica. Ainda assim, os resultados da presente pesquisa demonstraram que o uso de guias ósseo-suportados em rebordos alveolares arredondados, como os das réplicas de mandíbula utilizadas neste trabalho, dificulta a estabilização precisa do guia. A falta de um posicionamento único dos guias prototipados contribuiu para as variações observadas nas medidas lineares e angulares avaliadas. Na cirurgia simulada na mandíbula número 8 deste estudo, o guia foi posicionado e fixado em posição incorreta, conseqüentemente, os implantes não foram colocados na localização planejada.

Estudos que estabeleceram comparações entre as posições pré e pós-operatórias de implantes dentários, instalados com auxílio de guias ósseo-suportados, foram pouco descritos na literatura. Em uma destas pesquisas, Sarment,

Sukovic e Clinthorne (2003) compararam a precisão do posicionamento final dos leitos dos implantes em relação aos planejamentos realizados. No lado esquerdo das réplicas, os autores confeccionaram guias cirúrgicos ósseo-suportados por meio de estereolitografia. Não houve padronização do corte tomográfico para o planejamento dos implantes e, tampouco, do operador, já que cinco profissionais foram designados para a realização do preparo do leito de cada uma das cinco mandíbulas.

Di Giacomo et al. (2005) relataram um estudo preliminar em quatro pacientes com a utilização de guias ósseo-suportados, dento-suportados e dento-ósseo-suportados.

Woitchunas (2008) realizou um estudo em 11 mandíbulas humanas secas para avaliação da transferência do planejamento virtual da posição de implantes dentários para o campo operatório, com a utilização de guias ósseo-suportados, confeccionados por estereolitografia. A avaliação comparativa da pesquisa demonstrou diferenças estatisticamente significativas entre as posições obtidas e planejadas, indicando a necessidade de estudos complementares para analisar a aplicabilidade desta nova rotina técnica na prática clínica de Implantodontia.

Neste contexto, esta pesquisa foi realizada em réplicas idênticas de mandíbula humana, para minimizar a influência do operador em cada caso. Foram utilizadas mandíbulas de resina epóxica semelhantes às presentes no estudo de Sarment, Sukovic e Clinthorne (2003). O planejamento, a confecção do guia cirúrgico e a colocação de implantes apresentam características individuais em cada procedimento realizado. Se somente a mandíbula número 8 fosse incluída nos resultados desta pesquisa, as conclusões sobre a validade da técnica de cirurgia guiada poderiam não ser condizentes com a realidade. A repetição de todas as etapas da cirurgia guiada por 11 vezes, em mandíbulas idênticas, permitiu uma avaliação mais adequada da técnica.

Para a padronização dos 11 procedimentos realizados, hastes metálicas foram fixadas nas mandíbulas. Da mesma forma, Suomalainen et al. (2008) utilizaram referências metálicas para orientação de medidas realizadas sobre imagens tomográficas. O planejamento dos implantes no mesmo corte tomográfico possibilitou a inter-relação entre os dados obtidos.

Na presente pesquisa, os implantes instalados no lado direito das réplicas simularam situações de tecido ósseo espesso. As fixações colocadas no lado

esquerdo foram justapostas, no planejamento, à parede lingual das mandíbulas, simulando situações de pouca quantidade óssea disponível.

As pequenas variações observadas no posicionamento dos implantes não causaram fenestrações nas réplicas avaliadas. Todavia, o preparo rotatório do leito dos implantes ocasionou sobreinstrumentações em 3 (6,81%) dos 44 procedimentos realizados, incluindo as cirurgias simuladas. Embora este número de casos seja reduzido, convém que os sistemas de cirurgia guiada incluam limitadores para as brocas com regulagem do comprimento desejado, minimizando estes eventos que podem ocasionar lesões a estruturas anatômicas nobres, como o feixe vâsculo-nervoso alveolar inferior e, quando em segmento superior, o seio maxilar.

Por meio da utilização de diferentes metodologias, alguns autores avaliaram a capacidade de transferência do planejamento virtual para a cirurgia de colocação de implantes dentários com guias prototipados (VAN STEENBERGHE et al., 2002; SARMENT; SUKOVIC; CLINTHORNE, 2003; DI GIACOMO et al., 2005; VAN ASSCHE et al., 2007; NICKENIG; EITNER, 2007; WOITCHUNAS, 2008).

Nesta pesquisa, a transferência do planejamento virtual para o campo operatório foi avaliada pela sobreposição dos modelos CAD tridimensionais pré e pós-operatórios, assim como nos trabalhos de Van Steenberghe et al. (2002), Sarment, Sukovic e Clinthorne (2003), Di Giacomo et al. (2005), Van Assche et al. (2007) e Woitchunas (2008). A análise em modelo real utilizada neste estudo, após a simulação do procedimento em protótipos biomédicos, não foi descrita na literatura até o momento.

No estudo piloto de Van Steenberghe et al. (2002), realizado em maxilas edêntulas de dois cadáveres, os resultados observados para as distâncias coronais e apicais entre os implantes planejados e obtidos foram de $0,8 \pm 0,3$ mm e $0,9 \pm 0,3$ mm, respectivamente. O ângulo formado pelos longo-eixos dos implantes apresentou variação média de $1,8 \pm 1,0$ graus.

O estudo comparativo de Sarment, Sukovic e Clinthorne (2003) constatou uma distância média entre a posição planejada e as osteotomias de 1,5 mm na porção mais superior e de 2,1 mm no ápice, quando guias convencionais foram utilizados. As mesmas medidas foram significativamente reduzidas para 0,9 e 1,0 mm com a utilização de guias prototipados ($p < 0,01$). Em média, as variações observadas, quanto à angulação das fixações, foram de $8 \pm 4,5$ graus e $4,5 \pm 2$

graus nas osteotomias realizadas com guia cirúrgico convencional e de estereolitografia, respectivamente ($p < 0,01$).

Van Assche et al. (2007), em estudo com mandíbulas humanas realizaram todas as etapas da cirurgia guiada em Implantodontia até a colocação dos implantes. A avaliação em modelo virtual indicou, em média, uma variação na angulação de 2 graus (0,7 - 4 graus), quando comparados ao planejamento, e uma variação linear de 1 mm (0,3 - 2,3 mm) na região mais superficial e de 2 mm (0,7 - 2,4 mm) no ápice dos implantes.

Woitchunas (2008), trabalhando com mandíbulas secas e metodologia semelhante, observou uma distância média entre as regiões mais superficiais dos implantes de 0,74 mm, e variação angular média entre seus longo-eixos de 2,25 graus.

Di Giacomo et al. (2005) realizaram a mesma avaliação em modelo virtual a partir de tomografias pré e pós-operatórias de quatro pacientes que receberam um total de 21 implantes dentários por meio da técnica de cirurgia guiada. Os resultados obtidos indicaram uma média de variação entre os longo-eixos dos implantes de $7,25 \pm 2,6$ graus. A análise das distâncias coronais e apicais entre os implantes planejados e executados apresentou variação de 1,45 e 2,99 mm, respectivamente.

A presente pesquisa agregou à avaliação virtual, o dado da medida central do implante permitindo uma melhor análise de sua variação em relação ao planejamento pré-operatório. As distâncias das regiões coronais, centrais e apicais dos 22 implantes avaliados neste estudo apresentaram valores médios inferiores à 0,41 mm. Quanto à angulação, os implantes instalados no lado direito das réplicas apresentaram variações de $1,45 \pm 0,89$ graus e os do lado esquerdo, de $0,70 \pm 0,30$ graus.

Os resultados mais satisfatórios desta pesquisa, em comparação aos demais estudos publicados, podem ser explicados pela determinação de uma metodologia rígida de seleção de amostra, padronização e análise, na qual a repetição do mesmo processo, pelo mesmo operador, foi fundamental para assegurar a validade dos resultados obtidos.

Evidentemente que as variações mais acentuadas entre o posicionamento planejado e obtido dos implantes, observados em estudos clínicos e/ou com a utilização de guias muco-suportados, como de Di Giacomo et al. (2005), Nickenig e Eitner (2007) e Van Assche et al. (2007), justificam-se, principalmente, devido aos

fatores inerentes a procedimentos realizados em pacientes e em cirurgias sem retalho. O controle do ato operatório é muito mais simples quando realizado sobre mandíbulas secas ou de resina epóxica e com guias cirúrgicos estáveis.

Os resultados desta pesquisa indicaram ainda uma tendência observada nas pesquisas de Van Steenberghe et al. (2002), Sarment, Sukovic e Clinthorne (2003), Di Giacomo et al. (2005) e Van Assche et al. (2007). Em todos estes trabalhos, a distância entre os implantes aumentou no sentido apical. Esta tendência de crescimento foi diminuta neste trabalho (inferior a 0,1 graus) pelo fato da variação entre o ângulo formado pelos longo-eixos dos implantes ter sido igualmente pequena.

O aumento da variação no sentido apical deve ser melhor observado em cirurgias para colocação de implantes longos, onde a margem de segurança para evitar lesões a estruturas anatômicas nobres deve ser maior.

A distância mínima observada entre os três pontos analisados sobre as imagens dos implantes, nos dois lados das mandíbulas, foi de zero e a máxima, de 0,87 mm. Isto significa que nos 11 implantes instalados, da mesma forma e no mesmo local em cada lado das réplicas, a maior variação foi inferior a 1 mm. Estes resultados indicam a capacidade de transferência do planejamento virtual para o procedimento de colocação de implantes pela técnica de cirurgia guiada.

A importância clínica destes dados está no fato da possibilidade da utilização de guias prototipados ósseo-suportados em casos de difícil solução em Implantodontia, devido à limitada quantidade óssea disponível. A escolha deste tipo de guia e o sistema de cirurgia guiada, utilizados nesta pesquisa, foram importantes para a obtenção dos favoráveis resultados deste estudo. Van Assche et al. (2007), em algumas mandíbulas, utilizaram guias muco-suportados e obtiveram resultados mais discrepantes em relação aos deste estudo. Nos casos em que os autores confeccionaram guias com apoio em dentes vizinhos, as variações observadas foram menores. De maneira geral, os resultados mais precisos observados na literatura foram em estudos que utilizaram guias justa-ósseos para a colocação dos implantes osseointegrados (VAN STEENBERGHE et al., 2002; SARMENT; SUKOVIC; CLINTHORNE, 2003; WOITCHUNAS, 2008).

Assim, clinicamente, diante de situações de dúvida quanto ao risco de lesão a estruturas anatômicas ou fenestração do implante com exposição de roscas, um retalho muco-periostal pode ser realizado e um guia ósseo-suportado, fixado, com

excelente estabilidade de posição. Nickenig e Eitner (2007), em estudo clínico para avaliação da transferência do planejamento virtual para a cirurgia de colocação de implantes dentários pela técnica de cirurgia guiada, observaram uma excelente correlação entre o planejamento e o procedimento executado. Nos casos de indicação de cirurgia sem retalho, com suficiente quantidade óssea, todos os 147 implantes foram instalados. Entretanto, nos 32 casos com planejamento de colocação de implante associado a algum método de expansão ou condensação óssea, em 8 (25%) situações, o planejamento precisou ser modificado e os implantes planejados não foram instalados. A necessidade de alteração de planejamento somente foi constatada após a realização e deslocamento de retalho muco-periosteal.

Da mesma forma, Jacobs et al. (1999), em estudo realizado em 100 pacientes, parcial ou totalmente edêntulos, submetidos a cirurgia para colocação de implantes dentários pelo método convencional, após planejamento com a utilização de tomografias computadorizadas, observaram que, em algumas situações, a colocação do implante conforme o planejado era impossível, sobretudo por achados trans-operatórios não identificados ou subestimados nos exames de imagem.

Isto significa que as variações observadas nas imagens tomográficas e no processo de prototipagem rápida, ainda que pequenas, não permitem que cirurgias sem retalho sejam realizadas, com segurança, em situações de limitada quantidade óssea. A indicação dos guias ósseo-suportados é precisa nestes casos, visando o êxito do tratamento.

Di Giacomo et al. (2005) utilizaram guias cirúrgicos ósseo e dento-suportados e obtiveram significativas variações entre a posição planejada e executada dos implantes instalados. Estas discrepâncias ocorreram, não somente por se tratar de um estudo em pacientes, mas também pela utilização de um sistema de cirurgia guiada que necessitava sucessivas trocas dos guias de acordo com o diâmetro da broca de preparo, assim como descrito nos relatos de Sarment, Al-Shammari e Kazor (2003) e Lal et al. (2006). Nestes casos, dificilmente o guia subsequente será posicionado no mesmo local do anterior. Os autores também não utilizaram pinos estabilizadores para os guias prototipados, favorecendo micromovimentações durante a instrumentação.

O uso de guia-broca e de guia cirúrgico único, fixado e mantido em posição até o final do procedimento, possibilitou menor variação na transferência do

planejamento pré-operatório para a cirurgia de colocação de implantes dentários na presente pesquisa.

Além destas características, o sistema de cirurgia guiada utilizado neste estudo disponibiliza um guia-implante, que permite que a fixação seja instalada com maior precisão. Este guia-implante foi, igualmente, utilizado por Parel e Triplett (2004), Marchack (2007), Nickenig e Eitner (2007) e Van Assche et al. (2007). Tardieu, Vrielinck e Escolano (2003), por sua vez, removeram o guia cirúrgico prototipado antes da inserção dos implantes para reabilitação de mandíbula edêntula. A colocação não guiada do implante pode ocasionar alterações em sua posição final de acordo com a qualidade óssea do paciente.

Embora os resultados encontrados na avaliação em modelo virtual desta pesquisa terem sido significativamente diferentes de zero, variações inferiores a 1 mm podem não apresentar repercussões consideráveis na prática clínica da Implantodontia. Estudos em pacientes devem ser realizados para avaliação da margem de segurança a ser dada para a variação do planejamento ao resultado final. Valores semelhantes ao desta pesquisa podem ser confirmados ou não.

A avaliação em modelo real, realizada neste estudo, foi muito importante para a validação da cirurgia simulada nos biomodelos. Em casos de planejamento de implantes próximos ao seio maxilar, fossas nasais ou canal mandibular, por exemplo, se na simulação do procedimento não fossem observados danos a estas estruturas, a cirurgia poderia transcorrer com maior segurança. O questionamento que se impõe é o quanto a cirurgia no biomodelo é fidedigna ao ato operatório propriamente dito.

Os resultados obtidos demonstraram uma diferença entre as médias das distâncias 1, 2 e 3 nos implantes instalados no lado direito das mandíbulas de 0,13 mm, 0,53 mm e 0,68 mm, respectivamente. No lado esquerdo, as diferenças foram de 0,50 mm, 0,41 mm e 0,31 mm, respectivamente.

Embora as diferenças médias tenham apresentado resultados satisfatórios, a análise individual das medidas de cada mandíbula permitiu a observação de maiores variações na transferência do planejamento sobre os biomodelos para a cirurgia.

O cálculo do Coeficiente de Correlação Intraclasse (CCI) para a distância 1 apresentou, para todos os implantes, uma correlação muito boa, segundo Byrt (1996). O significado deste dado é um bom posicionamento dos implantes na sua margem apical, ou seja, as fixações não ficaram muito profundas ou muito

superficiais, evitando possíveis danos a estruturas anatômicas. O CCI dos implantes de número 2, para esta distância, apresentou valor inferior ao do lado contralateral, que se aproximou do excelente, devido à anatomia da mandíbula no lado esquerdo. Neste lado, variações das distâncias 2 e 3 ocasionaram maior repercussão na distância 1.

A distância 2 apresentou CCI interpretado como razoável, porém muito próximo do bom em ambos os lados. O CCI para a distância 3 foi interpretado como bom para todos os implantes (BYRT, 1996).

As variações nas distâncias 2 e 3 refletiram o posicionamento méso-distal e vestibulo-lingual dos implantes. Alterações no sentido méso-distal foram observadas porque o plano de corte das mandíbulas e dos protótipos foi padronizado. Desta forma, como o implante é cilíndrico, a região observada poderia ser mais afastada do centro, onde a distância linear entre as paredes é menor.

A variação máxima entre os leitões dos implantes de uma mesma mandíbula para as distâncias de número 1 foi de 1,96 mm, em implante instalado no lado esquerdo, mais sensível às variações das distâncias 2 e 3. Para estas distâncias, as variações máximas foram de 1,22 mm (distância 2) e 1,47 mm (distância 3).

A análise destes dados demonstra um erro de posicionamento entre o planejado e o realizado inferior a 2 mm para todas as distâncias. Estes resultados, assim como os da avaliação em ambiente virtual, podem prever a margem de segurança para a utilização da técnica. Todavia, deve-se adicionar à análise em modelo real, a variação dimensional dos protótipos, que pode influenciar nas mensurações pré-operatórias.

Nos implantes colocados no lado direito das mandíbulas, para a distância 1, em 8 dos 10 casos os protótipos superestimaram as medidas encontradas. Para a distância 2, nos 10 casos as medidas foram superestimadas na cirurgia simulada. Por consequência, a distância 3 foi subestimada.

Resultados semelhantes foram observados nos implantes do lado esquerdo das mandíbulas, nos quais, para a distância 1, sete dos 10 casos indicaram valores mais elevados, assim como para a distância 2, em 9 das 10 mandíbulas. A distância 3 apresentou valores mais elevados em 2 dos 10 casos estudados.

O conjunto destes dados não permite afirmar que a cirurgia em biomodelos, como parte integrante do planejamento pré-operatório, superestima ou subestima a distância dos implantes à determinada região ou acidente anatômico. Variações

entre o planejamento e o observado no trans-operatório ocorrem e devem ser consideradas para mais ou para menos.

As pequenas variações, observadas nos posicionamentos dos implantes planejados e executados nas avaliações em modelos virtual e real desta pesquisa, permitem afirmar que o planejamento em computador e sobre protótipo biomédico pode ser transferido, de maneira confiável, para o campo operatório por meio da técnica de cirurgia guiada, ainda que o tratamento estatístico ao qual foram submetidos os dados deste estudo não tenha indicado uma precisão absoluta dos resultados.

A técnica de cirurgia guiada apresenta como uma de suas vantagens, exaltada no mercado da Implantodontia atual, a possibilidade de instalação imediata da prótese funcional. O posicionamento dos implantes, em relação ao planejamento, não deve considerar apenas o êxito na sua inserção intra-óssea, mas também garantir que a futura prótese apresente um assentamento passivo sobre as fixações. As opções protéticas para compensar as variações na posição dos implantes variam de acordo com o sistema utilizado. Ainda assim, a preocupação com a longevidade destes implantes é destacada na literatura.

Sanna, Molly e Van Steenberghe (2007) avaliaram a sobrevivência de 183 implantes (30 pacientes) inseridos em arcos completamente edêntulos pela técnica de cirurgia guiada, utilizando tomografias *cone-beam*, guias muco-suportados e carga imediata. Os resultados indicaram que a instalação de implantes dentários e colocação imediata de prótese fixa pela técnica de cirurgia guiada apresentam índices semelhantes ao mesmo tipo de reabilitação sobre implantes reabertos após o período de osseointegração.

Estudos como este justificam a relevância de pesquisas que buscam o aprimoramento de métodos cada vez mais precisos, seguros e que proporcionam benefícios aos pacientes e aos profissionais da Odontologia, como a técnica de cirurgia guiada.

CONCLUSÕES

7 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados desta pesquisa, as variações observadas na transferência para o campo operatório do posicionamento de implantes dentários, determinado durante o planejamento virtual e obtido em cirurgia simulada sobre protótipo biomédico, indicam a confiabilidade da utilização da técnica de cirurgia guiada em Implantodontia.

A margem de segurança do método, considerando a variação na posição dos implantes e a superestimação ou subestimação de medidas em procedimentos simulados em biomodelos, deve ser melhor avaliada em estudos clínicos.

REFERÊNCIAS

- ABECASIS, F. Tomografia Computorizada. In: PISCO, J.M.; SOUZA, L.A. **Noções Fundamentais de Imagiologia**. Lisboa: Lidel, 1999. p. 67-73.
- ALMOG, D.M. et al. Computerized tomography-based imaging and surgical guidance in oral implantology. **The Journal of Oral Implantology**, Lawrence, v. 32, n. 1, p. 14-18, 2006.
- AMARO-JUNIOR, E.; YAMASHITA, H. Aspectos básicos de tomografia computadorizada e ressonância magnética. **Revista Brasileira de Psiquiatria**, São Paulo, v. 23 (Supl I), p. 2-3, 2001.
- ASHLEY, S. Rapid Prototyping Systems. **Mechanical Engineering**, New York, v. 113, n. 4, p. 34-43, 1991.
- BALSHI, S.F.; WOLFINGER, G.J.; BALSHI, T.J. Surgical planning and prosthesis construction using computer technology and medical imaging for immediate loading of implants in the pterygomaxillary region. **The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry**, Chicago, v. 26, n. 3, p. 239-247, Jun. 2006a.
- BALSHI, S.F.; WOLFINGER, G.J.; BALSHI, T.J. Surgical planning and prosthesis construction using computed tomography, CAD/CAM technology, and the internet for immediate loading of dental implants. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry**, BC Decker, v. 18, n. 6, p. 318-325, 2006b.
- BERRY, E. et al. Preliminary experience with medical applications of rapid prototyping by selective laser sintering. **Medical Engineering & Physics**, London, v. 19, n. 1, p. 90-96, Jan. 1997.
- BONTRAGER, K. Anatomia e posicionamento radiológicos de tomografia computadorizada do crânio. Parte II. Posicionamento radiológico. In: BONTRAGER, K. **Tratado de Técnica Radiológica e Base Anatômica**. 4.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1999. p. 633-658.
- BRINK, J. A. Technical aspects of helical (spiral). **Radiologic Clinics of North America**, Philadelphia, v. 33, n. 5, p. 825-841, Sep. 1995.
- BYRT, T. How good is that agreement? **Epidemiology**, Baltimore, v.7, n.5, p.561, Sep. 1996.

CHOI, J.Y. et al. Analysis of errors in medical rapid prototyping models. **International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, Munksgaard, v. 31, n. 1, p. 23-32, Feb. 2002.

DI GIACOMO, G.A. et al. Clinical application of stereolithographic surgical guides for implant placement: preliminary results. **Journal of Periodontology**, Chicago, v. 76, n. 4, p. 503-507, Apr. 2005.

ENGERS, M. E. A. **Paradigmas e Metodologias de Pesquisa em Educação**: notas para reflexão. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1994.

ERBEN, C. et al. The Phidias validation study of stereolithographic models. **Phidias Newsletter**. [S.I.], n. 8, p. 15-16, Mar. 2002.

ERICKSON, D.M. et al. An opinion survey of reported benefits from the use of stereolithographic models. **Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, Philadelphia, v. 57, n. 9, p. 1040-1043, Sep. 1999.

FREIRE, M.C.M.; PATUSSI, M.P. Tipos de estudo. In: ESTRELA, C. **Metodologia Científica: Ensino e Pesquisa em Odontologia**. São Paulo: Artes Médicas, 2001. p. 121-143.

GANZ, S.D. Use of stereolithographic models as diagnostic and restorative aids for predictable immediate loading of implants. **Practical Procedures & Aesthetic Dentistry**, Mahwah, v. 15, n. 10, p. 763-771, Nov-Dec. 2003.

GANZ, S.D. Conventional CT and cone beam CT for improved dental diagnostics and implant planning. **Dental Implantology Update**, Atlanta, v. 16, n. 12, p. 89-95, Dec. 2005.

GARG, A.K. Surgical templates in implant dentistry. **Dental Implantology Update**, Atlanta, v. 17, n. 6, p. 41-44, Jun. 2006.

GARIB, D.G. et al. Tomografia computadorizada de feixe cônico (Cone beam): entendendo este novo método de diagnóstico por imagem com promissora aplicabilidade na Ortodontia. **Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial**, Maringá, v. 12, n. 2, Mar-Apr. 2007.

GATENO, J. et al. The precision of computer-generated surgical splints. **Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, Philadelphia, v. 61, n. 7, p. 814-817, Jul. 2003.

GOMIDE, R.B. **Fabricação de componentes injetados em insertos produzidos por estereolitografia.** Florianópolis, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

GRELLMANN, D.A. **Utilização das tecnologias de estereolitografia e microfusão para aplicações em prototipagem rápida e ferramental rápido.** Florianópolis, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

HASHIMOTO, K. et al. Comparison of image performance between cone-beam computed tomography for dental use and four-row multidetector helical CT. **Journal of Oral Science**, Tokyo, v. 48, n. 1, p. 27-34, Mar. 2006.

HASHIMOTO, K. et al. Comparison of image validity between cone-beam computed tomography for dental use and multidetector row helical computed tomography. **Dentomaxillofacial Radiology**, Houndsmills, v. 36, n. 8, p. 465-471, Dec. 2007.

HENRI, C.J. et al. Design and implementation of World Wide Web-based tools for image management in computed tomography, magnetic resonance imaging, and ultrasonography. **Journal of Digital Imaging**, Philadelphia, v. 10, n. 3, p. 77-79, Aug. 1997.

IBRAHIM, D. **Análise dimensional dos biomodelos de sinterização seletiva a laser, impressão tridimensional e polyjet na reprodução da anatomia mandibular.** Porto Alegre, 2006. Dissertação (Mestrado em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial) - Faculdade de Odontologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2006.

JACOBS, P.F. **Rapid prototyping and manufacturing: fundamentals of stereolithography.** New York: Society of manufacturing Engineers, 1992. 383p.

JACOBS, R. et al. Predictability of reformatted computed tomography for pre-operative planning of endosseous implants. **Dentomaxillofacial Radiology**, Houndsmills, v. 28, n. 1, p. 37-41, Jan. 1999.

JAMES, W. J. et al. Correction of congenital malar hypoplasia using stereolithography for presurgical planning. **Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, Philadelphia, v. 56, n. 4, p. 512-517, Apr. 1998.

KLEIN, H. M. et al. Pediatric craniofacial surgery: comparison of milling and stereolithography for 3D model manufacturing. **Pediatric Radiology**, Berlin, v. 22, n. 6, p. 458-460, 1992.

KUPEYAN, H.K.; SHAFFNER, M.; ARMSTRONG, J. Definitive CAD/CAM-guided prosthesis for immediate loading of bone-grafted maxilla: a case report. **Clinical Implant Dentistry and Related Research**, Hamilton, v. 8, n. 3, p. 161-167, 2006.

LAL, K. et al. Use of stereolithographic templates for surgical and prosthodontic implant planning and placement. Part I. The concept. **Journal of Prosthodontics**, Copenhagen, v. 15, n. 1, p. 51-58, Jan-Feb. 2006.

LOUBELE, M. et al. A comparison of jaw dimensional and quality assessments of bone characteristics with cone-beam CT, spiral tomography, and multi-slice spiral CT. **The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants**, Lombard, v. 22, n. 3, p. 446-454, May-Jun. 2007.

LUIZ, R.R. Erros de mensuração. In: NADANOVSKY, P.; COSTA, A.J.L.; LUIZ, R.R. **Epidemiologia e Bioestatística na Pesquisa Odontológica**. São Paulo: Atheneu, 2005. p.91-124.

MARCHACK, C.B. CAD/CAM-guided implant surgery and fabrication of an immediately loaded prosthesis for a partially edentulous patient. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, St. Louis, v. 97, n. 6, p. 389-394, Jun. 2007.

MELICAN, M. C. et al. Three-dimensional printing and porous metallic surfaces: A new orthopedic application. **Journal of Biomedical Materials Research**, Hoboken, v. 55, n. 2, p. 194-202, Feb. 2001.

MEURER, E. **As tecnologia CAD CAM em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial**. Porto Alegre, 2002. Tese (Doutorado em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial) - Faculdade de Odontologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2002.

MEURER, M.I. et al. Aquisição e manipulação de imagens por tomografia computadorizada da região maxilofacial visando à obtenção de protótipos biomédicos. **Radiologia Brasileira**, São Paulo, v. 41, n. 1, p. 49-54, Jan-Fev. 2008.

NAGY, P. Open source in imaging informatics. **Journal of Digital Imaging**, Philadelphia, v. 20, n. 1, p. 1-10, Nov. 2007.

NASCIMENTO SILVA, D. **Análise do erro dimensional dos biomodelos de Sinterização Seletiva à Laser (SLS) e de Impressão Tridimensional (3DP®), a partir de imagens de tomografia computadorizada, na reprodução da anatomia crâniomaxilar: estudo *in vitro***. Porto Alegre, 2004. Tese (Doutorado em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2004.

NICKENIG, H.J.; EITNER, S. Reliability of implant placement after virtual planning of implant positions using cone beam CT data and surgical (guide) templates. **Journal of Craniomaxillofacial Surgery**, Edinburgh, v. 35, n. 4-5, p. 207-211, Jun-Jul. 2007.

PAREL, S.M.; TRIPLETT, R.G. Interactive imaging for implant planning, placement, and prosthesis construction. **Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, Philadelphia, v. 62, n. 9 suppl 2, p. 41-47, Sep. 2004.

PELTOLA, S.M. et al. A review of rapid prototyping techniques for tissue engineering purposes. **Annals of Medicine**, Stockholm, v. 40, n. 4, p. 268-280, 2008.

ROMANS, L. E. **Introduction to Computed Tomography**. Philadelphia: Williams & Wilkins, 1995. 108p.

ROSENFELD, A.L.; MANDELARIS, G.A.; TARDIEU, P.B. Prosthetically directed implant placement using computer software to ensure precise placement and predictable prosthetic outcomes. Part 1: diagnostics, imaging, and collaborative accountability. **The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry**, Chicago, v. 26, n. 3, p. 215-221, Jun. 2006.

SACHS, E. et al. CAD-Casting: Direct Fabrication of Ceramic Shells and Cores by Three Dimensional Printing. **Manufacturing Review**, Fairfield, v. 5, n. 2, p. 117-126, Jun. 1992a.

SACHS, E. et al. Three Dimensional Printing: Rapid Tooling and Prototypes Directly from a CAD Model. **Journal of Engineering for Industry**, New York, v. 114, p. 481-488, Nov. 1992b.

SAMMARTINO, G. et al. Stereolithography in oral implantology: a comparison of surgical guides. **Implant Dentistry**, Baltimore v. 13, n. 2, p. 133-139, Jun. 2004.

SANNA, A.M.; MOLLY, L.; VAN STEENBERGHE, D. Immediately loaded CAD-CAM manufactured fixed complete dentures using flapless implant placement procedures:

a cohort study of consecutive patients. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, St. Louis, v. 97, n. 6, p. 331-339, Jun. 2007.

SARMENT, D.P.; SUKOVIC, P.; CLINTHORNE, N. Accuracy of implant placement with a stereolithographic surgical guide. **The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants**, Lombard, v. 18, n. 4, p. 571-577, Jul-Aug. 2003.

SARMENT, D.P.; AL-SHAMMARI, K.; KAZOR, C.E. Stereolithographic surgical templates for placement of dental implants in complex cases. **The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry**, Chicago, v. 23, n. 3, p. 287-295, Jun. 2003.

SCARFE, W. C.; FARMAN, A. G.; SUKOVIC, P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. **Journal of the Canadian Dental Association**, Ottawa, v. 72, n. 1, p. 75-80, Feb. 2006.

SEERAM, E. **Computed Tomography – Physical Principles, Clinical Applications & Quality Control**. 2.ed. Pennsylvania: WB Saunders, 2001. 448p.

SILVA, J.V.L. et al. As Tecnologias CAD-PR (Prototipagem Rápida) na Reconstrução de Traumas de Face. In: **III Congresso Iberoamericano IBERDISCAP 2004 - Tecnologia de Apoio a la Discapacidad, 2004**. San Jose. Anais Eletrônicos IBERDISCAP, 2004. p.1-7.

SOUZA, M. A.; CENTENO, T.M.; PEDRINI, H. Integrando reconstrução 3D de imagens tomográficas e prototipagem rápida para a fabricação de modelos médicos. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, Campinas, v. 19, n. 2, p. 103-115, Ago. 2003.

STIMAC, G.K.; KELSEY, C.A. Técnicas avançadas de imagem diagnóstica. In: STIMAC, G.K. **Introdução ao Diagnóstico por Imagens**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1992. p. 1-25.

SUOMALAINEN, A. et al. Accuracy of linear measurements using dental cone beam and conventional multislice computed tomography. **Dentomaxillofacial Radiology**, Houndsmills, v. 37, n. 1, p. 10-17, Jan. 2008.

TARDIEU, P. B.; VRIELINCK, L.; ESCOLANO, E. Computer-assisted implant placement. A case report: treatment of the mandible. **The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants**, Lombard, v. 18, n. 4, p. 599-604, Jul-Aug. 2003.

VAN ASSCHE, N. et al. Accuracy of implant placement based on pre-surgical planning of three-dimensional cone-beam images: a pilot study. **Journal of Clinical Periodontology**, Copenhagen, v. 34, n. 9, p. 816-821, Sep. 2007.

VAN STEENBERGHE, D. et al. A custom template and definitive prosthesis allowing immediate implant loading in the maxilla: a clinical report. **The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants**, Lombard, v. 17, n. 5, p. 663-670, Sep-Oct. 2002.

WINDER, J.; BIBB, R. Medical rapid prototyping technologies: state of the art and current limitations for applications in oral and maxillofacial surgery. **Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, Philadelphia, v. 63, n. 7, p. 1006-1015, Jul. 2005.

WOITCHUNAS, G.F.P. **Análise da precisão de guias prototipados na transferência do planejamento virtual em implantodontia**. Porto Alegre, 2008. Tese (Doutorado em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2008.

WULF, J. et al. Medical biomodelling in surgical applications: results of a multicentric European validation of 466 cases. **Studies in Health Technology and Informatics**, Amsterdam, v. 94, n. 1, p. 404-406, 2003.

ANEXO A - Carta de aprovação da Comissão Científica e de Ética da Faculdade de Odontologia da PUCRS



*Comissão Científica e de Ética
Faculdade da Odontologia da PUCRS*

Porto Alegre 09 de maio de 2007

O Projeto de: Tese

Protocolado sob n°: 0005/07
Intitulado: Avaliação de resultados do planejamento em modelo virtual e sobre protótipos biomédicos para a instalação de implantes em réplicas de mandíbulas humanas
Pesquisador Responsável: Profa. Dra. Marília Gerhardt de Oliveira
Pesquisadores Associados: Vinicius Nery Viegas; Rogério Miranda Pagnoncelli; Helena Wilhelm de Oliveira; Eduardo Meurer
Nível: Doutorado

Foi **aprovado** pela Comissão Científica e de Ética da Faculdade de Odontologia da PUCRS em 03 de abril de 2007.

Profa. Dra. Marília Gerhardt de Oliveira
Presidente da Comissão Científica e de Ética da
Faculdade de Odontologia da PUCRS