



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**  
Centro Biomédico  
Faculdade de Odontologia


Alexandre Trindade Simões da Motta

**Avaliação da cirurgia de avanço mandibular por meio da  
superposição de modelos tridimensionais**

Rio de Janeiro  
2007

Alexandre Trindade Simões da Motta

**Avaliação da cirurgia de avanço mandibular por meio da  
superposição de modelos tridimensionais**



Tese apresentada, como requisito parcial  
para obtenção do título de Doutor, ao  
Programa de Pós-graduação em  
Odontologia da Universidade do Estado  
do Rio de Janeiro. Área de concentração:  
Ortodontia.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio de Oliveira Almeida

Rio de Janeiro  
2007

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ/REDE SIRIUS/CBB

M921 Motta, Alexandre Trindade Simões da.  
Avaliação da cirurgia de avanço mandibular através da  
superposição de modelos tridimensionais / Alexandre Trindade Simões  
da Motta. – 2007.  
87 f.

Orientador: Marco Antonio de Oliveira Almeida.  
Tese (doutorado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro,  
Faculdade de Odontologia.

1. Tomografia computadorizada. 2. Imagem tridimensional.  
3. Mandíbula – Cirurgia. 4. Cêndilo mandibular - Cirurgia. I. Almeida,  
Marco Antonio de Oliveira. II. Universidade do Estado do Rio de  
Janeiro. Faculdade de Odontologia. III. Título.

CDU  
616.314

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese.

---

Assinatura

---

Data

Alexandre Trindade Simões da Motta

**Avaliação da cirurgia de avanço mandibular por meio da superposição de modelos  
tridimensionais**

Tese apresentada, como requisito parcial para  
obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-  
graduação em Odontologia da Universidade do Estado  
do Rio de Janeiro. Área de concentração: Ortodontia.

Aprovado em \_\_\_\_\_

Orientador: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Marco Antonio de Oliveira Almeida  
Faculdade de Odontologia da UERJ

Banca Examinadora:

\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Lúcia Helena Soares Cevidanes  
*UNC School of Dentistry*

\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Emília Figueiredo de Oliveira  
Faculdade de Odontologia da UFMA

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Jonas Capelli Júnior  
Faculdade de Odontologia da UERJ

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Augusto Mendes Miguel  
Faculdade de Odontologia da UERJ

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Marcelo Daniel Brito Faria  
Faculdade de Odontologia da UERJ

Rio de Janeiro  
2007

## DEDICATÓRIA

Dedico

*Aos meus pais, Jorge e Eliane, aos meus irmãos, Cláudio e Simone, aos meus sobrinhos Diogo, Laura e Bernardo, e à minha namorada, Letícia, pelo amor e pensamento positivo de todos durante o período do doutorado no exterior.*

## AGRADECIMENTOS

À minha querida família, sempre presente em todos os momentos, me incentivando em todas as minhas escolhas e desafios.

Ao Prof. Titular de Ortodontia da UERJ Marco Antonio de Oliveira Almeida por mais uma orientação, desta vez especial, já que, confiando em minha capacidade, viabilizou e estimulou minha ida para uma temporada no exterior.

À Prof.<sup>a</sup> do Departamento de Ortodontia da UNC/Chapel Hill Lúcia Helena Soares Cevidanes, por todo apoio e amizade durante a realização do trabalho. Sua capacidade e determinação devem servir de exemplo e orgulho para os ortodontistas brasileiros, tamanha a dificuldade de conquistar e manter uma posição de destaque em um dos maiores centros ortodônticos de excelência clínica e científica do mundo.

Ao Prof. William Proffit, idealizador e mentor da linha de pesquisa de deformidades dento-faciais. O respeito e admiração que ele desperta em todos demonstra sua importância para a Ortodontia mundial.

Às Professoras Camila Tulloch e Ceib Phillips, do Departamento de Ortodontia da UNC, por participarem ativamente da idealização do meu estágio, do desenho do trabalho e pela atenção durante minha estada.

Ao Prof. Martin Styner, do Departamento de Ciências da Computação, por todo o suporte metodológico e intelectual durante a realização do experimento, ao cientista da computação Jonas Chapuis, pelo desenvolvimento do *software* CMF e suporte na sua utilização, e a todos os profissionais da UNC que desenvolveram os programas gratuitos utilizados neste trabalho.

Aos colegas de laboratório e amigos Ana Oliveira e Brandon Burke, pelo companheirismo e convívio extremamente agradável durante todos os trabalhos que realizamos juntos.

Aos professores de Cirurgia Oral e Maxilo-facial da UNC Timothy Turvey e George Blakey, por terem realizado as cirurgias em todos os pacientes da amostra.

Aos assistentes Debora Price, pelo apoio estatístico, Wayne Greene, pelo constante suporte de informática, e à secretária Faith Patterson por todo o suporte burocrático desde o planejamento da viagem.

À Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo incentivo através da bolsa de doutorado sanduíche (processo n<sup>o</sup>: 382705-4) nos EUA.

Ao Professores do Departamento de Ortodontia da UERJ, responsáveis diretos pela minha formação profissional: o “Chefe” Antônio Carlos Peixoto da Silva, Álvaro Francisco Carriello Fernandes, Alvaro de Moraes Mendes, Cátia Cardoso Abdo Quintão, Flávia Raposo Gebara Artese, Jonas Capelli Júnior, José Augusto Mendes Miguel e Maria Teresa de Andrade Goldner.

Aos meus amigos de turma de doutorado Marco Abdo Gravina e Thaís Macedo Soares, e à Ione Helena Vieira Portella Brunharo, pela amizade cercada de respeito, admiração e incentivo mútuo.

Às secretárias Mônica e Elaine, pela eficiência, prontidão e carinho com que realizam o apoio aos alunos e professores do departamento.

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

*E ainda que tivesse o dom de profecia, e conhecesse todos os mistérios e toda a ciência, e ainda que tivesse toda fé, de maneira tal que transportasse os montes, e não tivesse amor, nada seria.*

Carta de São Paulo aos Coríntios

## RESUMO

MOTTA, Alexandre Trindade Simões da. *Avaliação da cirurgia de avanço mandibular por meio da superposição de modelos tridimensionais*. 2007. 87f. Tese (Doutorado em Odontologia) – Faculdade de Odontologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

Deslocamentos de côndilos e ramos acompanhando a cirurgia de avanço mandibular foram descritos, mas a influência destas mudanças na instabilidade pós-cirúrgica ainda é pouco conhecida. Limitações na avaliação quantitativa de deslocamentos cirúrgicos pelos métodos tradicionais podem ser superadas através da tomografia *cone beam* e ferramentas de imagens tridimensionais. O objetivo deste trabalho foi avaliar as mudanças nas posições de côndilos, ramos e mento após cirurgia isolada de avanço de mandíbula. Foram realizadas tomografias computadorizadas de feixe cônico (CBCT) antes da cirurgia (T1), 1 semana (T2) e 6 semanas após a cirurgia (T3) em 20 pacientes retrognatas com padrão normal ou horizontal (14 mulheres e 6 homens, idade média = 27,08 anos, variação de 13,9 a 53,7 anos) submetidos à osteotomia bilateral sagital do ramo para avanço mandibular, sete deles com mentoplastia como procedimento auxiliar. Modelos 3D computadorizados foram construídos e superpostos utilizando-se a base do crânio de T1 como referência. Para a superposição, utilizou-se um método automático que identifica e compara a escala de cinza dos *voxels* de duas estruturas tridimensionais, eliminando a necessidade de marcação de pontos anatômicos pelo operador. Após a combinação dos modelos das três fases, regiões anatômicas de interesse foram selecionadas, sendo analisadas separadamente. Distâncias entre as superfícies anatômicas foram computadas, no mesmo indivíduo, entre T1-T2, T2-T3 e T1-T3, exibindo as mudanças ocorridas com a cirurgia, após a remoção do *splint* cirúrgico, e a resultante total dos deslocamentos cirúrgicos, respectivamente. A navegação pelos modelos superpostos através dos métodos de visualização por mapas coloridos e semi-transparências permitiu a avaliação das direções de deslocamento das estruturas. Um deslocamento ântero-inferior do mento foi observado em todos os casos entre T1 e T2 (>4mm em 87,5%); entre T2 e T3 observou-se um movimento ântero-superior em 69% dos pacientes, e com algum componente posterior em 25% (<3mm). Entre T1-T3, observou-se um deslocamento ântero-inferior em 87,5% dos casos, e apenas anterior em 12,5% (>4mm em 80%). Considerando-se todas as direções de deslocamento, os côndilos apresentaram um movimento menor que 2mm em 77,5% (T1-T2) e 90% (T2-T3 e T1-T3) dos casos, enquanto os ramos deslocaram-se menos de 3mm em 72,5% (T1-T2) e menos de 2mm em 87,5% (T2-T3) e 82% (T1-T3) dos casos. Os côndilos apresentaram uma tendência de deslocamento látero-posterior com a cirurgia, e uma tendência oposta entre T2 e T3. Os ramos apresentaram tendência de deslocamento ínfero-latero-posterior com a cirurgia, mas súpero-medio-anterior entre T2 e T3. Entre T1-T3, as tendências foram médio-postero-superior nos côndilos e súpero-latero-anterior nos ramos. Importantes deslocamentos foram observados nos ramos e côndilos após o procedimento cirúrgico, mas as mudanças após a remoção do *splint* cirúrgico sugerem uma resposta adaptativa tendendo às posições pré-cirúrgicas. As mudanças no mento após seis semanas sugeriram adaptações aceitáveis na maioria dos casos.

Palavras-chave: Tomografia computadorizada. Imagem tridimensional. Avanço mandibular.



## ABSTRACT

Condyles and rami displacements following mandibular advancement surgery have been described, but these changes and bone remodeling/resorption influence on post-treatment instability are poorly understood at present. Cone beam computed tomography (CBCT) and 3D imaging tools can now overcome conventional methods' limitations in assessing surgical displacements. The aim of this study was to assess surgery and short-term post-surgery changes in the position of the condyles, rami and chin with the superimposition of 3D cone-beam CT models. Pre-surgery (T1), 1 week post-surgery (T2), and 6 week post-surgery (T3) CBCT scans were acquired for 20 retrognathic patients (14 females and 6 males, mean age = 27.08 years, range = 13.9-53.7 years) with short or normal face height who underwent a BSSO mandibular advancement. Seven patients also received a genioplasty as an adjunctive procedure. 3D models were built and superimposed through a fully automated voxel-wise method using the cranial base of the pre-surgery scan as reference. After combining the 3 models, anatomic regions of the chin, right and left condyle and ramus were selected and analyzed separately. Within-subject surface distances between T1-T2, T2-T3, and T1-T3 were computed, showing changes with surgery, after splint removal, and the total movement resultant, respectively. Color-coded maps and semi-transparent display of overlaid structures allowed the evaluation of displacement directions. After an antero-inferior chin displacement with surgery in all the cases (>4mm in 87.5%), 25% of the patients showed some kind of posterior movement (< 3mm), and 69% showed an antero-superior movement after splint removal. Comparing T1-T3, an antero-inferior (87.5% of the cases) or only inferior (12.5%) displacement was observed (>4mm in 80%). Considering all directions of displacement, the surface distance differences for the condyles and rami were small: 77.5% of the condyles moved <2mm with surgery (T1-T2), and 90% moved <2mm in the short-term (T2-T3) and in the total evaluation (T1-T3), while the rami showed a <3mm change with surgery in 72.5% of the cases, and a <2mm change in 87.5% (T2-T3) and in 82% (T1-T3). The condyles tended to move latero-posteriorly with surgery compared to a medio-anterior movement between T2-T3. The rami exhibited outward movements with surgery (infero-latero-posterior) and supero-medio-anterior displacements from T2-T3. The displacement tendencies between T1-T3 were medio-postero-superior in the condyles, and supero-latero-anterior in the rami. Expected displacements with surgery were observed and post-surgery changes suggested a short-term adaptive response toward recovery of condyle and ramus displacements. The changes on the chin following splint removal suggested an acceptable adaptation.

Key-words: CBCT. 3D Models. Mandibular advancement.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Hierarquia de estabilidade para os diferentes procedimentos ortocirúrgicos, exibindo a estabilidade relativa ao primeiro ano pós-cirúrgico. Fonte: Adaptado de Proffit, Turvey e Phillips. <sup>24</sup> .....	19
Figura 2 -	A. Esquema do funcionamento dos tomógrafos transaxiais, que utilizam uma fonte radiográfica do tipo <i>fan-beam</i> . B. Funcionamento da CBCT, que utiliza um feixe cônico para adquirir toda a área de interesse em uma única rotação. Fonte: Sukovic. <sup>59</sup> .....	24
Quadro 1 -	Comparação entre as características de um tomógrafo médico com os de feixe cônico mais conhecidos na literatura e no mercado. Fonte: Adaptado de Mah, Huang e Bumann. <sup>1</sup> .....	26
Quadro 2 -	Comparação entre a dose de radiação de diferentes equipamentos radiográficos e tomográficos. Fonte: Adaptado de Ludlow et al. <sup>50</sup> .....	29
Figura 3 -	Modelo 3D gerado a partir de reformatação rápida no programa Dolphin Imaging 10, permitindo visibilidade tridimensional, marcação de pontos anatômicos e medições lineares e angulares básicas. Fonte: Oliveira et al. <sup>56</sup> e Burke et al. <sup>57</sup> .....	34
Figura 4 -	Imagens adquiridas com a câmera 3D, registradas ao modelo gerado no Dolphin 3D, permitindo a visualização dos tecidos moles superpostos à imagem tomográfica. Fonte: Cevidanes et al. <sup>7</sup> .....	35
Figura 5 -	Segmentação do modelo tridimensional, incluindo base do crânio (verde) e complexo maxilo-mandibular (vermelho). As áreas segmentadas são visualizadas tanto nos cortes tomográficos quanto no modelo tridimensional.....	44
Figura 6 -	Figura 6 – Exibição do modelo pós-cirúrgico (colorido) sobre a imagem tomográfica pré-cirúrgica (escala de cinza) no <i>software</i> InsightSNAP, com as bases do crânio coincidentes e as estruturas mandibulares deslocadas. Comprova-se uma correta superposição, que havia sido realizada entre os modelos 3D das duas fases através do <i>software</i> Imagine.....	46
Figura 7 -	Modelos de T1, T2 e T3 combinados. Observa-se nos cortes tomográficos e na exibição 3D o avanço mandibular do modelo T1 para T2 e T3.....	47
Figura 8 -	Seleção das regiões anatômicas de interesse no modelo combinado, a partir de referências anatômicas, para futura análise específica dos deslocamentos cirúrgicos.....	48
Figura 9 -	Da esquerda para direita, a visualização dos modelos 3D, cortes	

	coronal, axial e sagital após a separação das regiões anatômicas de interesse.....	48
Figura 10 -	Eliminação das superfícies de corte do mento, ramos e côndilos com o software <i>CMF</i> . Uma ferramenta em “laço” com três pontos de apoio permite a seleção e eliminação de uma superfície.....	49
Figura 11 -	Exemplo da tela do programa MeshValmet durante a medição do deslocamento do mento de um paciente, entre T1 e T2, mostrando as distâncias entre as superfícies (valores do histograma) e a direção do deslocamento (imagem `a direita). É importante destacar que, no modelo 3D superposto (à direita), observa-se como referência a anatomia ou contorno externo de T2, onde o mapa colorido mostra as diferenças de T1 para este.....	50
Figura 12 -	Visualização dos triângulos da superfície 3D de um côndilo no <i>software</i> MeshValmet.....	51
Figura 13 -	Exemplo do segmento de uma listagem do histograma das distâncias entre duas superfícies sendo comparadas no <i>software</i> MeshValmet. Colunas da esquerda para direita: número de pontos apresentando cada distância, soma de pontos acumulados, porcentagem dos pontos acumulados e distância em milímetros propriamente dita.....	51
Figura 14 -	Exemplo da visualização do deslocamento de um côndilo direito, entre T1 e T2, através do método dos mapas coloridos. As superfícies em vermelho indicam para onde ocorreu o deslocamento, de forma que as superfícies opostas se encontram em azul. A. anterior; P. posterior.....	53
Figura 15 -	dos deslocamentos do mesmo côndilo descrito na Figura 14 através de semi-transparências no software FltkSOV3Dtool. T1 em branco; T2 em vermelho.....	54
Figura 16 -	Visualização de maxila e mandíbula em uma superposição entre T1 e T2 com o método dos mapas coloridos (A) e com o método das semi-transparências (B). Uma observação mais ampla das alterações cirúrgicas facilitou a aferição dos deslocamentos locais em côndilos, ramos e mento. A. Avanço do mento e corpo mandibular exibido em vermelho (movimento “para fora”), além de torque do ramo direito (movimento lateral do ramo em vermelho e medial do pescoço condilar em azul). B. Superposição entre os modelos pré-cirúrgico (branco sólido) e de uma semana após a cirurgia (vermelho transparente) exibindo os deslocamentos do mento, corpo mandibular, ramo e côndilo em uma vista lateral.....	55
Figura 17 -	Organograma simplificado das etapas da metodologia utilizada no experimento.....	56
Gráfico 1 -	Direções de deslocamento do mento entre T1-T2, T2-T3 e T1-T3, expressa em número de pacientes (n = 16; s/d: sem deslocamento).....	58

Gráfico 2 -	Categorização da quantidade de deslocamento do mento entre T1-T2, T2-T3 e T1-T3, expressa em número de pacientes (n = 16).....	59
Gráfico 3 -	Direções de deslocamento do côndilo esquerdo entre T1-T2, T2-T3 e T1-T3, expressa em número de pacientes (n = 20; s/d: sem deslocamento).....	60
Gráfico 4 -	Direções de deslocamento do côndilo direito entre T1-T2, T2-T3 e T1-T3, expressa em número de pacientes (n = 20; s/d: sem deslocamento).....	60
Gráfico 5 -	Categorização da quantidade de deslocamento do côndilo esquerdo entre T1-T2, T2-T3 e T1-T3, expressa em número de pacientes (n = 20).....	61
Gráfico 6 -	Categorização da quantidade de deslocamento do côndilo direito entre T1-T2, T2-T3 e T1-T3, expressa em número de pacientes (n = 20).....	61
Gráfico 7 -	Direções de deslocamento do ramo esquerdo entre T1-T2, T2-T3 e T1-T3, expressa em número de pacientes (n = 20; s/d: sem deslocamento).....	62
Gráfico 8 -	Direções de deslocamento do ramo direito entre T1-T2, T2-T3 e T1-T3, expressa em número de pacientes (n = 20; s/d: sem deslocamento).....	63
Gráfico 9 -	Categorização da quantidade de deslocamento do ramo esquerdo entre T1-T2, T2-T3 e T1-T3, expressa em número de pacientes (n = 20).....	63
Gráfico 10 -	Categorização da quantidade de deslocamento do ramo direito entre T1-T2, T2-T3 e T1-T3, expressa em número de pacientes (n = 20).....	64
Figura 18 -	Exemplo de um caso mostrando algum movimento posterior entre T2-T3 (B). Nota-se que a superposição entre T1-T3 (C) representa um avanço total menor que o verificado na superposição entre T1-T2 (A) quando comparadas a área e a tonalidade das superfícies em vermelho. Mesmo assim, os modelos superpostos em C parecem mostrar um bom posicionamento maxilo-mandibular seis semanas após a cirurgia. Uma avaliação dos ramos mostra um suave movimento lateral entre T1-T2 (A), um deslocamento adaptativo para medial entre T2-T3 (B) e superfícies em verde entre T1-T3 (C), ilustrando o retorno à posição inicial.....	67
Figura 19 -	Esquerda: mapas coloridos de quatro pacientes da amostra exibindo as distâncias entre superfícies dos modelos de T1 e T2 superpostos. Pode-se observar um deslocamento ântero-inferior do mento com a	

cirurgia, ainda com o *splint* cirúrgico. Os pacientes A e C apresentaram um maior deslocamento vertical, exibido em vermelho na superfície inferior da sínfise e no processo alveolar anterior. Os pacientes B e D apresentaram deslocamento vertical e notável avanço do mento, destacado por maiores áreas em vermelho nas superfícies anteriores do mento e corpo mandibulares. Direita: semi-transparências dos mesmos casos com T1 em branco e T2 em vermelho..... 68

Figura 20 - Acompanhamento a curto prazo (T2-T3) dos casos exibidos na figura anterior. Após a remoção do *splint* ocorreu uma tendência de movimento ântero-superior na maioria dos casos da amostra. Pode-se observar um movimento adicional para frente nesta fase, destacado pelas superfícies em vermelho nos mapas coloridos e pelas diferenças ântero-posteriores nas semi-transparências dos modelos de T2 (branco) e T3 (vermelho). Uma comparação dos ramos entre as Figuras 19 e 20 (T1-T2 x T2-T3) sugere uma acomodação dos deslocamentos cirúrgicos após seis semanas, com um movimento médio-lateral nos pacientes B e C e ântero-posterior no paciente D..... 68

Figura 21 - A: T1-T2. B: T2-T3. C: T3-T4 (um ano após a cirurgia). D: T1-T4. Exemplo de um caso com excelente estabilidade. Comparando-se as superposições com mapas coloridos (esquerda) e semi-transparências (direita) entre A (T1 em branco e T2 em vermelho) e D (T1 em branco e T4 em vermelho), nota-se que, apesar de deslocamentos dos ramos e côndilos, as alterações com a cirurgia se mantiveram estáveis após um ano de acompanhamento. As superposições B (T2 em branco e T3 em vermelho) e C (T3 em branco e T4 em vermelho) exibem pequenas alterações entre as fases na região anterior, com pequeno movimento posterior em B. Além deste caso não ter sofrido alteração vertical significativa, sabe-se que a mentoplastia é um procedimento auxiliar altamente estável<sup>P5,P6,B1</sup> ..... 69

Figura 22 - As superposições entre T1-T2 (A) mostram que foi obtido maior movimento vertical do que ântero-posterior com a cirurgia, já que o paciente apresentava pouco overjet e planejara-se uma melhoria da altura facial. Nota-se ainda um extenso deslocamento posterior dos ramos e côndilos com a cirurgia (A), ocorrendo um movimento anterior total após a remoção do *splint* cirúrgico (B = T2-T3), ilustrado nos mapas coloridos por superfícies do mento em vermelho e superfícies do ramo em azul. As figuras C ilustram as superposições entre T3 e T4 (um ano após a cirurgia), com poucas alterações, ainda que sugerindo deslocamento anterior mandibular, possivelmente relacionado à remodelações e/ou reabsorções ósseas. As figuras D mostram as superposições entre T1 e T4, ressaltando os deslocamentos anterior e inferior do mento, e manutenção de parte do movimento posterior dos ramos e côndilos..... 70

## SUMÁRIO

	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>17</b>
1.1	<b>Resultados e estabilidade da cirurgia ortognática.....</b>	<b>17</b>
1.1.1	<u>Alterações condilares.....</u>	<u>21</u>
1.2	<b>Tomografia computadorizada de feixe-cônico (CBCT).....</b>	<b>23</b>
1.2.1	<u>Exigências ortodônticas.....</u>	<u>26</u>
1.2.1.1	Campo de visão (field of view ou FOV).....	27
1.2.1.2	Visualização de tecidos duros e moles.....	28
1.2.1.3	Baixas doses de radiação.....	28
1.3	<b>Análise 3D em Ortodontia.....</b>	<b>31</b>
1.3.1	<u>Visualização cefalométrica lateral e frontal.....</u>	<u>31</u>
1.3.2	<u>Visualização e medição 3D.....</u>	<u>33</u>
1.3.3	<u>Análise Facial.....</u>	<u>34</u>
1.3.4	<u>Anatomia e volume do processo alveolar.....</u>	<u>36</u>
1.3.5	<u>Análise 3D da dentição.....</u>	<u>36</u>
1.3.6	<u>Articulações têmporo-mandibulares.....</u>	<u>37</u>
1.4	<b>Superposição de modelos 3D.....</b>	<b>38</b>
2	<b>PROPOSIÇÃO.....</b>	<b>41</b>
3	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>42</b>
3.1	<b>Seleção da amostra.....</b>	<b>42</b>
3.2	<b>Realização do exame.....</b>	<b>42</b>
3.3	<b>Compressão dos arquivos.....</b>	<b>43</b>
3.4	<b>Segmentação das estruturas.....</b>	<b>43</b>
3.5	<b>Registro e combinação das estruturas.....</b>	<b>45</b>
3.6	<b>Seleção das regiões de interesse.....</b>	<b>47</b>
3.7	<b>Distâncias entre superfícies.....</b>	<b>50</b>
3.8	<b>Visualização dos modelos superpostos.....</b>	<b>52</b>
4	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>58</b>
4.1	<b>Mento.....</b>	<b>58</b>
4.2	<b>Côndilos.....</b>	<b>59</b>
4.3	<b>Ramos.....</b>	<b>62</b>
5	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>65</b>

6	<b>CONCLUSÃO</b> .....	73
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	74
	<b>APÊNDICE A</b> - Superposições com mapas coloridos entre T1-T2 (esquerda), T2-T3 (centro) e T1-T3 (direita) .....	80
	<b>APÊNDICE B</b> - Superposições com semi-transparências entre T1-T2 (esquerda), T2-T3 (centro) e T1-T3 (direita).....	84

## INTRODUÇÃO

A avaliação do complexo crânio-facial em Ortodontia normalmente envolve um exame clínico em conjunto com ferramentas de diagnóstico como fotografias, modelos de estudo e radiografias. Os métodos radiográficos tradicionais apresentam características que limitam seu valor diagnóstico, como ampliações, sobreposições e outras distorções relacionadas à representação bidimensional (2D) de estruturas tridimensionais (3D).<sup>1</sup>

Na tentativa de superar tais limitações, o uso da tomografia computadorizada (CT) médica foi introduzido em algumas especialidades odontológicas, como no planejamento cirúrgico de implantes osseointegrados e no diagnóstico de patologias orais.<sup>1,2</sup> O diagnóstico radiográfico tridimensional vem sendo intensificado na Odontologia através da tomografia computadorizada de feixe-cônico (CBCT, do inglês *cone beam computed tomography*).<sup>3</sup> Este método elimina muitas limitações dos métodos 2D e, por também apresentar vantagens em relação à tomografia convencional, seu uso vem aumentando de forma significativa, e especificamente na Ortodontia, desde que o primeiro equipamento foi introduzido em 2001 nos EUA.<sup>1</sup>

A CBCT tem sido descrita<sup>1,3,4</sup> como o método 3D de escolha para imagiologia maxilo-facial por causa de características como redução do custo do equipamento e do exame, redução da radiação e tempo de aquisição, alta resolução para os ossos da face e dentes, e a possibilidade de se obter com apenas uma exposição todo o conjunto de imagens ortodônticas tradicionais. A CBCT permite a reconstrução 3D com completa visibilidade das estruturas faciais e medições com precisão de 0,36mm em qualquer direção.<sup>5</sup> Ou seja, uma avaliação quantitativa do deslocamento e reabsorção condilares inviáveis anteriormente com técnicas 2D pode agora ser realizada através da CBCT.

As análises 3D podem fornecer importantes informações para clínicos e pesquisadores. Imagens da CBCT mostram inclinação e torque radicular, posicionamento de dentes impactados e supranumerários, morfologia e espessura óssea para colocação de mini-implantes,<sup>6</sup> e regiões de osteotomia para planejamento cirúrgico, entre outros. Achados condilares como reabsorção, crescimento hiperplásico, deslocamento e anomalias de forma, assim como diferenças morfológicas entre o lado esquerdo e direito reforçam o valor diagnóstico dos exames tomográficos.<sup>7</sup>

Novas aplicações ortodônticas de técnicas avançadas de imagens 3D incluem sobreposições de modelos computadorizados para verificação de crescimento, mudanças com



tratamento e estabilidade, além de análises dos tecidos moles e simulação computadorizada de procedimentos cirúrgicos. Alguns trabalhos<sup>5,8,9,10,11</sup> aplicaram as superposições de modelos 3D em pacientes Classe III, mas nenhum trabalho avaliou alterações cirúrgicas em pacientes Classe II com este tipo de método.

Apesar da cirurgia de avanço mandibular ser considerada um procedimento com alta estabilidade,<sup>12,13</sup> problemas clínicos foram relatados em alguns pacientes,<sup>14</sup> como reabsorção condilar a longo prazo, acompanhada de recidiva com abertura de mordida na região anterior. Parecem ocorrer mudanças na posição condilar após a osteotomia bilateral sagital do ramo para avanço, ainda que não associadas a fatores como a quantidade de avanço, grau de rotação proximal e anatomia mandibular.<sup>15</sup>

Tanto rotação quanto deslocamento transversal dos côndilos relacionados à cirurgia do ramo têm sido descritos,<sup>16</sup> mas ainda pouco se sabe sobre a influência das rotações e deslocamentos e da subsequente reabsorção e remodelação óssea sobre a instabilidade pós-tratamento. Alguns autores<sup>15,17</sup> utilizaram imagens tomográficas para avaliar a posição condilar e deslocamentos após diferentes tipos de cirurgia, mas mudanças relacionadas à remodelação condilar ainda não foram relatadas em estudos com TC.

A remodelação dos côndilos é considerada um importante fator na estabilidade após cirurgia ortognática, podendo afetar os resultados do tratamento. A localização de diversos pontos de referência anatômicos pelo clínico se torna necessária na determinação de alterações morfológicas nos côndilos e, consequentemente, na influência destas alterações sobre a estabilidade pós-cirúrgica. Problemas na identificação de pontos anatômicos durante as análises cefalométricas tradicionais têm sido considerados uma fonte significativa de erros na determinação de importantes medições crânio-faciais.<sup>14</sup>

Os complexos movimentos durante as cirurgias para correção de deformidades dento-faciais certamente precisam ser avaliados em três dimensões, com o objetivo de melhorar os resultados, a estabilidade, aumentar a previsibilidade e reduzir os sintomas de distúrbios temporomandibulares (DTM) após a cirurgia.<sup>8</sup>

## 1 REVISÃO DA LITERATURA

### 1.1 Resultados e estabilidade da cirurgia ortognática

O banco de dados do Programa de Deformidades Dento-faciais da *University of North Carolina at Chapel Hill* (UNC) é considerado o mais extenso do mundo, já que em 2004 possuía dados pré-tratamento de 3000 pacientes e de acompanhamento de pelo menos um ano pós-cirúrgico de 1500 pacientes tratados com procedimentos maxilares e/ou mandibulares (não incluindo anomalias ou síndromes crânio-faciais).<sup>12</sup> Estes pacientes têm sido estudados há mais de 25 anos em um projeto avaliando resultados e estabilidade cirúrgicos, tanto a curto quanto a longo prazo, produzindo grande parte da literatura sobre este assunto. Este projeto já gerou mais de 100 artigos em revistas especializadas de Ortodontia e Cirurgia Oral e Maxilo-facial, aproximadamente o mesmo número de resumos publicados em anais de eventos, por volta de 30 capítulos de livros e grande parte do conteúdo de três livros publicados sobre o assunto. Assim, os estudos deste centro compõem grande parte das bases científicas para o atual tratamento das deformidades faciais.<sup>18</sup>

Mesmo assim, ainda se considera insuficiente o número de pacientes com acompanhamento a longo prazo para permitir uma divisão e análise em sub-grupos mais específicos, de forma a possibilitar uma previsão de quais pacientes irão mudar de que forma após a cirurgia. Atualmente, ainda não existem informações suficientes a longo prazo para alguns tipos importantes de deformidades, como casos assimétricos e Classe III tratados com cirurgia combinada, em parte porque o tratamento mudou com o passar dos anos, mas também porque estes pacientes representam uma menor proporção da população com deformidades dento-faciais.<sup>19</sup>

A análise de resultados de tratamentos envolvendo cirurgia ortognática levaram a importantes progressos, inclusive alterando protocolos de tratamento baseando-se em dados científicos. Provavelmente, o melhor exemplo disto tenha sido a transição da cirurgia isolada de mandíbula para a cirurgia isolada de maxila ou cirurgia combinada no tratamento da Classe III, após ter sido demonstrado nos últimos 15 anos que a cirurgia maxilar é mais estável e esteticamente agradável do que o recuo isolado de mandíbula. Se um procedimento de baixa estabilidade como o recuo de mandíbula ou reposição inferior da maxila for necessário, então a cirurgia combinada é mais estável que a isolada. Tais mudanças de paradigma no tratamento

das deformidades faciais devem ser baseados em dados científicos, e não em opiniões clínicas isoladas.<sup>20,21</sup>

O estudo de Schubert et al<sup>22</sup> demonstrou a importância do acompanhamento a longo prazo para o entendimento dos resultados do tratamento orto-cirúrgico. Destacou que remodelação esquelética e mudanças adaptativas importantes continuaram ocorrendo mesmo depois de um ano pós-cirurgia em uma minoria dos pacientes, mas em maior escala do que em adultos não tratados. Segundo Harrell, Hatcher e Bolt,<sup>23</sup> estudos baseados em comparações com normas populacionais padronizadas e representações cefalométricas 2D de fenômenos 3D não podem responder muitas questões relacionadas aos mecanismos de resposta ao tratamento e localização da remodelação esquelética.

Em trabalhos prévios utilizando cefalometria na UNC, a estabilidade das referências esqueléticas e dentárias era calculada relativamente às coordenadas X, representada pela linha horizontal verdadeira, e Y, representada por uma linha perpendicular a X através do ponto Sela. Mudanças menores que 2mm eram consideradas dentro dos limites de erro de método e não significativas clinicamente; maiores que 2mm no posicionamento de pontos ou distâncias, ou maiores que 2° em medidas angulares eram consideradas clinicamente significativas; e maiores que 4mm ou 4° eram classificadas como altamente significativas clinicamente.<sup>12,13,24</sup>

O trabalho de Proffit, Turvey e Phillips<sup>13</sup> em 1996, atualizado pelos trabalhos de Bailey, Cevidanes e Proffit<sup>12</sup> em 2004 e Proffit, Turvey e Phillips<sup>24</sup> em 2007, estabeleceram uma hierarquia de estabilidade para os diferentes procedimentos orto-cirúrgicos (Figura 1), onde o avanço de mandíbula mostrou um alto grau de estabilidade (em pacientes com face normal ou curta, em avanços de até 10mm), assim como a impacção de maxila, se comparados a outras modalidades cirúrgicas. Ambos foram definidos como tendo mais de 90% de chance de apresentarem alterações menores que 2mm nos pontos de referência no primeiro ano pós-cirúrgico, além de quase nenhuma chance de mostrarem mudanças acima de 4mm. A mentoplastia, o procedimento auxiliar mais comum, também foi considerada altamente estável e previsível. O avanço de maxila foi classificado como estável, se dentro do limite moderado de 8mm, com 80% de chance de recidiva menor que 2mm, 20% de chance de 2 a 4mm de recidiva e quase nenhuma chance de alteração maior que 4mm. Da mesma forma, correções assimétricas verticais da maxila, impactando um lado da mesma, e às vezes reposicionando inferiormente o outro, são consideradas igualmente estáveis. Alguns procedimentos são considerados estáveis se realizados com fixação rígida com mini-placas e parafusos: as cirurgias combinadas de impacção maxilar e avanço (Classe II) ou recuo mandibular (Classe III), avanço maxilar e recuo mandibular, e a correção assimétrica

mandibular isolada, ainda que para esta a disponibilidade de dados seja menor. Três procedimentos estão na categoria problemática, apresentando uma chance de 40-50% de alterações pós-cirúrgicas entre 2 e 4mm, e uma significativa chance de recidiva acima de 4mm: recuo mandibular, reposição inferior da maxila e expansão maxilar. Entretanto, mesmo nestes pacientes, pelo menos 50% não experimentam nenhuma alteração pós-cirúrgica importante.

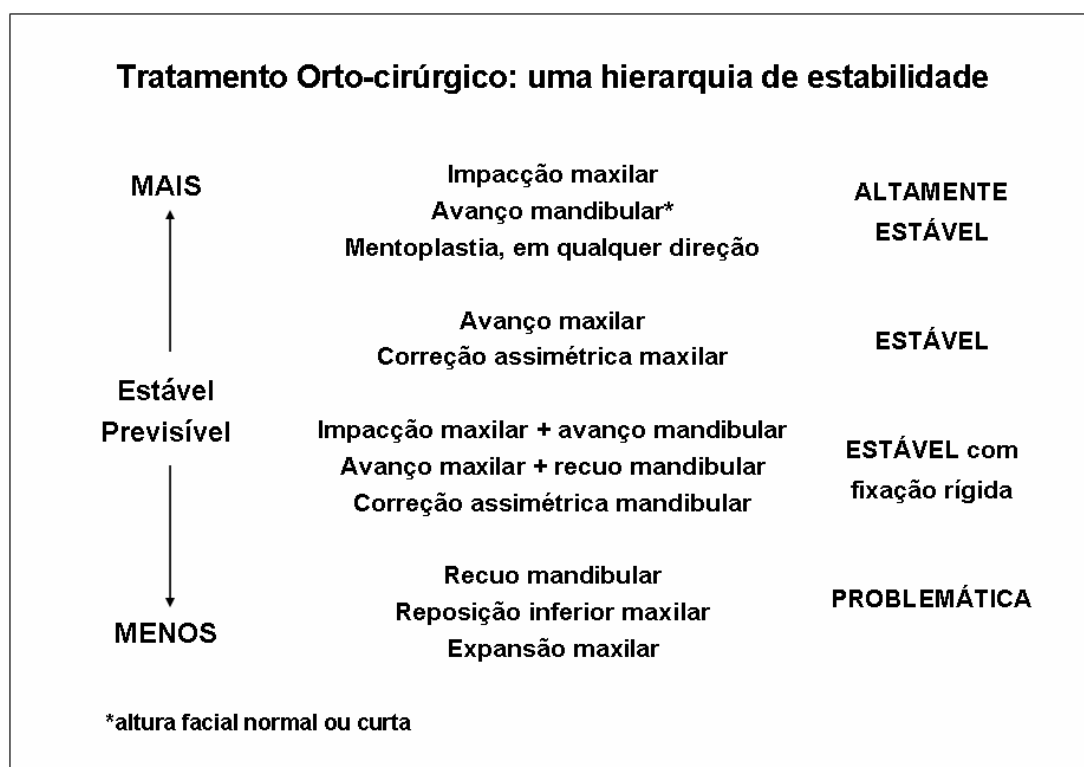


Figura 1 – Hierarquia de estabilidade para os diferentes procedimentos orto-cirúrgicos, exibindo a estabilidade relativa ao primeiro ano pós-cirúrgico.

Fonte: Adaptado de Proffit, Turvey e Phillips.<sup>24</sup>

De Clerq et al<sup>14</sup> descreveram a ocorrência de reabsorção condilar a longo prazo e recidiva com abertura de mordida anterior como potenciais problemas clínicos após avanço mandibular. Os trabalhos de Mihalik, Proffit e Phillips<sup>25</sup> e Simmons et al<sup>26</sup> colocaram estes problemas em perspectiva: ocorrem em 5-10% dos pacientes submetidos ao avanço de mandíbula, mas um aumento do comprimento mandibular a longo prazo (crescimento residual nos côndilos) é tão provável quanto uma redução do mesmo devido à reabsorção condilar.

O trabalho de Proffit et al<sup>27</sup> mostrou excelente estabilidade em pacientes com deficiência mandibular tratados com avanço de mandíbula isolado ou associado à impacção

de maxila, com alterações menores que 2mm durante o primeiro ano pós-cirúrgico, avaliadas através de radiografias cefalométricas seriadas. Surpreendentemente, maiores alterações por remodelação esquelética (>2mm) foram observadas no período de um a cinco anos após a cirurgia. Interessantes achados mostraram ainda que, no grupo dos pacientes com mordida aberta anterior pré-tratamento, uma recidiva da mordida aberta a longo prazo raramente ocorre, mesmo quando se observam alterações esqueléticas pelo padrão original de crescimento vertical da maxila. Mudanças compensatórias nas posições incisais tendem a manter o overbite ou até aumentá-lo.

O estudo de Schubert et al,<sup>22</sup> em um acompanhamento de pacientes adultos que rejeitaram qualquer tratamento após a indicação de cirurgia, assim como aqueles que optaram pelo tratamento com camuflagem ortodôntica, mostrou, em comparação com casos cirúrgicos, que a quantidade de alterações cefalométricas após um ano foi maior nos pacientes submetidos ao tratamento orto-cirúrgico. No trabalho de Mihalik, Proffit e Phillips,<sup>25</sup> por exemplo, os casos de camuflagem de Classe II mostraram menores alterações médias nos pontos cefalométricos esqueléticos a longo prazo do que os casos cirúrgicos.

Achados de Bailey, Duong e Proffit<sup>20</sup> e Busby et al<sup>21</sup> sobre a correção cirúrgica da Classe III indicaram menor estabilidade durante o primeiro ano pós-cirúrgico, com maiores chances de alterações acima de 2mm, mas aparentemente menores mudanças após um ano do que nos pacientes Classe II. Mais de um terço dos casos de recuo mandibular (técnica de osteotomia sagital) apresentaram recidiva maior que 4mm no primeiro ano pós-cirúrgico, com a mandíbula vindo à frente e reduzindo o overjet de 2 a 4 mm, enquanto nenhum caso apresentou mudança desta magnitude no acompanhamento de um a cinco anos. Avaliando os pacientes submetidos ao avanço isolado de maxila, 10% apresentaram movimento superior e anterior do mento, provavelmente refletindo algum movimento superior da maxila, mas apenas 4% mostraram alguma redução no overjet. Após um ano de acompanhamento, a distância Condílio-Pogônio aumentou em um terço dos casos de Classe III tratados com cirurgia combinada, mas apenas 7,5% mostraram redução no overjet acima de 2mm, e em nenhum deles acima de 4mm.<sup>20,21</sup>

Segundo Schardt-Sacco e Turvey,<sup>28</sup> mudanças na inclinação do ramo na cirurgia de recuo mandibular podem ser corrigidas com a recuperação da função mandibular. Entretanto, forçar os ramos posteriormente durante o procedimento cirúrgico aumentaria o risco de recidiva. Os casos onde a inclinação dos ramos foi controlada mais cuidadosamente indicaram uma melhor estabilidade a curto prazo.

Severt e Proffit<sup>29</sup> relataram a ocorrência de assimetrias em 28% dos pacientes com deficiência mandibular, e em 40% dos pacientes com deformidades do tipo Classe III ou com face longa. Interessantes achados mostraram também que frequentemente o lado direito da face é ligeiramente maior e, quando se observa uma mandíbula assimétrica em casos de excesso ou deficiência mandibular, existe uma chance maior que 80% do mento estar desviado para a esquerda. Quando ocorre um crescimento excessivo da maxila, a probabilidade de assimetria para esquerda ou direita se iguala. Os mesmos autores,<sup>30</sup> no único estudo sobre estabilidade após cirurgia ortognática para correções assimétricas, verificaram ainda que a correção das assimetrias maxilares verticais foi bastante estável, enquanto ocorreu uma significativa tendência à recidiva transversal após correção assimétrica mandibular através de osteotomias dos ramos.

O trabalho de Martinez, Turvey e Proffit<sup>31</sup> mostrou que a assimetria transversa também pode ser tratada através de mentoplastia. Após este procedimento, que é considerado bastante estável, ocorre uma melhor remodelação da sínfise em pacientes com menos de 19 anos, de forma que uma correção mais precoce da posição do mento pode ser recomendada.

Bailey et al<sup>32</sup> ressaltaram que a recidiva da expansão maxilar é um problema em potencial tanto na abertura ortopédica da sutura palatina mediana, em crianças e adolescentes, quanto em pacientes adultos através da disjunção cirurgicamente assistida ou da osteotomia maxilar segmentar durante a cirurgia ortognática. Acrescentou que a análise dos dados existentes sugere que, se apenas a expansão é necessária, a disjunção cirurgicamente assistida seria o procedimento de escolha em adultos. Entretanto, se uma osteotomia do tipo LeFort I é necessária para a correção de outro problema vertical e/ou ântero-posterior, a literatura mostra que o tratamento em dois estágios de tratamento não promoveria melhores resultados do que apenas a cirurgia ortognática com a osteotomia segmentar LeFort I.

#### 1.1.1 Alterações condilares

Foi proposto na literatura<sup>15,33</sup> que um reposicionamento preciso dos côndilos poderia garantir a estabilidade dos resultados cirúrgicos e reduzir o risco de efeitos deletérios na articulação têmporo-mandibular (ATM), podendo ainda melhorar a função mastigatória pós-cirúrgica. Entretanto, a extensão da alteração condilar que seria compatível com uma função pós-cirúrgica normal ainda não foi estabelecida.

Sabe-se que problemas como rotação transversa e deslocamento transversos dos côndilos sempre acompanham a cirurgia para avanço da mandíbula,<sup>16</sup> e trabalhos utilizando métodos variados mostraram que a remodelação óssea condilar ocorre após cirurgia ortognática.<sup>15,33</sup> Portanto, uma avaliação pré-tratamento da morfologia dos ramos e côndilos se torna essencial, já que ocorre um processo adaptativo de remodelação óssea que permite uma função normal da ATM durante o preparo ortodôntico e após os deslocamentos cirúrgicos. Mesmo se o centro do côndilo é mantido exatamente na posição original, algum tipo de rotação acompanhando os segmentos ósseos manipulados é inevitável. Observando-se a literatura formada por trabalhos com avaliações radiográficas pré e pós-tratamento, podem ser encontrados dados contraditórios, provavelmente relacionados a fatores técnicos (2D ou 3D), diferenças nas características pré-tratamento dos pacientes da amostra (por exemplo, deficiência mandibular em casos normais/horizontais ou verticais) ou procedimento cirúrgico utilizado (cirurgia isolada ou combinada).<sup>15,16</sup> Como sugerido por Tuinzing,<sup>33</sup> “seria clinicamente relevante poder prever em que situações as alterações no posicionamento do côndilo levam a uma adaptação sem conseqüências ou à recidiva”.

A remodelação dos côndilos mandibulares é necessária após a cirurgia ortognática. Os côndilos giram em torno do seu longo eixo quando a maxila é movida superiormente. Quando é realizada cirurgia mandibular para avanço ou recuo, o côndilo é girado transversalmente quando os fragmentos do ramo e corpo mandibulares são reposicionados. Estudos utilizando radiografias submentovértex mostraram que normalmente ocorrem rotações de 5 a 10°, não levando a problemas funcionais, além da quantidade de rotação aparentemente diminuir com o tempo de acordo com o processo de remodelação. Entretanto, se os côndilos são deslocados anteriormente ou medialmente, haverá tendência à dor e, em alguns casos, restrição de movimento.<sup>12,27</sup>

No tratamento cirúrgico das deformidades dento-faciais é freqüente a necessidade de se alterar o comprimento do ramo mais em um lado do que no outro, mesmo em pacientes onde a assimetria não é o principal problema. Isto não pode ser precisamente mensurado em radiografias cefalométricas laterais. Os côndilos são superpostos por outras estruturas, de forma que torna-se difícil determinar seu posicionamento médio, representado pelo ponto Condílio na cefalometria convencional. Da mesma forma, não é possível medir os dois lados separadamente. Uma avaliação quantitativa das rotações e deslocamentos condilares, assim como das alterações unilaterais do comprimento do ramo, inviáveis anteriormente com as técnicas tradicionais, pode ser realizada através de imagens tomográficas.

Uma das razões do interesse neste tópico é a possível relação com as DTMs, já que a remodelação condilar tem sido vista como causa em um número pequeno de pacientes.<sup>34</sup> Apesar do mecanismo de influência da remodelação condilar sobre a DTM ser ainda desconhecido, acredita-se que esteja relacionado à extensão do deslocamento dos côndilos, particularmente se houve movimento transversal destes durante a colocação da fixação interna rígida na cirurgia.<sup>35</sup> Como a colocação da fixação tem o potencial de deslocar os côndilos, este foi sugerido como um fator no desenvolvimento de DTM pós-cirúrgica.<sup>36</sup>

## 1.2 Tomografia computadorizada de feixe-cônico (CBCT)

A maior parte dos dados sobre resultados e estabilidade cirúrgicos são baseados em técnicas bidimensionais convencionais. Entretanto, as respostas ao tratamento podem ser melhor avaliadas por meio de métodos avançados de imagem. Estudos prévios utilizando diferentes métodos para avaliar o posicionamento mandibular apresentaram algumas desvantagens: as altas doses de radiação na tomografia computadorizada espiral,<sup>3,37</sup> o alto custo da CT e da ressonância magnética,<sup>5,4,17,38</sup> e a falta de ferramentas 3D mais simples para uso clínico limitaram sua utilização no estudo de alterações pós-tratamento.

A aplicação de imagens 3D do complexo crânio-facial em estudos prospectivos controlados é considerado um dos maiores avanços na busca de um diagnóstico mais completo, um maior entendimento do desenvolvimento, planejamento do tratamento e avaliação dos resultados de tratamento. A possibilidade de se obter imagens volumétricas de alta resolução, um maior entendimento do valor clínico das imagens 3D, *workstations* e programas de computador de fácil manuseio e a necessidade de se integrar genética e morfologia no estudo das deformidades faciais levaram as técnicas tridimensionais a assumirem grande importância nos estudos clínicos em Odontologia e Medicina.<sup>2</sup>

Investigações utilizando a CBCT em Ortodontia e Cirurgia Oral e Maxilo-facial têm mostrado que este novo instrumento pode melhorar as possibilidades clínicas de identificação dos diferentes padrões de posicionamento e remodelação dos ramos e côndilos após cirurgia ortognática.<sup>5</sup> Alguns estudos têm testado e verificado não só a precisão, mas também a confiabilidade de medições lineares em estruturas mandibulares de crânios humanos secos.<sup>39,40</sup> Outros têm testado a qualidade e precisão da CBCT em estruturas dentárias, comparando-a com a tomografia computadorizada dentária.<sup>33</sup>



A primeira geração de tomógrafos utilizava uma estreita fonte de “feixe em leque” (*fan beam*) que irradiava um receptor em arco, adquirindo um corte por vez. Isto requeria uma reconstrução fatia por fatia do objeto para a obtenção da representação tridimensional do mesmo (Figura 2A). A segunda geração surgiu com os tomógrafos espirais, geralmente utilizados em Medicina quando se requer imagens do corpo inteiro, mas que também passaram a ser aplicados em Odontologia. A tomografia espiral pode gerar cortes tomográficos 2D, assim como imagens 3D, já que a fonte de raios-X e o detector se movem continuamente ao redor do corpo do paciente, seguindo um trajeto em espiral. Entretanto, algumas desvantagens são atribuídas às CT convencionais, como: alto custo do equipamento; dose de radiação bem mais alta que os exames radiográficos de rotina odontológica; exame caro e demorado, já que mais de 20 minutos podem ser necessários para a obtenção de todos os cortes axiais em um estudo de cabeça e pescoço; equipamentos maiores e mais complexos, sendo encontrados em hospitais e grandes centros radiológicos; dificuldade de comunicação com os técnicos na indicação de pacientes odontológicos, já que estes estão mais treinados e acostumados com requisições médicas; e os dentistas não possuem e/ou não estão treinados para utilizar *softwares* de manipulação e medição das imagens.<sup>2</sup>

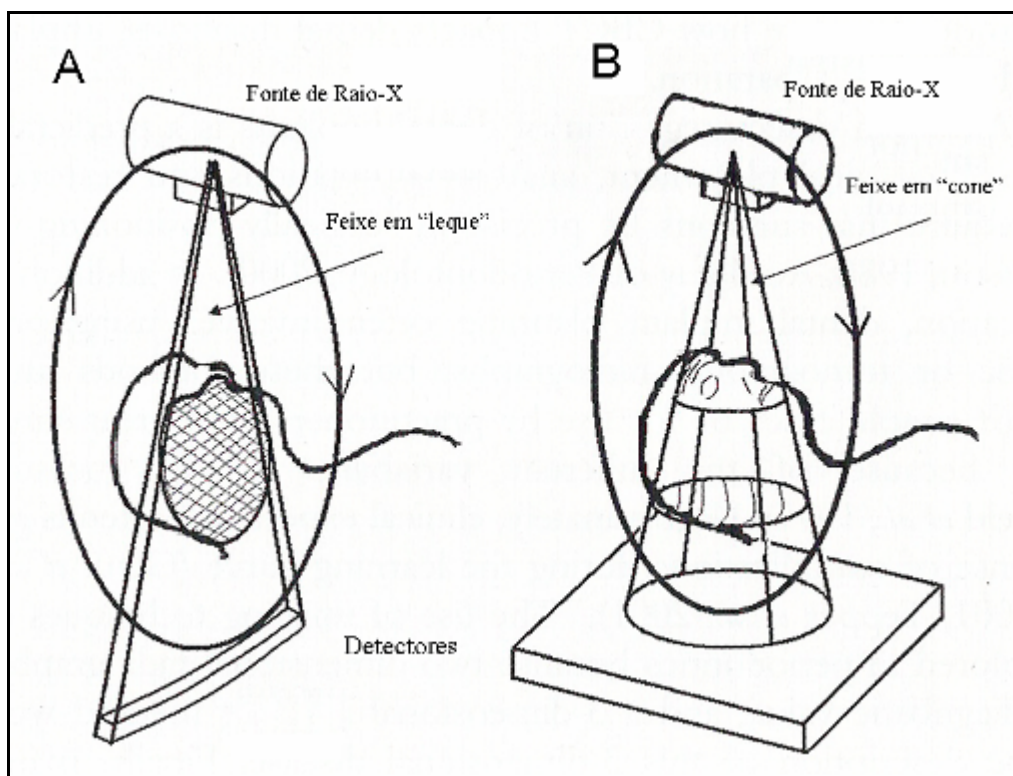


Figura 2 - A. Esquema do funcionamento dos tomógrafos transaxiais, que utilizam uma fonte radiográfica do tipo *fan-beam*. B. Funcionamento da CBCT, que utiliza um feixe cônico para adquirir toda a área de interesse em uma única rotação.

Fonte: Sukovic.<sup>S9</sup>

Na CBCT (Figura 2B), os raios são direcionados de forma cônica sobre um grande sensor plano enquanto ambos rotacionam em torno da cabeça do paciente, de forma que, em uma única rotação do conjunto, que dura de 20 a 40 segundos, aproximadamente 360 cortes 2D são realizados nos três planos do espaço. Um *software* então reorganiza os cortes em um modelo 3D incluindo todas as estruturas irradiadas, que pode ser visualizado digitalmente de diferentes formas. Comparada à CT convencional, a CBCT utiliza radiação significativamente menor, já que realiza um único giro em torno do paciente. Na verdade, a dosagem recebida durante 40 segundos é em torno de 10 vezes menor que a da tomografia convencional, e similar àquela de um exame radiográfico periapical completo. Outra vantagem da CBCT é que o equipamento é aberto, eliminando limitações em pacientes claustrofóbicos.<sup>2,41</sup>

Os tomógrafos NewTom 3G (Aperio Services, Sarasota, Florida, USA), i-CAT (Imaging Sciences International, Hatfield, Pennsylvania, USA) e CB MercuRay (Hitachi Medical Corporation, Tokyo, Japan) são os mais conhecidos no mercado mundial com características adequadas para aplicações ortodônticas e cirúrgicas (Quadro 1).<sup>7</sup> O tomógrafo Accuitomo (J. Morita, Irvine, California, USA) é indicado para áreas restritas, como 2 a 3 dentes apenas, não sendo considerado para uso ortodôntico de rotina.<sup>41</sup> Outros fabricantes lançaram novos equipamentos no mercado. A Sirona (Bensheim, Germany) lançou o Galileos, que apresenta características como duração do exame de 20 segundos, aquisição volumétrica de 15cm x 15cm x 15cm, e utiliza um intensificador de imagens com *voxels* (a menor unidade cúbica de uma imagem volumétrica) de 0,3 ou 0,15mm<sup>3</sup>. O ProMax 3D (Planmeca, Helsinki, Finland) consiste em uma adaptação do ProMax, equipamento de radiografia panorâmica, o que pode significar uma considerável redução de custo para os profissionais que já possuem este equipamento e planejam evoluir para um sistema 3D.<sup>42</sup>

Parâmetros	NewTom 3G (Aperio)	i-CAT (Imaging Sciences)	CB Mercuray (Hitachi)	Tomógrafo médico*
Área irradiada	cabeça	cabeça	cabeça	corpo inteiro
Feixe de Rx	Cônico	Cônico	Cônico	Leque
Posição do paciente	deitado	sentado	sentado	Deitado
Exame (seg.)	36	20 – 40	11	Depende do exame ( $\pm 10\text{min.}$ )
Exposição (seg.)	5,4	3,3	9,6	Depende do exame ( $>2\text{min.}$ )
Sensor de detecção	Área	Área	Área	Linear
	Intensificador de imagens CCD	Painel plano de sílica amorfa	Intensificador de imagens CCD	Gás ou estado sólido
Voxel ( $\text{mm}^3$ )	0,07 - 0,20	0,2 - 0,4	0,1 - 0,4	0,317
Aquisição	panorâmica	panorâmica	panorâmica	Cortes axiais
	Rotação única 360°	Rotação única 360°	Rotação única 360°	Rotações múltiplas 360°

\*equipamento “*state of the art*” de CT médica.

Quadro 1 – Comparação entre as características de um tomógrafo médico com os de feixe cônico mais conhecidos na literatura e no mercado.

Fonte: Adaptado de Mah, Huang e Bumann.<sup>1</sup>

### 1.2.1 Exigências ortodônticas

Enquanto o método tridimensional se torna um avanço para todas as áreas da Odontologia, o diagnóstico ortodôntico possui suas próprias especificidades, o que gera uma demanda diferente em termos de *hardware* e *software* para a geração e visibilidade do modelo 3D do crânio e reformatação dos cortes tomográficos. Além disso, o pacote de imagens fornecido pela clínica radiológica ao ortodontista deve ter conteúdo e características diferentes daqueles requeridos, por exemplo, para o planejamento de implantes e diagnóstico de patologias.<sup>1</sup>

Alguns requisitos básicos devem ser considerados para que um equipamento de CBCT seja adequado para o diagnóstico ortodôntico, como: ter um campo de visão incluindo todas as estruturas de interesse ortodôntico, permitir a visibilidade de tecidos duros e moles, e utilizar uma exposição radiográfica relativamente pequena. Uma boa resolução para tecidos

duros e moles é um requisito óbvio para o uso ortodôntico, mas sabe-se que este método é ideal para irradiar dentes e ossos, enquanto outros métodos, como a ressonância magnética, seriam mais indicados para melhor resolução dos tecidos moles.<sup>1</sup>

Outros parâmetros como tempo do exame e posicionamento do paciente podem influenciar a qualidade da imagem final, já que evitam artefatos por movimentação da cabeça. Alguns equipamentos acompanham posicionadores de cabeça, como apoio para o mento e tala para a frente, mas deve-se evitar distorção dos tecidos moles pelos mesmos, que podem também influenciar o posicionamento mandibular. Além dos equipamentos disponíveis atualmente, a tendência é que os fabricantes desenvolvam novos sistemas apresentando melhores sensores de raios-X e programas de reconstrução e visualização das imagens mais aprimorados e de fácil manuseio.<sup>1</sup>

#### 1.2.1.1 Campo de visão (*field of view* ou FOV)

As estruturas e pontos de referência usados nas análises ortodônticas incluem a base do crânio, os ossos da face e a dentição, o que requer um campo de visão maior do que o usado nas análises para implantes. De forma geral, o ortodontista necessita visualizar o Nasion, no limite ântero-superior do exame, e os pontos mandibulares Pogônio, Gnátio e Mento no limite ântero-inferior. O campo de visão posterior deve incluir a Sela túrcica, as ATMs (ponto Condílio), base do crânio (Basion), e o contorno posterior da mandíbula (Gônio). Além disso, as vértebras até C4 deveriam estar visíveis na tomografia, permitindo análise da maturação esquelética.<sup>1</sup>

Os cortes tomográficos devem incluir informações suficientes nos planos sagital e coronal, permitindo a geração de projeções cefalométricas lateral e frontal que irão simular as tomadas 2D tradicionais, onde são baseadas as análises cefalométricas de rotina.<sup>1</sup> Alguns programas permitem a simulação de projeções radiográficas, gerando cefalométricas lateral e frontal, panorâmica e submentovértex. Da mesma forma, a reconstrução de modelos 3D que reproduzam corretamente as estruturas do crânio também depende de um exame com um campo de visão abrangente.

### 1.2.1.2 Visibilidade dos tecidos duros e moles

A visualização da relação dos tecidos moles que recobrem as estruturas dentárias e esqueléticas é fundamental para o planejamento ortodôntico, podendo ditar modalidades de tratamento com ou sem extrações, com intrusão ou extrusão dentária para correção da exposição do sorriso, ou ainda guiando a direção e tipo de movimentos cirúrgicos. Atualmente, a análise dos tecidos moles é realizada na radiografia cefalométrica, com suas distorções características, e nas fotografias clínicas do paciente.

A CBCT deve incluir os tecidos moles da face para tal análise, representados de forma precisa. A informação tridimensional deste exame é considerada superior às informações bidimensionais contidas em uma radiografia cefalométrica, já que o volume é adquirido em tamanho real, sem as distorções projecionais dos métodos tradicionais. Entretanto, alguns detalhes devem ser considerados, como: (1) o campo de visão do equipamento deve ser capaz de incluir, sem cortes, os tecidos moles do paciente; (2) posicionadores de cabeça disponíveis em alguns equipamentos podem causar distorções; (3) no tomógrafo NewTom 3G (Aperio Services, Sarasota, Florida), por exemplo, o paciente fica deitado durante o exame, o que pode distorcer os tecidos moles (perfil estético e vias aéreas) pela força da gravidade.

A visualização 3D da face poderia reduzir ou até eliminar a necessidade de fotografias, já que as imagens dos tecidos moles e duros são adquiridas concomitantemente durante o exame, guardando as exatas proporções entre as estruturas. Na verdade, novos equipamentos de escaneamento 3D da face viabilizam um registro da tomografia volumétrica com “fotografias 3D”, gerando modelos com cor e textura, possibilitando planejamento e simulação do tratamento mais realistas.<sup>1</sup>

### 1.2.1.3 Baixas doses de radiação

A dosagem do exame com a CBCT é geralmente bem menor que a dos tomógrafos médicos, sendo mais comparada a outros exames radiográficos odontológicos, como as radiografias panorâmica e o exame periapical completo.<sup>4,43</sup> Alguns equipamentos exibem doses consideravelmente maiores que outros, e a relação entre resolução de imagem e radiação deve ser buscada e aprimorada pelos fabricantes. É importante ressaltar que, ao se

avaliar diferentes doses efetivas para diferentes tomógrafos, é necessário considerar-se também a dose de radiação para as glândulas salivares.<sup>7</sup>

Brooks<sup>44</sup> ressaltou que as doses de radiação da CBCT dependem da Kilovoltagem (kV) e Miliamperagem (mA), do número de imagens base ou cortes tomográficos necessários para a reconstrução da imagem, e do FOV. Além disso, existe uma relação direta entre a dose de radiação e o ruído da imagem, de forma que maiores doses geram imagens mais “limpas”, de menor ruído. O que ainda não se sabe é qual a menor dose necessária e, portanto, qual a menor qualidade da imagem suficiente para um diagnóstico aceitável em diferentes objetivos clínicos.

Como referência (Quadro 2), sabe-se da literatura radiológica que um exame periapical completo pode variar de 33 a 150 microsievverts ( $\mu\text{Sv}$ ), dependendo do filme e do tipo de colimação utilizados.<sup>45,46</sup> Uma radiografia panorâmica varia de 2,5-6,2 $\mu\text{Sv}$  (digital) a 3-10 $\mu\text{Sv}$  (filme), dependendo do equipamento e da qualidade da imagem requerida.<sup>47</sup> Doses efetivas para radiografias cefalométricas digitais variam de 1,1 a 3,4 $\mu\text{Sv}$ , dependendo do tipo do sistema,<sup>48</sup> enquanto a dosagem relatada com uso de filme é de 2,3 $\mu\text{Sv}$ .<sup>49</sup> Como parâmetro, sabe-se que a radiação de fundo ambiental (radiação cósmica, radiação do solo, raios ultravioleta) média é de 3000 $\mu\text{Sv}/\text{ano}$  (em torno de 8 $\mu\text{Sv}/\text{dia}$ ), o que significa que a dosagem de uma radiografia cefalométrica e panorâmica equivalem a meio dia e a um dia de radiação de fundo ambiental, respectivamente.

Referência	Radiação Ambiental	Cefalométrica	Panorâmica	Periapical completo
Radiação ( $\mu\text{Sv}$ )	8/dia (3000/ano)	1,1 - 3,4	2,5 – 10	33 – 150
Equipamento	<b>NewTom 3G</b>	<b>i-CAT</b>	<b>CB Mercuray</b>	<b>Tomógrafo médico</b>
Radiação ( $\mu\text{Sv}$ )	45 - 59	135 - 193	477 – 558	2100

Quadro 2 – Comparação entre a dose de radiação de diferentes equipamentos radiográficos e tomográficos.

Fonte: Adaptado de Ludlow et al.<sup>50</sup>

As doses de radiação também dependem do tomógrafo utilizado. O NewTom, presente no mercado há mais tempo, possui mais informações sobre dosagem na literatura, que varia de 43 a 80 $\mu$ Sv, dependendo de como os cálculos foram realizados e do posicionamento dos dosímetros em crânio seco.

O trabalho de Ludlow et al<sup>50</sup> realizou a dosimetria de três tomógrafos, todos utilizados no FOV de 12 polegadas, justamente aquele de interesse ortodôntico. Encontraram doses variadas, medidas em  $\mu$ Sv de acordo com as normas da Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) de 1990 e 2005, respectivamente, de forma que o i-CAT apresentou uma dosagem (135-193) maior que o NewTom (45-59), enquanto o CB Mercuray mostrou uma dosagem significativamente maior (477-558). Ou seja, o i-CAT e o CB Mercuray apresentaram doses 3 a 3,3 vezes e 9,5 a 10,7 vezes maiores que o NewTom, respectivamente. Além disso, os equipamentos de CBCT apresentaram doses de 4 a 42 vezes maiores que uma radiografia panorâmica (6,3-13,3  $\mu$ Sv). Os autores concluíram que a dosagem variou substancialmente dependendo do equipamento, do FOV e de fatores técnicos específicos (mA e kV). No i-CAT, a variação do FOV de 12" para 9" reduziu a dosagem de 135-193 $\mu$ Sv para 69-105 $\mu$ Sv. O CB Mercuray, por exemplo, testado no FOV de 12" com 10mA/100kV e 15mA/120kV, mostrou valores de 477-558 $\mu$ Sv e 847-1025 $\mu$ Sv, respectivamente.

Pôde-se concluir, no mesmo trabalho,<sup>50</sup> que as doses dos tomógrafos CBCT corresponderam a 2-23% da dosagem de um tomógrafo convencional,<sup>51</sup> entretanto, em alguns casos, foram dezenas de vezes maiores que radiografias panorâmicas convencionais. Desta forma, a CBCT não substitui uma radiografia panorâmica se esta, isoladamente, for adequada para o diagnóstico. Já no caso do diagnóstico ortodôntico, a substituição das radiografias panorâmica, cefalométrica lateral e frontal pela CBCT pode ser contemplada, de forma que a dosagem do NewTom 3G com um FOV de 12", por exemplo, está entre 2 a 4,5 vezes a dosagem das exposições convencionais, excluindo-se o exame periapical completo.

Brooks<sup>44</sup> destacou que, apesar de significativamente menores que aquelas dos tomógrafos médicos convencionais (2100  $\mu$ Sv),<sup>51</sup> as doses da CBCT podem ser consideravelmente maiores que as dos exames cefalométricos e panorâmicos convencionais. Desta forma, torna-se necessário considerar os riscos nos pacientes infantis, mais radiosensíveis que os adultos e que representam a maior parte da clientela ortodôntica, considerando, para cada caso, os reais benefícios deste exame onde será aplicada radiação extra. Especificamente, as crianças irão carregar a carga radioativa por um período de tempo mais longo que os adultos, e seus órgãos em desenvolvimento são mais sensíveis à radiação.<sup>50</sup> O NewTom 3G possui uma interessante capacidade (*SmartBeam*) de ajuste automático dos

parâmetros de kV e mA, diminuindo a radiação em até 40% de acordo com o tamanho do paciente. No CB Mercuray, estes fatores técnicos podem ser ajustados manualmente pelo operador, e no i-CAT são fixos, ou seja, a mesma radiação é utilizada em todos os pacientes.

Algumas instituições americanas já realizam a CBCT em todos os pacientes ortodônticos iniciais e estão abandonando os métodos tradicionais, como a *Loma Linda University* e a *University of Southern California*. Outras estão tomografando apenas casos selecionados, como a *University of North Carolina at Chapel Hill*, onde os casos ortocirúrgicos e pacientes fissurados já são documentados com este método desde 2003.<sup>7,41,52</sup>

### 1.3 Análise 3D em Ortodontia

Hans<sup>53</sup> descreveu três áreas onde se espera um grande impacto das imagens 3D sobre a prática clínica: o mapeamento da superfície dos tecidos moles da face, os modelos digitais das arcadas e a visualização e medição das estruturas esqueléticas. Ressaltou que o desenvolvimento da CBCT com alta resolução para imagens maxilo-faciais com baixas doses de radiação deve possibilitar uma avaliação com maior precisão das alterações nas dimensões dos maxilares e na morfologia condilar.

Uma vez adquiridos os cortes do crânio do paciente através da CBCT, torna-se necessário reformatar ou reconstruir a imagem tridimensional para que informações relevantes possam ser extraídas e analisadas de forma sistemática. Esta análise contém elementos que fazem parte da documentação ortodôntica tradicional, e outros componentes e perspectivas visuais possíveis apenas com o uso de imagens e *softwares* 3D.<sup>1</sup>

#### 1.3.1 Visualização cefalométrica lateral e frontal

Na mudança de paradigma entre a análise cefalométrica tradicional e as novas técnicas tomográficas, torna-se necessário comparar dados 2D com 3D. Ferramentas utilizadas com a tomografia CBCT podem auxiliar esta transição, já que a partir das imagens volumétricas pode-se simular radiografias panorâmica, cefalométrica lateral e frontal, de forma que sejam comparadas com dados cefalométricos pré-existentes.<sup>7</sup> Cefalogramas lateral e frontal podem



ser simulados e importados para qualquer programa de análise cefalométrica digital para realização do traçado, obtenção de medidas lineares e angulares, e realização de superposições.<sup>1</sup>

O cefalograma gerado a partir da CBCT pode reproduzir fielmente o cefalograma lateral tradicional,<sup>54</sup> mas também ser construído com diferentes características, apresentando possibilidades vantajosas. O tradicional é obtido através de uma projeção, resultando em uma magnificação da imagem inerente à técnica, causando diferenças entre as estruturas do lado esquerdo e direito da face, especialmente nos bordos inferiores da mandíbula. Mesmo que os pórios direito e esquerdo estejam alinhados e a cabeça esteja corretamente orientada, a não coincidência entre os bordos direito e esquerdo da mandíbula pode representar um artefato radiográfico ou uma assimetria esquelética. Na simulação, o modelo volumétrico reconstruído a partir dos cortes tomográficos é orientado espacialmente pelo operador, como se posicionasse a cabeça do paciente no cefalostato de um equipamento telerradiográfico convencional, e em seguida este é projetado sobre uma imagem bidimensional. *Softwares* como o Dolphin Imaging 3D (Dolphin Imaging & Management Solutions, Chatsworth, California), o *software* instalado com o tomógrafo i-CAT (Imaging Sciences International, Hatfield, Pennsylvania) e o recentemente lançado InVivo (Anatomage, San Jose, California, USA) permitem ajustes, como a incorporação de distorções ou magnificações inerentes às projeções radiográficas convencionais, ou a manutenção da relação de tamanho 1:1 característica da tomada tomográfica. A magnificação projecional pode ser corrigida de forma computadorizada durante o processo de reconstrução primária da imagem, gerando uma imagem ortogonal. Outra possibilidade interessante é a geração de um cefalograma para cada metade da cabeça, removendo-se as superposições das estruturas bilaterais da face, assim como a escolha da localização da régua milimetrada.<sup>1</sup>

Burke et al<sup>55</sup> realizaram um trabalho com o Dolphin Imaging 3D comparando duas formas de orientação do modelo tridimensional da cabeça na simulação da radiografia cefalométrica lateral. Concluíram que tanto o plano de Frankfurt quanto a postura natural da cabeça foram confiáveis na simulação das radiografias, mas o primeiro mostrou uma maior porcentagem de medidas com alto grau de reprodutibilidade.

Da mesma forma que o cefalograma lateral, a imagem frontal é criada através de reformatação dos cortes tomográficos. Uma vantagem deste processo é a possibilidade de se remover digitalmente, de forma temporária, estruturas superpostas como a espinha cervical e partes do occipital, resultando em melhor visibilidade frontal da face.<sup>1</sup> Se a imagem criada

sugerir erros de posicionamento do crânio, novas orientações da cabeça podem ser facilmente repetidas até se atingir um posicionamento perfeito e correta visibilidade das estruturas.

Na verdade, esta função de extrair imagens bidimensionais a partir de imagens tridimensionais se torna extremamente importante nesta transição ou mudança de paradigma do diagnóstico 2D para 3D, de forma que o clínico possa continuar utilizando as mesmas análises cefalométricas até que se estabeleçam análises tridimensionais consagradas na literatura ortodôntica e que se tornem atraentes para a prática de rotina. À primeira vista, parece paradoxal a reconstrução de um modelo 3D e subsequente “retorno” à imagem 2D, mas isto pode tornar mais viável a introdução gradual da CBCT na prática do ortodontista clínico. O que o método de aquisição das imagens e os *softwares* comerciais para visualização das imagens fornecem é um pacote de imagens contendo as informações ortodônticas tradicionais e ainda possibilidades adicionais.

### 1.3.2 Visualização e medição 3D

A visualização tridimensional do esqueleto facial se tornou um novo meio de diagnóstico das estruturas maxilo-mandibulares e suas relações com a base do crânio. Pode-se inspecionar a morfologia óssea dos maxilares, por exemplo, a altura e espessura do osso alveolar, área de grande interesse clínico especialmente em pacientes adultos e/ou com comprometimento periodontal. Podem ser diagnosticadas irregularidades da superfície óssea como dentes ectópicos, deiscências, invaginações de glândulas salivares ou outras patologias que poderiam se estender ao processo alveolar e entre as raízes dentárias, influenciando diretamente o planejamento ortodôntico. Outra possibilidade da visualização 3D seria a avaliação oclusal por uma vista lingual, tal qual em modelos de gesso, entretanto mais completa e realista por apresentar as estruturas ósseas adjacentes aos dentes.<sup>1</sup>

Oliveira et al<sup>56</sup> realizaram um trabalho de validação da marcação de pontos tridimensionais (marcados nos cortes tomográficos axiais, coronais e sagitais) no *software* Dolphin Imaging 3D. De forma geral, encontraram uma excelente reprodutibilidade intra e inter-observador, e concluíram que as imagens a partir da CBCT podem oferecer dados consistentes e reprodutíveis, mas podem ser afetados pela estrutura da referência anatômica, pelo plano anatômico e pelo treinamento do operador. Na sequência do trabalho anterior, Burke et al<sup>57</sup> desenvolveram uma análise cefalométrica tridimensional utilizando funções

ainda básicas do programa, que permitem medições de distâncias entre dois pontos e de ângulos entre três pontos. Aplicaram esta análise em uma amostra cirúrgica de Classe II, concluindo que importantes dados podem ser obtidos, principalmente referentes a posicionamentos unilaterais das estruturas mandibulares (Figura 3).

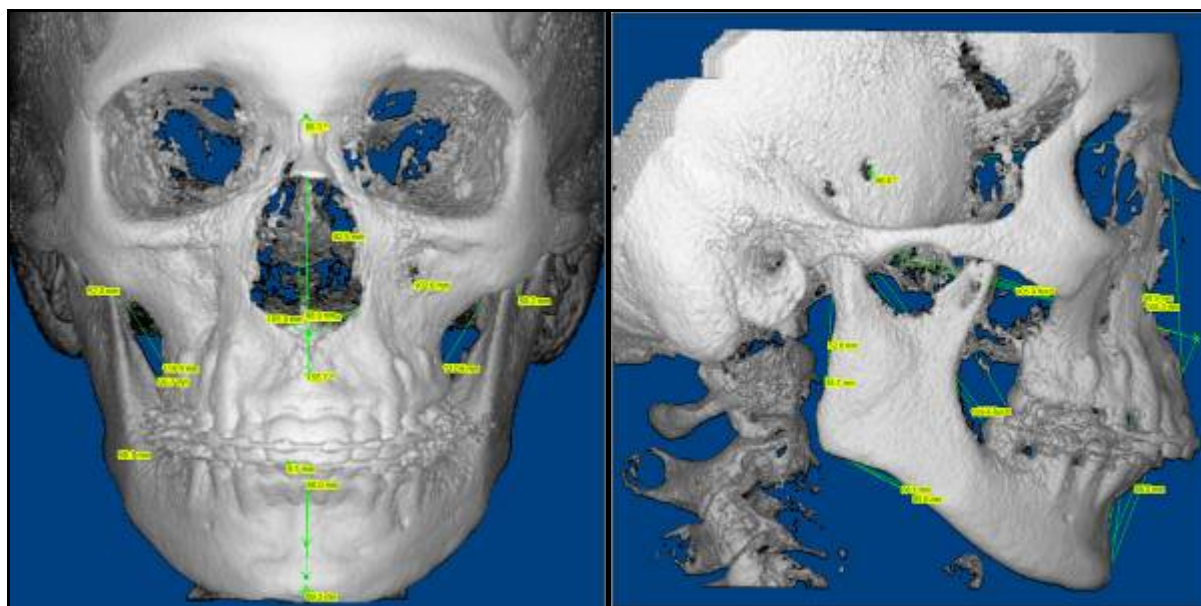


Figura 3 – Modelo 3D gerado a partir de reformatação rápida no programa Dolphin Imaging 3D, permitindo visibilidade tridimensional, marcação de pontos anatômicos e medições lineares e angulares básicas.

Fonte: Oliveira et al.<sup>56</sup> e Burke et al.<sup>57</sup>

### 1.3.3 Análise Facial

Fotografias tradicionais representam em 2D as características faciais, além de não estarem registradas (superpostas) ao esqueleto facial. A imagem volumétrica permite visibilidade frontal, lateral, ou em qualquer orientação definida pelo usuário. Alterando-se a transparência da imagem, pode-se determinar como os tecidos moles se relacionam com as estruturas esqueléticas, influenciando no planejamento de movimentos dentários, cirurgia ortognática ou outros tratamentos que poderiam alterar a estética facial.<sup>1</sup>

Um importante paradigma em Ortodontia coloca ênfase nos tecidos moles como fatores limitantes e ao mesmo tempo determinantes dos objetivos do tratamento. Assim, diminui-se o foco prévio sobre a oclusão dentária e a relação dos tecidos duros, e as análises

cefalométricas passam a ter um papel reduzido em comparação com o exame clínico das proporções faciais. Entretanto, surge um desafio para as análises do crescimento e das respostas ao tratamento pelos métodos 3D: as alterações em tecidos moles são determinadas pelos músculos aderidos às estruturas esqueléticas. As superfícies dos tecidos moles visualizadas a partir da tomografia espiral, CBCT, escaneamento a laser ou fotografia 3D contêm apenas informação sobre a pele e a aparência facial, o que ainda não permite uma avaliação dos músculos subjacentes.<sup>52</sup>

De qualquer forma, recentes avanços como a câmera 3D da Dolphin Imaging permitem novas análises faciais, unindo a visualização volumétrica das bases ósseas com a forma e textura da imagem fotográfica do paciente (Figura 4).



Figura 4 - Imagens adquiridas com a câmera 3D, registradas ao modelo gerado no programa Dolphin 3D, permitindo a visualização dos tecidos moles superpostos à imagem tomográfica.  
Fonte: Cevidanes et al.<sup>7</sup>

#### 1.3.4 Anatomia e volume do processo alveolar

A navegação pelos cortes tomográficos nos planos axial, frontal e sagital se torna um grande auxiliar na avaliação dos limites alveolares para movimentação dentária, em tamanho real, assim como no planejamento de terapias auxiliares, como a colocação de mini-implantes.<sup>6</sup> Vistas oclusais/axiais dos arcos mostram as posições dentárias intra-arco e a forma do osso alveolar de suporte. Traçados podem ser realizados na altura das cristas alveolares, ou em outros pontos de referência, aferindo a forma dos arcos superior e inferior, que podem ser posteriormente superpostos revelando discrepâncias entre arcos. A vantagem seria um diagnóstico confiável, principalmente das dimensões transversais das bases ósseas alveolares, sem a interferência de compensações dentárias. Acredita-se que em breve os clínicos estarão aplicando esta análise tomográfica dos arcos para medidas de comprimento de arco e análise de Bolton, assim como, imprimindo o traçado dos arcos em tamanho real, selecionar moldeiras e confeccionar arcos ortodônticos.<sup>1</sup>

#### 1.3.5 Análise 3D da dentição

Peck et al<sup>58</sup> compararam a precisão da medição das angulações radiculares através de radiografias panorâmicas convencionais e imagens a partir da CBCT. Concluíram que a radiografia panorâmica é uma boa ferramenta para exame geral da dentição, mas esta não foi precisa na determinação da angulação radicular, especialmente na região de caninos e pré-molares. Segundo os autores, a introdução da CBCT cria a oportunidade dos clínicos realizarem um diagnóstico de alta precisão com baixa radiação.

Os *softwares* Dolphin Imaging 3D, InVivo e o programa do tomógrafo i-CAT, além de gerarem projeções cefalométricas, possibilitam também a criação de uma vista panorâmica similar à tradicional a partir da CBCT, mas com a vantagem de se poder selecionar a área avaliada, permitindo a exclusão da coluna vertebral nesta tomada, assim como a eliminação de artefatos da projeção radiográfica convencional, como imperfeições na região de incisivos.<sup>1</sup> Na projeção panorâmica, pode-se ainda selecionar a área irradiada nos sentidos vertical (apenas a região maxilar ou mandibular, por exemplo), sagital e transversal.

Outra possibilidade presente no *software* do i-CAT é a análise dos pares de dentes homólogos, que podem ser selecionados através de um guia oclusal digital para a maxila e para a mandíbula, verificando-se assim assimetrias, posições radiculares em relação às corticais vestibular e palatina/lingual, e compensações de torque. Alguns pacientes possuem uma cortical alveolar extremamente fina em torno das raízes, a qual não poderia ser verificada através das técnicas convencionais. Este fato pode alterar as decisões de tratamento e fazer o ortodontista buscar colaboração com outras especialidades.<sup>1</sup>

Vistas tridimensionais da oclusão permitem uma análise rápida e eficiente, especialmente nos pacientes em fase de dentição mista, já que as imagens ilustram dentes erupcionados, em fase de erupção e em desenvolvimento, além de sua posição relativa e formação radicular generalizada. A natureza tridimensional das imagens permite localização precisa de todos os dentes nos arcos dentários, facilitando o diagnóstico de anomalias de erupção que poderiam levar a intervenções precoces.<sup>1</sup> O uso de métodos 3D para a localização de caninos inclusos foi previamente citado na literatura,<sup>60,61</sup> provando ser extremamente útil no diagnóstico desta condição.

#### 1.3.6 Articulações têmporo-mandibulares

A navegação pelos cortes tomográficos pode ser extremamente útil para a observação da anatomia condilar, revelando assimetrias entre o lado esquerdo e direito, assim como patologias como a reabsorção condilar idiopática. A construção de modelos 3D destas estruturas pode ser extremamente valiosa para complementar este diagnóstico, exibindo casos de hipertrofia, anquilose, entre outros. Como o exame normalmente é realizado com o paciente em oclusão cêntrica, análises funcionais em boca aberta deveriam ser complementadas por radiografias específicas. Mesmo assim, desvios condilares podem ser aferidos em casos de desvio mandibular funcional. A CBCT se torna um exame interessante tanto no aspecto clínico quanto legal, já que oferece imagens articulares que não são rotineiramente solicitadas para casos sem história prévia de DTM. O paciente pode apresentar alguma queixa de DTM ao longo ou após o tratamento e, munido de informações completas e precisas pré-tratamento, o profissional terá embasamento para comparações.<sup>62</sup>

Cevidanes et al<sup>8</sup> ressaltaram que, apesar de uma série de estudos prévios com técnicas 2D terem reportado a influência dos procedimentos cirúrgicos sobre a ATM, novas técnicas

de reconstruções 3D têm contribuído ainda mais para o entendimento dos deslocamentos anteriores, posteriores, transversos e rotacionais do segmento distal da mandíbula.<sup>15,17,51,63</sup>

Segundo Bailey, Cevidanes e Proffit,<sup>12</sup> dados preliminares a partir de tomografias computadorizadas sugerem que as rotações condilares resultantes em remodelação são causadas exclusivamente pelos procedimentos cirúrgicos. Superposições de modelos 3D antes e depois da cirurgia indicaram que as mudanças condilares podem ser quantificadas quanto à extensão e momento de ocorrência. Ressaltaram ainda que estudos adicionais tornam-se necessários para se determinar relações entre reabsorções condilares e fatores como tipo de procedimento cirúrgico e características predisponentes do paciente.

#### 1.4 Superposição de modelos 3D

Várias técnicas para a reconstrução de imagens tomográficas foram utilizadas no diagnóstico, planejamento de tratamento e simulação cirúrgica.<sup>17,23,64,65,66,67</sup> Entretanto, o registro/superposição de imagens tridimensionais impõe desafios operacionais, principalmente pela dificuldade de se estabelecer pontos de referência anatômicos sobre superfícies reais e que não possuem convenções para localização nos três planos do espaço.<sup>8</sup>

Cevidanes et al<sup>5</sup> publicaram em 2005 um estudo validando o método de construção, superposição e medição de distâncias entre superfícies em modelos 3D a partir de imagens da CBCT. Compararam o posicionamento dos côndilos e bordo posterior dos ramos em dez pacientes submetidos a cirurgias maxilares, ou seja, sem osteotomias mandibulares, entre exames de uma semana antes e uma semana depois da cirurgia. Além de encontrarem diferenças médias entre superfícies com uma precisão (0,70 a 0,78mm) muito próxima da resolução espacial das tomografias (0,6mm), observaram diferenças inter-observador desprezíveis (média = 0,02mm).

Em outro trabalho, Cevidanes et al<sup>8</sup> compararam as alterações em côndilos e ramos após cirurgia de avanço maxilar e recuo mandibular (11 pacientes Classe III) e cirurgia maxilar isolada (10 pacientes com variadas maloclusões) através da superposição de modelos 3D construídos a partir da CBCT. Os deslocamentos condilares foram pequenos em ambos os grupos (médias de 0,77 e 0,70mm, respectivamente), sem diferenças significativas. Já nos deslocamentos dos ramos, o primeiro grupo (cirurgia combinada) apresentou maior rotação posterior (1,98mm), com 8 indivíduos apresentando uma distância máxima entre superfícies

$\geq 2\text{mm}$ , enquanto o segundo grupo mostrou deslocamento significativamente menor ( $0,78\text{mm}$ ), com apenas um indivíduo mostrando distâncias  $\geq 2\text{mm}$ . Concluíram ainda que este método pôde identificar claramente a localização, magnitude e direcionamento dos deslocamentos estruturais mandibulares. Além disso, permitiu a quantificação dos movimentos vertical, transverso e ântero-posterior do ramo acompanhando a cirurgia mandibular, mas não a maxilar isolada.

Dados preliminares do acompanhamento da mesma amostra citada anteriormente mostram informações importantes. A média do deslocamento/remodelação nos côndilos mandibulares um ano após a cirurgia foi de  $1,07$  e  $0,77\text{mm}$  para o grupo da cirurgia combinada e da cirurgia maxilar isolada, respectivamente ( $p < 0.05$ ). Todos os pacientes do primeiro grupo mostraram remodelação e movimento com rotação anterior dos ramos (média =  $1,85\text{mm}$ ), enquanto no segundo grupo a média dos deslocamentos nos ramos foi de  $0,86\text{mm}$  ( $p < 0.01$ ). Os dados sugeriram que a posição maxilar se manteve bastante estável, e a cirurgia combinada resultou em maiores alterações da posição e remodelação nos côndilos e ramos do que a cirurgia isolada de maxila.

Em outro trabalho, Cevdanes et al<sup>9,68</sup> compararam um grupo tratado com avanço maxilar e recuo mandibular (16 pacientes Classe III) e outro tratado apenas com avanço maxilar (17 pacientes Classe III). Em ambos os grupos os ramos tenderam a um deslocamento pósterio-inferior com a cirurgia (T2 = uma semana após a cirurgia), mas ântero-superior após a remoção do *splint* cirúrgico (T3 = seis semanas após a cirurgia). No primeiro grupo, o bordo posterior do ramo mostrou deslocamentos  $>4\text{mm}$  em 44% e entre  $2-4\text{mm}$  em 22% dos pacientes após a cirurgia. Entre T2-T3, os ramos apresentaram deslocamento  $<2\text{mm}$  em 97% dos casos. Para o grupo da cirurgia isolada, não se observou deslocamento  $>4\text{mm}$  em T2. Os ramos tiveram movimentos  $<2\text{mm}$  em 76% e 85% dos casos entre T1-T2 e T2-T3, respectivamente (T1 = pré-cirúrgico). Os deslocamentos condilares no primeiro grupo foram no sentido posterior entre T1-T2 (72% dos pacientes) e superior entre T2/T3 (75%). Os resultados foram similares para o grupo da cirurgia de maxila, no sentido posterior (71% dos pacientes) entre T1-T2 e superior (74%) entre T2-T3. Os deslocamentos condilares foram  $<2\text{mm}$  em 91% dos casos entre T1-T2 e T2-T3 no grupo da maxila, e  $<2\text{mm}$  em 93% (T1-T2) e 100% (T2-T3) no grupo da cirurgia combinada. Concluíram que a cirurgia combinada resultou em maiores deslocamentos a curto prazo, enquanto os deslocamentos condilares foram pequenos em ambos os grupos.

Grauer et al<sup>10</sup> estudaram as alterações maxilares em pacientes Classe III submetidos à osteotomia Le Fort I utilizando a superposição de modelos tridimensionais das fases pré-



cirúrgica, uma semana pós-cirúrgica e um ano pós-cirúrgico. Dados preliminares mostraram que não houve diferença significativa entre os posicionamentos ântero-posterior e transversal da maxila, concluindo que este tipo de procedimento foi estável no primeiro ano de acompanhamento pós-cirúrgico.

Cevitanes et al<sup>69</sup> realizaram um estudo de localização da assimetria em dez pacientes com microsomia hemifacial, comparando os desvios de anatomia e posicionamento das superfícies dos côndilos, ramos e corpo mandibulares entre lado esquerdo e direito. Na imagem volumétrica, o modelo 3D construído a partir de uma CBCT, foi criado um plano mediano de forma que a imagem era espelhada para o lado oposto. Superpondo as imagens na base do crânio, foram então comparados o lado afetado com o lado não afetado, revelando variabilidade na localização da assimetria. Acredita-se que este método e alguns resultados preliminares poderão auxiliar na quantificação e localização da assimetria para um planejamento cirúrgico mais preciso, já que tais informações não são obtidas a partir de métodos 2D. Portanto, este avanço no diagnóstico pode vir a reduzir a necessidade de cirurgias exploratórias.

Lee et al<sup>11</sup> compararam o posicionamento e remodelação de ramos e côndilos após cirurgia para correção da Classe III em 19 pacientes, 11 tratados com avanço de maxila e recuo de mandíbula e 8 com avanço de maxila apenas. Através da superposição de modelos 3D, verificaram que a cirurgia combinada gerou maiores mudanças no posicionamento e remodelação das estruturas do que a cirurgia isolada. Além disto, notaram que o deslocamento posterior do ramo durante a cirurgia de recuo mandibular continuava presente um ano após o procedimento cirúrgico, enquanto no grupo da maxila isolada foi observado movimento anterior dos ramos.

Deslocamentos cirúrgicos e remodelações adaptativas ocorrem relativamente às estruturas adjacentes do complexo crânio-facial. Por esta razão, as medições de curvas e superfícies tridimensionais não são isoladas, mas determinadas pela maneira como diferentes estruturas se relacionam. As rotações mandibulares pós-cirúrgicas podem ser influenciadas pela morfologia e posicionamento maxilar, mandibular e da fossa articular, assim como o tipo de movimento cirúrgico maxilar.<sup>70</sup> Estudos sobre estabilidade têm mostrado que o deslocamento maxilar para cima ou para frente é mais estável que o movimento para baixo.<sup>12,27</sup> O deslocamento inferior da maxila em cirurgias combinadas certamente influencia a posição mandibular. A associação entre cirurgias maxilares e o tipo de rotação mandibular requerem estudos adicionais com acompanhamento a longo prazo.<sup>8</sup>

## 2 PROPOSIÇÃO

O propósito deste trabalho foi avaliar, a partir de imagens tridimensionais, as alterações esqueléticas resultantes da cirurgia isolada de avanço mandibular. Especificamente, avaliar por meio da superposição de modelos 3D os deslocamentos do mento, côndilos e ramos entre as seguintes fases:

1. Pré-cirúrgica (uma semana antes da cirurgia) e pós-cirúrgica imediata (uma semana após a cirurgia).
2. Pós-cirúrgica imediata (uma semana após a cirurgia) e após a remoção do *splint* cirúrgico (quatro a seis semanas após a cirurgia).
3. Pré-cirúrgica (uma semana antes da cirurgia) e após a remoção do *splint* cirúrgico (quatro a seis semanas após a cirurgia).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Seleção da amostra

O estudo incluiu 20 pacientes retrognatas tratados consecutivamente no Programa de Deformidades Dento-faciais da *University of North Carolina at Chapel Hill* (UNC). Foram selecionados 16 pacientes do gênero feminino e 4 do gênero masculino, com idade média de 27,08 anos (13,9 a 53,7 anos), submetidos a preparo ortodôntico seguido de avanço mandibular isolado através de osteotomia bilateral sagital do ramo, sendo que em sete deles foi realizada mentoplastia como procedimento auxiliar. Foram incluídos apenas indivíduos apresentando discrepância dento-esquelética severa o suficiente para indicar uma correção cirúrgica, além de serem excluídos casos com padrão de crescimento vertical, de forma que todos os pacientes apresentavam Classe II com padrão normal ou horizontal. Não foram incluídos pacientes apresentando fissuras lábio-palatais, problemas resultantes de trauma ou condições degenerativas, por exemplo, artrite reumatóide. Os pacientes haviam previamente consentido em realizar tomografias computadorizadas de feixe-cônico (CBCT), em diferentes fases do tratamento, de acordo com um protocolo experimental aprovado pelo Comitê de Ética da UNC.

#### 3.2 Realização do exame

Os exames foram realizados nos seguintes tempos: uma semana antes da cirurgia (T1), uma semana após a cirurgia (T2) e de quatro a seis semanas após a cirurgia (T3). O exame T2 foi realizado para se avaliar as alterações pelo procedimento cirúrgico, e o exame T3 para a avaliação das mudanças adaptativas a curto prazo. É importante ressaltar que o exame T3 foi realizado imediatamente após a remoção do *splint* cirúrgico. O protocolo radiológico envolveu, para 16 pacientes, um *scan* de 36 segundos da cabeça com um campo de visão de 230mm x 230mm, obtido em oclusão cêntrica com o tomógrafo NewTom 3G (Aperio Services LLC, Sarasota, FL, 34236). Uma reconstrução primária dos cortes tomográficos, com resolução de 0,3 x 0,3 x 0,3mm por *voxel*, foi realizada pelo técnico em Radiologia

imediatamente após a exposição, utilizando o *software* instalado com o NewTom. Os quatro pacientes restantes haviam sido irradiados com o NewTom 9000, equipamento precursor do atual, com um FOV de 9 polegadas, de forma que o mento destes pacientes havia sido cortado na imagem tomográfica. Mesmo assim, decidiu-se incluir estes indivíduos na amostra, aproveitando-se então os dados referentes a côndilos e ramos.

Como todo o volume 3D do complexo crânio-facial é capturado durante este tipo de exame, os cortes tomográficos podem ser obtidos com menor preocupação em relação à padronização do posicionamento da cabeça, diferentemente dos procedimentos 2D, que requerem alta padronização das projeções radiográficas.

### 3.3 Compressão dos arquivos

Os arquivos de imagem das 60 tomografias foram exportados através do *software* do tomógrafo em formato DICOM (*Digital Imaging and Communication in Medicine*), o formato universal para imagens de diagnóstico tomográfico médico-odontológico. Utilizando-se o *software* Insel (desenvolvido em 2003 pelo Departamento de Neurocirurgia da UNC), os arquivos foram convertidos para o formato GIPL, que é reconhecido pelas ferramentas de acesso gratuito desenvolvidas pelo grupo de análises de imagens da UNC. Através do *software* Imagine (desenvolvido em 2004 pelo Departamento de Ciências da Computação da UNC), cada arquivo foi reformatado para *voxels* de 0.5 x 0.5 x 0.5mm, reduzindo-se a memória dos arquivos pela metade, exigindo assim menor capacidade computacional e menor tempo de trabalho durante as fases do experimento.

### 3.4 Segmentação das estruturas

O processo de segmentação representa a reconstrução volumétrica das estruturas anatômicas visíveis nos cortes tomográficos. Para este fim, foi utilizado o *software* InsightSNAP (desenvolvido em 2004 pelo Departamento de Ciências da Computação da UNC), que possibilita, entre outras funções, a navegação através dos cortes tomográficos nos planos axial, sagital e coronal. A partir de mais de 300 cortes em cada plano, para cada

tomografia foi construído um modelo tridimensional constituído pela base do crânio, maxila e mandíbula (Figura 5). A visualização 3D do objeto permite a navegação através dos *voxels* da imagem volumétrica, de forma que este pode ser ampliado, girado e movimentado pelo observador.

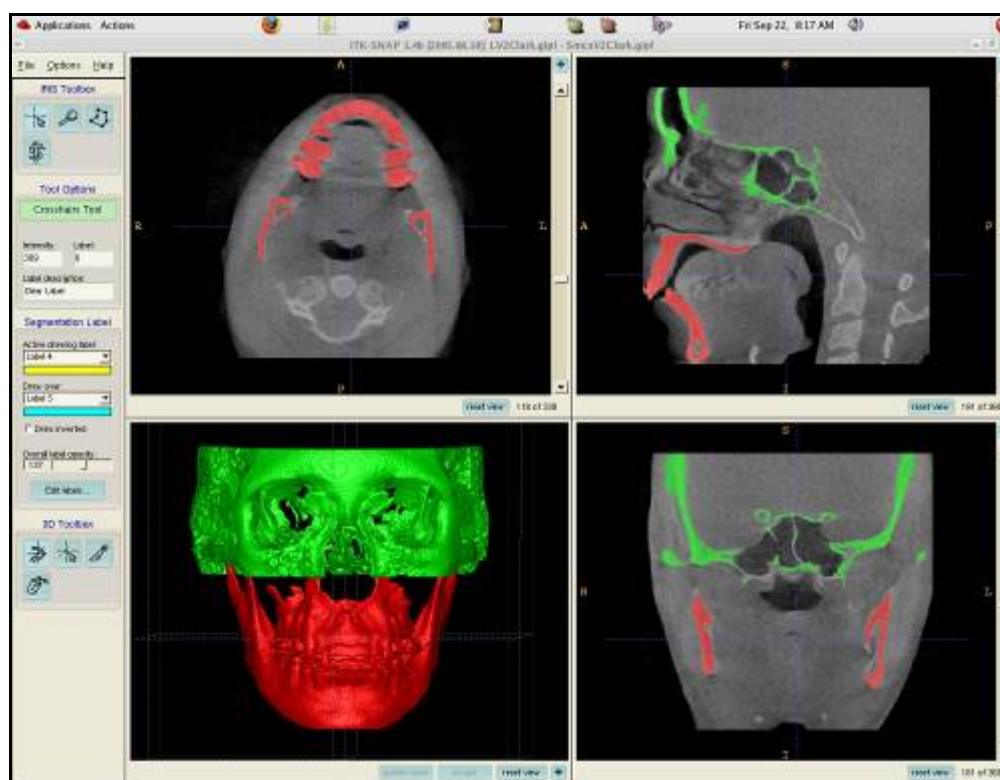


Figura 5 – Segmentação do modelo tridimensional, incluindo base do crânio (verde) e complexo maxilo-mandibular (vermelho). As áreas segmentadas são visualizadas tanto nos cortes tomográficos quanto no modelo tridimensional.

Inicialmente, foi realizada a segmentação da base do crânio, incluindo, no sentido vertical, do seu limite anatômico inferior (Basion) até o limite superior da imagem tomográfica. Nos sentidos transversal e ântero-posterior, selecionou-se todo o contorno esquelético disponível. Utilizou-se a cor verde como convenção para a base do crânio, enquanto as demais estruturas foram segmentadas em vermelho. As diferentes cores têm como função diferenciar as estruturas para os procedimentos de superposição e quantificação dos deslocamentos cirúrgicos.

A segmentação do complexo maxilo-mandibular foi realizada de uma só vez, já que não seria necessário diferenciar maxila e mandíbula em casos de avanço isolado de

mandíbula. Cuidados foram tomados para que estruturas como o mento e o bordo posterior dos ramos, que seriam futuramente recortados para análise, recebessem um sólido preenchimento interno, de forma que não houvesse espaços internos que pudessem influenciar o método de comparação de superfícies.

Os côndilos foram segmentados separadamente, já que necessitaram de um procedimento específico, com passos manuais para que se garantisse a geração de imagens mais precisas. A fraca delimitação da cortical óssea condilar na imagem tomográfica faz com que, durante a segmentação, o preenchimento dos *voxels* em vermelho “vaze” para o espaço articular. Portanto, buscando-se um melhor contraste na imagem e alterando-se parâmetros computacionais, a edição manual e individual dos côndilos gerou estruturas mais fidedignas do que o processo automático. Antes da segmentação dos mesmos, parte das cavidades glenóides que haviam sido reconstruídas em verde como parte da base do crânio foram apagadas, estabelecendo-se uma total conformação da superfície condilar.

Ao fim deste processo, haviam sido segmentados modelos 3D de 60 bases de crânio, 60 complexos maxilo-mandibulares e 120 côndilos.

### 3.5 Registro e combinação das estruturas

Com o objetivo de avaliar alterações no mesmo indivíduo, modelos de diferentes fases foram superpostos utilizando-se o *software* Imagine, que utiliza um método totalmente automático de registro por *voxel*, dispensando assim a necessidade de se localizar pontos que seriam influenciados pelo operador e pela superposição de estruturas. Como a base do crânio não foi alterada pela cirurgia, suas superfícies foram utilizadas neste procedimento, onde o *software* compara, entre duas imagens tomográficas, a intensidade da escala de cinza de cada *voxel* da região que havia sido anteriormente segmentada em verde. Desta forma, a base do crânio pré-cirúrgica (T1) foi utilizada como referência para a superposição com T2 e T3, separadamente (Figura 6).

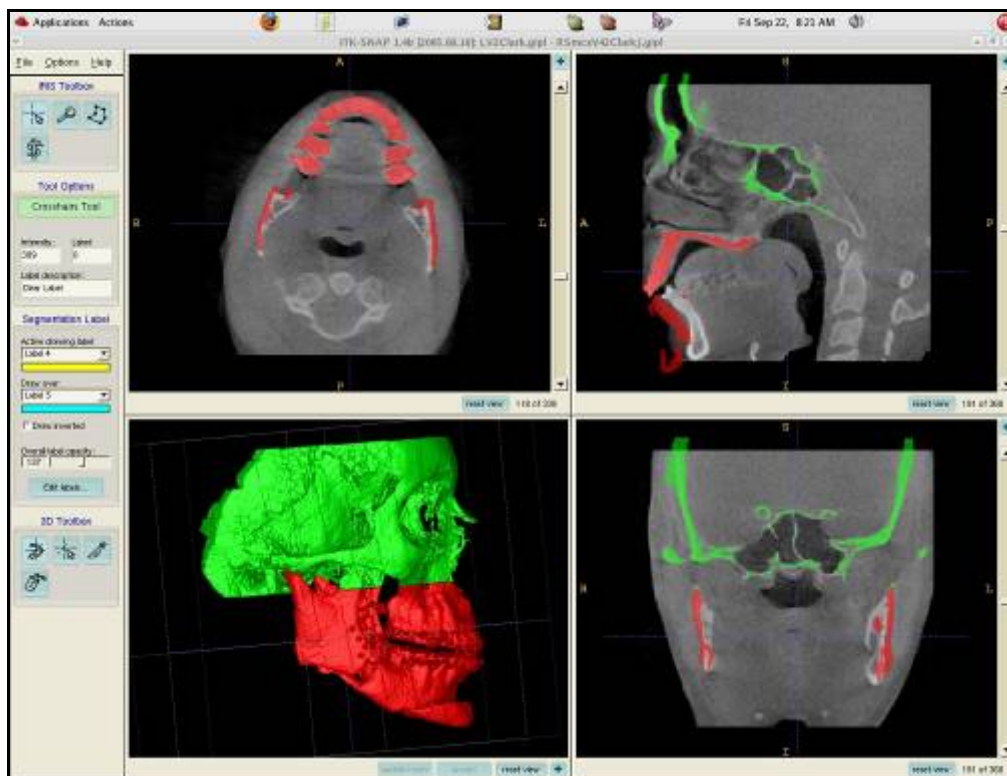


Figura 6 – Exibição do modelo pós-cirúrgico (colorido) sobre a imagem tomográfica pré-cirúrgica (escala de cinza) no *software* InsightSNAP, com as bases do crânio coincidentes e as estruturas mandibulares deslocadas. Comprova-se uma correta superposição, que havia sido realizada entre os modelos 3D das duas fases através do *software* Imagine.

Em um passo seguinte, conhecido como combinação, os modelos das três fases do mesmo paciente puderam então ser superpostos ao mesmo tempo. Este procedimento teve como objetivo controlar o corte e seleção das regiões anatômicas de interesse para análise no estudo (Figura 7). Com o objetivo de reduzir o espaço em disco das imagens, a partir deste momento descartou-se a exibição 3D da base do crânio, visualizando-se apenas maxila e mandíbula.

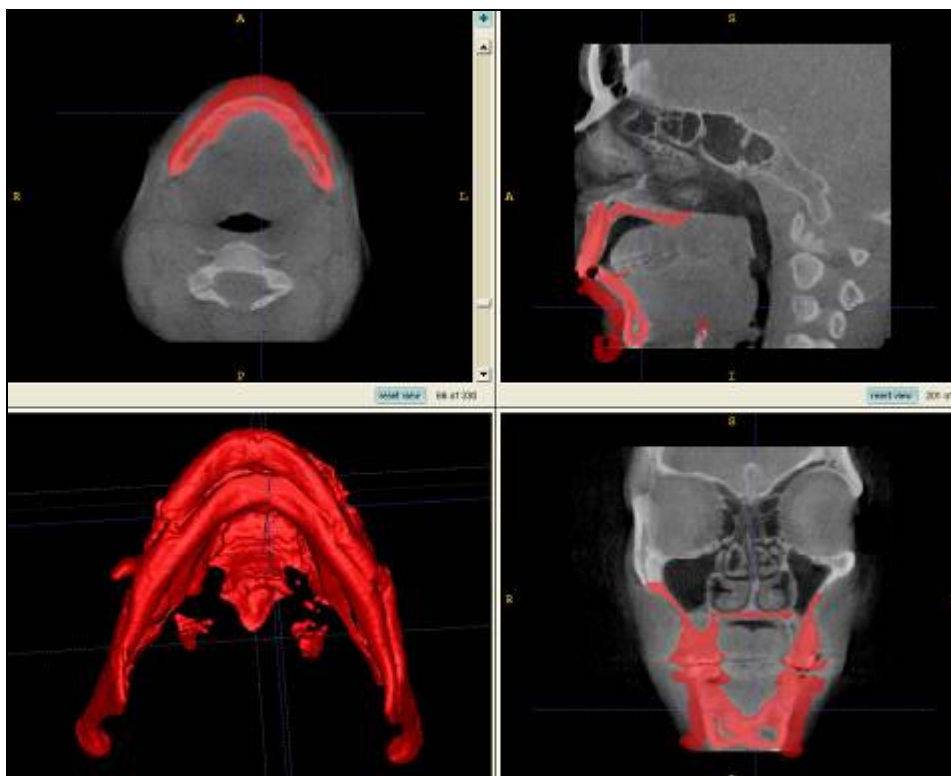


Figura 7 – Modelos de T1, T2 e T3 combinados. Observa-se nos cortes tomográficos e na exibição 3D o avanço mandibular do modelo T1 para T2 e T3.

### 3.6 Seleção das regiões de interesse

Com os modelos combinados, utilizando-se o InsightSNAP, as regiões anatômicas de interesse das três fases puderam ser simultaneamente selecionadas, em diferentes cores das demais estruturas (Figura 8). Referências anatômicas foram utilizadas para determinar as regiões de corte: (1) o longo eixo dos caninos inferiores da fase pós-cirúrgica serviu de referência para a seleção do mento; (2) uma tangente passando pelo contorno anterior dos côndilos e paralela ao bordo posterior do ramo serviu de base para o corte dos ramos; e (3) uma linha descendente cortando o pescoço do côndilo a partir da interface com o corte do ramo foi a referência utilizada para a seleção dos côndilos. Como os cortes foram realizados simultaneamente nos modelos 3D combinados, a precisão da seleção das estruturas não estaria comprometida. Os *voxels* no mento foram então coloridos de azul, nos ramos de verde, e nos côndilos de amarelo.

As regiões anatômicas foram posteriormente separadas como objetos 3D independentes, através do *software* Imagine, ainda que mantendo seu posicionamento espacial



dentro da tomografia da qual foram originados (Figura 9). Ou seja, cada região, de cada fase, de cada indivíduo foi preparada para comparações em pares, permitindo assim a avaliação da quantidade e direção dos deslocamentos acompanhando a cirurgia de avanço mandibular.

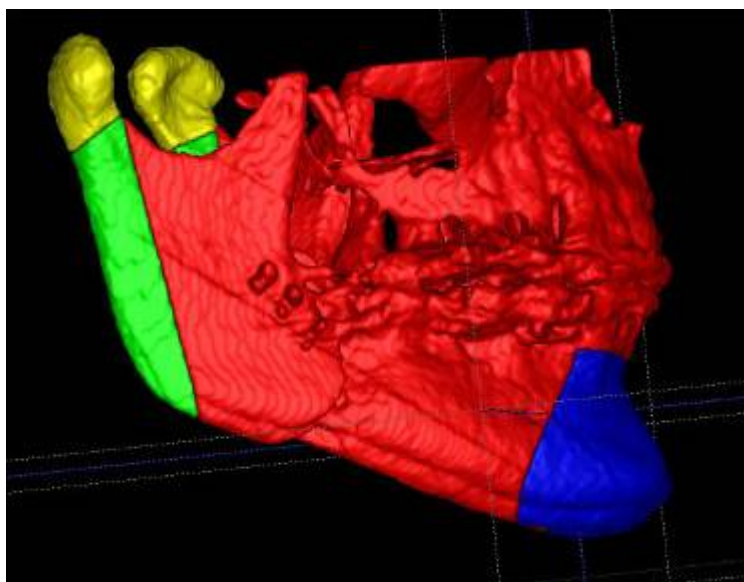


Figura 8 – Seleção das regiões anatômicas de interesse no modelo combinado, a partir de referências anatômicas, para futura análise específica dos deslocamentos cirúrgicos.

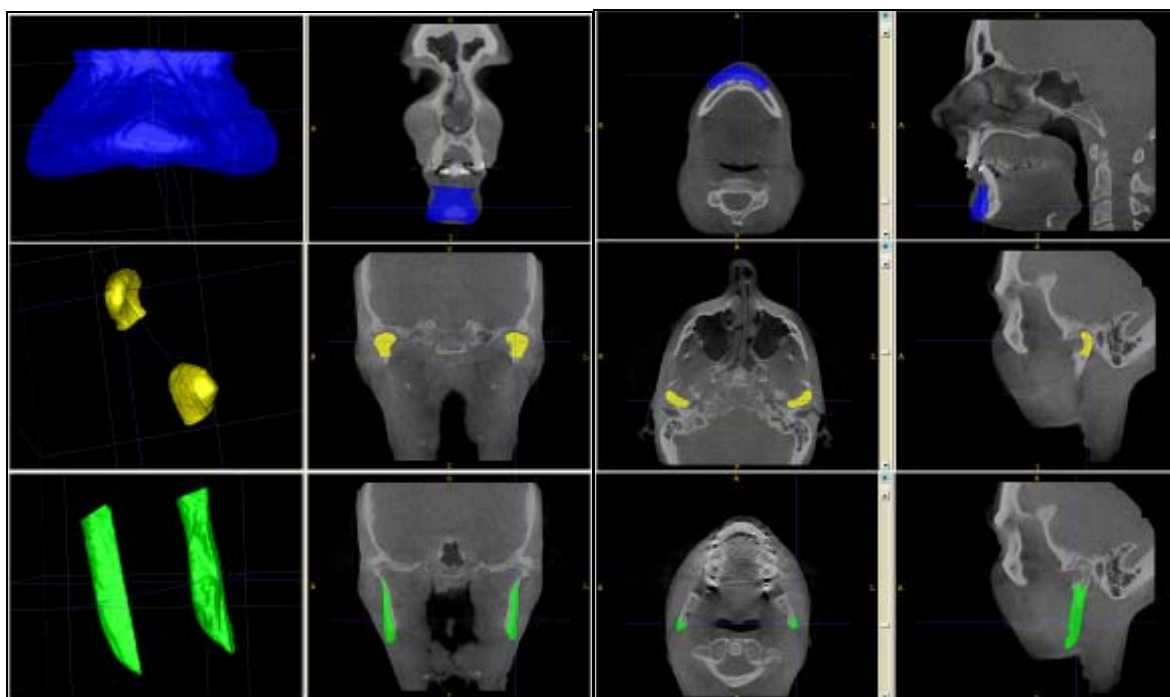


Figura 9 – Da esquerda para direita, a visualização dos modelos 3D, cortes coronal, axial e sagital após a separação das regiões anatômicas de interesse.

Com todas as estruturas devidamente segmentadas, registradas, combinadas e separadas por fase, uma nova formatação de arquivos seria necessária para a visualização e quantificação das alterações cirúrgicas. A partir do *software* Vol2Surf, os arquivos em GIPL, tanto de todo o complexo maxilo-mandibular quanto das regiões anatômicas separadas, foram convertidos para formatos .IV e .META, de forma que todos os volumes foram transformados em superfícies. O primeiro formato permitiu o uso dos arquivos nos *softwares* CMF e MeshValmet, enquanto o segundo permitiu sua utilização no FltkSOV3Dtool.

Antes da comparação propriamente dita das estruturas, um último procedimento de edição dos objetos 3D foi necessário, utilizando-se o *software* CMF (*Craniomaxillofacial Application* - Jonas Chapuis, M. E. Muller Research Center for Orthopaedic Surgery, University of Bern, Switzerland). Apesar de primariamente desenvolvido para planejamentos de osteotomias cirúrgicas, neste trabalho foi utilizada apenas uma de suas funções, a de recorte e separação de superfícies de imagens 3D. Precisava-se eliminar as superfícies onde foram realizados os cortes nos côndilos, ramos e mento, já que estas haviam sido criadas durante o experimento, mas não representariam uma superfície real durante as superposições anatômicas, o que poderia gerar desvios nos valores e na exibição das imagens. Portanto, foram eliminadas a base do pescoço do côndilo, a superfície anterior dos ramos e a superfície posterior do mento (Figura 10). Durante este processo, aproveitou-se para separar as estruturas bilaterais (ramos e côndilos) em lado direito e esquerdo. Tal procedimento permitiria, por exemplo, a comparação isolada do posicionamento do côndilo direito de um mesmo indivíduo de T1 para T2.

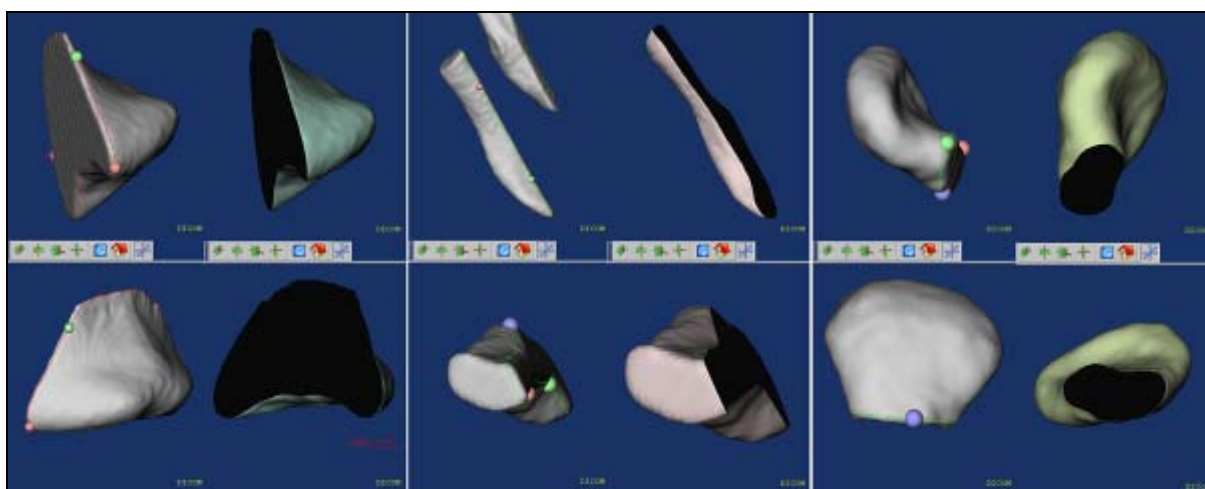


Figura 10 – Eliminação das superfícies de corte do mento, ramos e côndilos com o *software* CMF. Uma ferramenta em “laço” com três pontos de apoio permite a seleção e eliminação de uma superfície.

### 3.7 Distâncias entre superfícies

Cada região selecionada foi analisada separadamente através do *software* MeshValmet (desenvolvido pelo Departamento de Ciências da Computação da UNC), que mede automaticamente as distâncias entre as superfícies de uma estrutura entre dois tempos e no mesmo indivíduo, permitindo a quantificação dos deslocamentos de ramos, côndilos e mento resultantes da cirurgia mandibular (Figura 11).

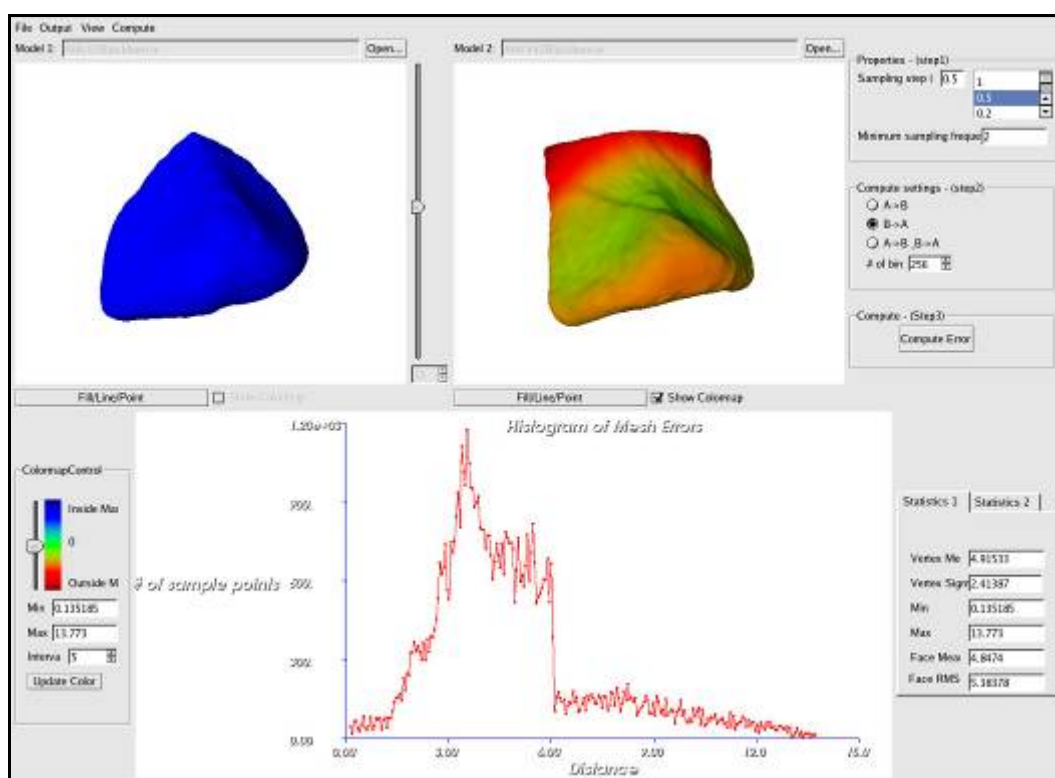


Figura 11 – Exemplo da tela do programa MeshValmet durante a medição do deslocamento do mento de um paciente, entre T1 e T2, mostrando as distâncias entre as superfícies (valores do histograma) e a direção do deslocamento (imagem à direita). É importante destacar que, no modelo 3D superposto (à direita), observa-se como referência a anatomia ou contorno externo de T2, onde o mapa colorido mostra as diferenças de T1 para este.

Especificamente, o programa computa as distâncias em milímetros entre milhares de pontos, que formam triângulos e compõem a superfície dos objetos 3D (Figura 12), gerando um histograma com a distribuição dos valores, além de valores mínimo, máximo, média, mediana, e percentis 68 e 95. A superfície de um côndilo, por exemplo, apresentava em torno

de 35.000 pontos, um bordo posterior do ramo 20.000 e um mento mais de 100.000 pontos. Desta forma, o histograma exibe o número de pontos apresentando cada distância em milímetros, a soma do número de pontos, a porcentagem do total de pontos e o valor da distância propriamente dito (Figura 13).

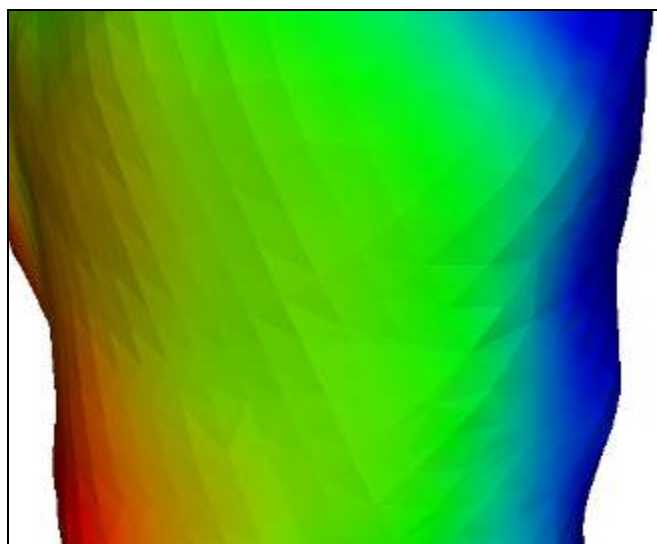


Figura 12 – Visualização dos triângulos da superfície 3D de um côndilo no *software* MeshValmet.

357	17274	19.26%	0.233
229	17503	19.51%	0.300
256	17759	19.80%	0.367
323	18082	20.16%	0.434
247	18329	20.43%	0.502
155	18484	20.61%	0.569
184	18668	20.81%	0.636
221	18889	21.06%	0.703
284	19173	21.37%	0.770
286	19459	21.69%	0.837
233	19692	21.95%	0.904
170	19862	22.14%	0.971
283	20145	22.46%	1.038
244	20389	22.73%	1.105
328	20717	23.09%	1.172
262	20979	23.39%	1.239
369	21348	23.80%	1.306
317	21665	24.15%	1.374
307	21972	24.49%	1.441
575	22547	25.13%	1.508
477	23024	25.67%	1.575
740	23764	26.49%	1.642

Figura 13 – Exemplo do segmento de uma listagem do histograma das distâncias entre duas superfícies sendo comparadas no *software* MeshValmet. Colunas da esquerda para direita: número de pontos apresentando cada distância, soma de pontos acumulados, porcentagem dos pontos acumulados e distância em milímetros propriamente dita.

Para a obtenção dos dados foram realizadas comparações entre T1 e T2, T2 e T3, e T1 e T3 para cinco variáveis: mento (16 casos), ramo esquerdo, ramo direito, côndilo esquerdo e côndilo direito (20 casos). Desta forma, foram computadas 288 distâncias entre superfícies, e seus respectivos histogramas, utilizando-se o MeshValmet. Em cada comparação realizada no MeshValmet obtinha-se valores das distâncias entre as duas superfícies sendo comparadas e seu respectivo mapa colorido da superfície, permitindo uma interpretação visual da direção do deslocamento nos sentidos superior, inferior, lateral, medial, anterior e posterior.

### 3.8 Visualização dos modelos superpostos

A exibição gráfica das estruturas superpostas segue uma escala de cores, também conhecida como mapas coloridos, de acordo com a magnitude do deslocamento daquela região. Optou-se pelo tipo de comparação (B→A) que exibisse como referência a anatomia ou contorno externo do segundo tempo sendo analisado (T2 ou T3), com as cores mostrando as diferenças do primeiro tempo (T1 ou T2) para este. As superfícies exibidas em vermelho mostram um deslocamento “para fora” e assumem valores positivos no histograma das distâncias entre as superfícies; superfícies em azul indicam um deslocamento “para dentro”, com valores negativos; e superfícies em verde indicam ausência de deslocamento de determinada região. A Figura 11, por exemplo, exhibe o deslocamento anterior e inferior do mento entre T1 e T2, com superfícies em vermelho na face anterior. Nota-se que a tonalidade da cor está associada à magnitude do deslocamento. Neste caso, por exemplo, parece ter havido maior alteração na área do processo alveolar do que no Pogônio. Ao visualizar-se a mesma estrutura por lingual, foram verificadas superfícies em azul, deslocadas “para dentro”, confirmando a direção verificada na superfície anterior.

Pode-se observar na Figura 14 o deslocamento de um côndilo direito entre T1 e T2 com o método dos mapas coloridos. Em vermelho, observa-se o deslocamento superior, posterior e medial, confirmado pela exibição em azul nas superfícies anterior e lateral, opostas ao movimento. A superfície inferior, região de corte da estrutura, havia sido eliminada anteriormente com o programa CMF para evitar influência na metodologia.

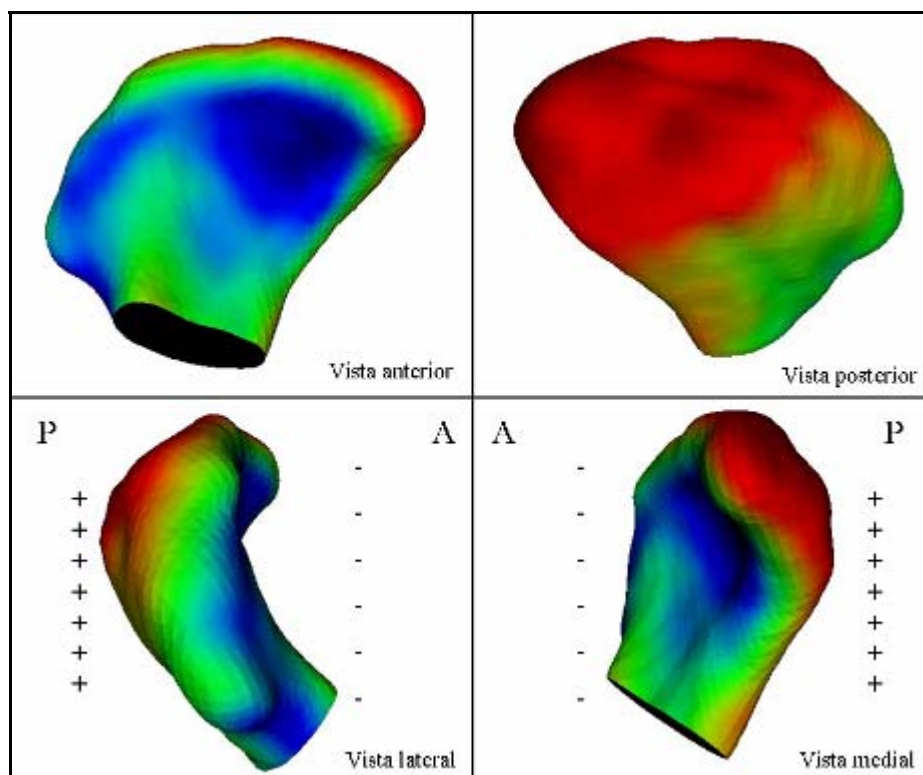


Figura 14 – Exemplo da visualização do deslocamento de um côndilo direito, entre T1 e T2, através do método dos mapas coloridos. As superfícies em vermelho indicam para onde ocorreu o deslocamento, de forma que as superfícies opostas se encontram em azul. A. anterior; P. posterior.

A utilização de outra ferramenta (FltkSOV3Dtool) permitiu uma diferente visualização das alterações cirúrgicas, desta vez sob a forma de semi-transparências, avaliando-se também os deslocamentos dos ramos, côndilos e mento através da superposição de modelos de duas diferentes fases. Este tipo de visibilidade identifica claramente a localização, magnitude e direção dos deslocamentos mandibulares (Figura 15).

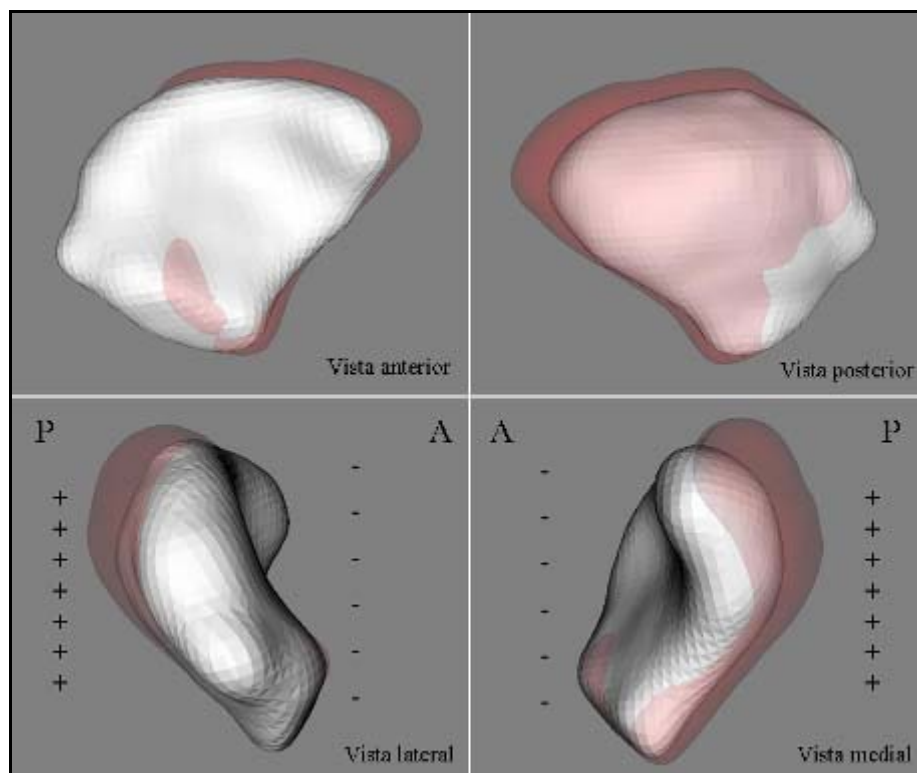


Figura 15 – Visualização dos deslocamentos do mesmo côndilo descrito na Figura 14 através de semi-transparências no *software* FltkSOV3Dtool. T1 em branco; T2 em vermelho.

Portanto, para cada um dos 288 cálculos de diferenças entre superfícies automaticamente obtidos no MeshValmet, uma avaliação visual das direções de deslocamento era realizada através dos mapas coloridos no mesmo programa e simultaneamente confirmada com a análise da mesma superposição sob a forma de semi-transparências no FltkSOV3Dtool. Para melhor entendimento das alterações cirúrgicas, utilizou-se tanto a superposição de todo o complexo maxilo-mandibular (Figura 16) quanto as superposições isoladas de cada região específica, e estas podiam ser giradas, ampliadas e observadas sob diferentes ângulos.



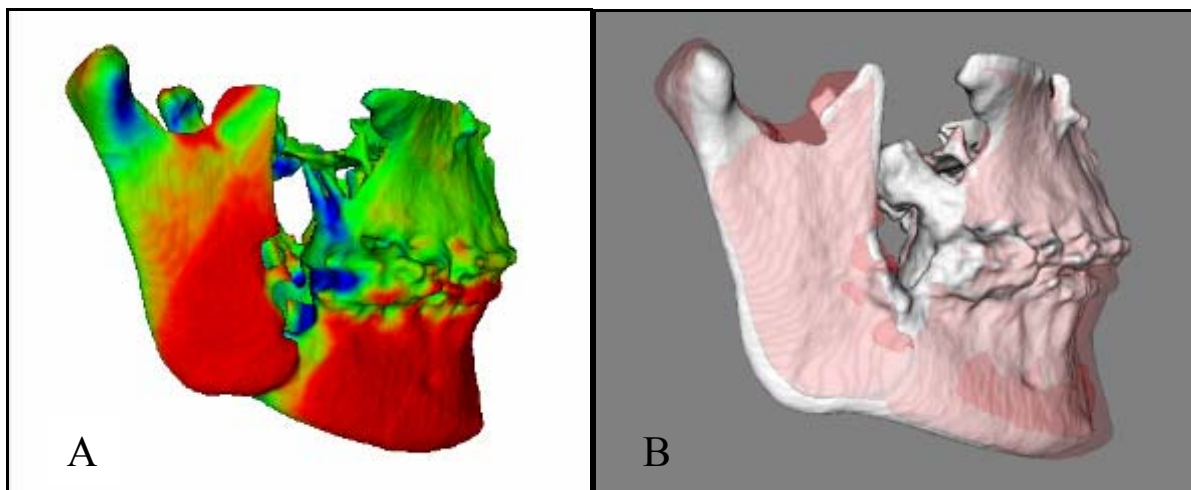


Figura 16 – Visualização de maxila e mandíbula em uma superposição entre T1 e T2 com o método dos mapas coloridos (A) e com o método das semi-transparências (B). Uma observação mais ampla das alterações cirúrgicas facilitou a aferição dos deslocamentos locais em côndilos, ramos e mento. A. Avanço do mento e corpo mandibular exibido em vermelho (movimento “para fora”), além de torque do ramo direito (movimento lateral do ramo em vermelho e medial do pescoço condilar em azul). B. Superposição entre os modelos pré-cirúrgico (branco sólido) e de uma semana após a cirurgia (vermelho transparente) exibindo os deslocamentos do mento, corpo mandibular, ramo e côndilo em uma vista lateral.

Os arquivos em formato .IV exibindo maxila e mandíbula foram processados no *MeshValmet* e orientados para um *screenshot* do lado direito, gerando figuras de mapas coloridos que foram montadas em grupos por fases. Da mesma forma, os arquivos em formato .META do complexo maxilo-mandibular foram superpostos em semi-transparências no *FltkSOV3Dtool* e também copiados para a montagem dos grupos de imagens com todas as comparações realizadas (Apêndices A e B, páginas 81 e 85, respectivamente).

A metodologia descrita (Figura 17) foi desenvolvida a partir de uma colaboração entre os Departamentos de Ortodontia (Prof.<sup>a</sup> Lúcia Cevidanes) e Ciências da Computação (Prof. Martin Styner e Prof. Guido Guerig) da UNC, adaptando-se para Odontologia análises de imagens desenvolvidas originalmente para estudos em Neurologia e Neurocirurgia. Um estudo de validação da aplicação deste método em casos orto-cirúrgicos foi publicado por Cevidanes et al.<sup>5</sup>



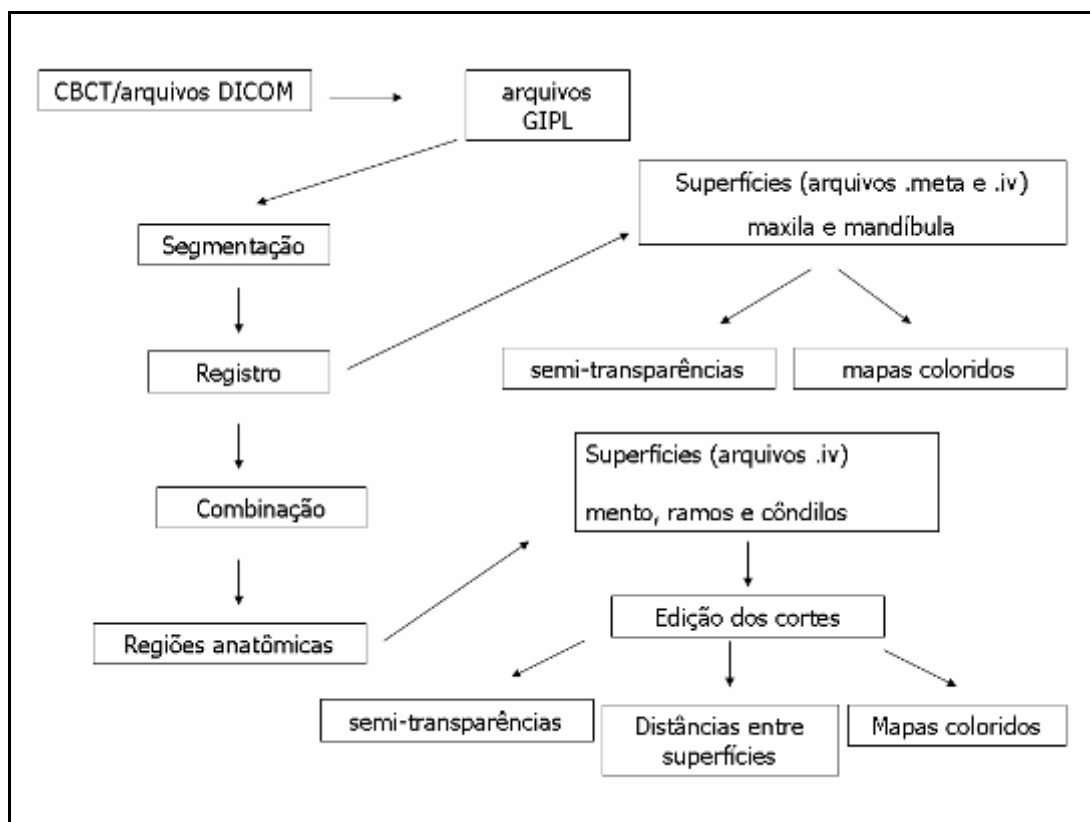


Figura 17 – Organograma simplificado das etapas da metodologia utilizada no experimento.

Os histogramas gerados no *MeshValmet* exibiam uma grande relação de valores, já que milhares de pontos em cada superfície estavam sendo comparados, inclusive valores positivos e negativos, que significam a representação de um mesmo deslocamento em superfícies opostas. Se um côndilo é deslocado para trás, por exemplo, os pontos da superfície posterior geram diferenças positivas e a superfície é exibida em vermelho, indicando um movimento “para fora”. Ao mesmo tempo, os pontos da superfície anterior do côndilo geram valores negativos no histograma e uma superfície anterior em azul no mapa colorido, indicando deslocamento “para dentro”. Entretanto, os dois diferentes achados numéricos e visuais representam o mesmo deslocamento de determinada estrutura tridimensional. Assim, decidiu-se por utilizar a seguinte convenção para a seleção de valores no histograma: (1) utilizou-se um único valor, sem sinal positivo ou negativo, que representasse em termos absolutos a quantidade de deslocamento daquela estrutura; (2) para se descartar valores extremos, mas ainda assim utilizar dados representativos, optou-se pelo valor de 5% ou 95% no histograma, com o objetivo de selecionar o maior deslocamento daquela estrutura; (3) dependendo da direção do principal deslocamento, avaliada visualmente, selecionou-se o valor de 95%

quando se observou uma maior tendência de deslocamento posterior, superior e/ou lateral, enquanto selecionou-se o valor de 5% diante de deslocamentos primordialmente anteriores, inferiores e/ou mediais. Desta forma, a interpretação e seleção dos valores no histograma foi possibilitada ao se coordenar as análises quantitativa e visual.

Foi realizada uma estatística descritiva, expressa em gráficos de direção de deslocamento e de quantidade de deslocamento para cada estrutura avaliada. Os primeiros exibem, em número de pacientes, para cada região anatômica de interesse, os movimentos nos sentidos anterior, posterior, inferior, superior, lateral e medial entre T1-T2, T2-T3 e T1-T3, além de situações sem deslocamento (s/d). Os segundos foram baseados em categorizações da quantidade de deslocamento da estrutura (intervalos em milímetros), entre os mesmos tempos de avaliação, expressas em número de pacientes. Os valores foram diferentemente categorizados para o mento, ramos e côndilos, de acordo com as magnitudes de movimentação de cada região. Os resultados entre T1-T2 mostram os deslocamentos ocorridos com o procedimento cirúrgico; entre T2-T3 exibem os fenômenos ocorridos após a remoção do *splint* cirúrgico; e entre T1-T3 mostram os efeitos totais da cirurgia de avanço mandibular em uma observação a curto prazo.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Mento

Os pacientes apresentaram um deslocamento ântero-inferior do mento com a cirurgia (Gráfico 1), com uma magnitude maior que 4mm em 87,5% dos casos (14 pacientes entre T1-T2). É importante destacar que um aumento vertical era um dos objetivos de tratamento nos casos de retrognatismo com padrão horizontal, ou seja, com o terço inferior da face reduzido. Entre T2-T3, 25% (4 pacientes) apresentaram movimento do mento com algum componente posterior (<3mm) e 69% (11 pacientes) mostraram movimento ântero-superior. Alterações verticais com rotação anti-horária e deslocamento adicional para frente foram provavelmente relacionados à remoção do *splint* (espessura do acrílico). Analisando-se as alterações entre T1-T3, observa-se o avanço do mento em todos os casos, e em apenas 12,5% (2 pacientes) não houve também deslocamento no sentido inferior. Em mais de 80% (13 pacientes) o deslocamento superou 4mm (Gráfico 2).

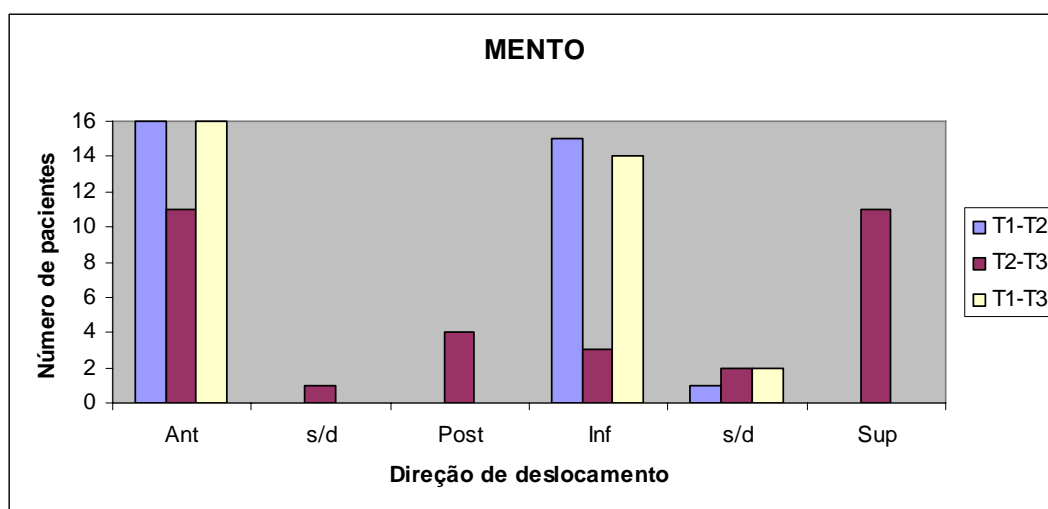


Gráfico 1 – Direções de deslocamento do mento entre T1-T2, T2-T3 e T1-T3, expressa em número de pacientes (n = 16; s/d: sem deslocamento).

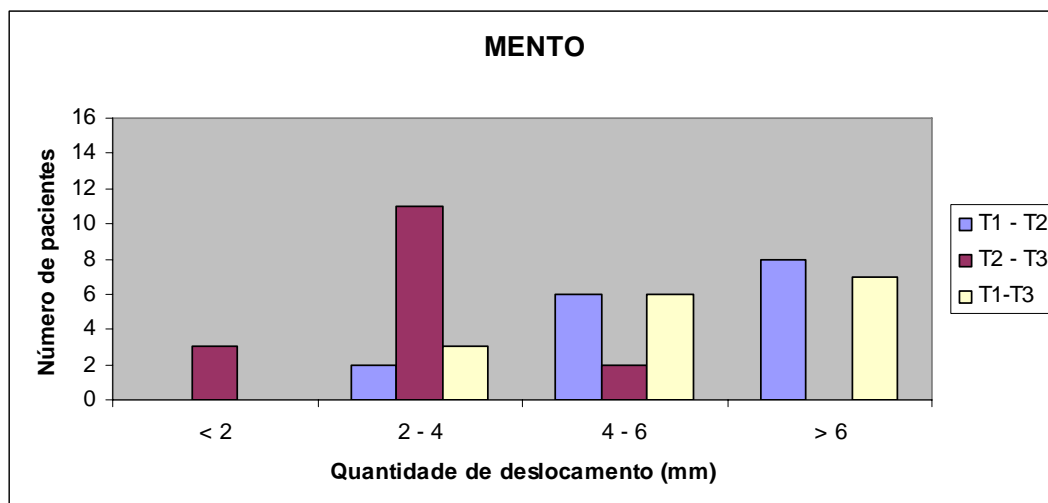


Gráfico 2 – Categoriação da quantidade de deslocamento do mento entre T1-T2, T2-T3 e T1-T3, expressa em número de pacientes (n = 16).

## 4.2 Côndilos

Os côndilos apresentaram tendência mais marcante ao deslocamento látero-posterior com a cirurgia (T1-T2), com maior equilíbrio na distribuição vertical, contraposto a um deslocamento médio-anterior na maioria dos casos entre T2-T3, com uma leve tendência ao movimento superior (Gráficos 3 e 4). A quantidade de deslocamento entre T1-T3 foi comparável às mudanças com a cirurgia, sugerindo uma resposta adaptativa importante. Considerando-se todas as direções de deslocamento, as distâncias entre as superfícies foram pequenas: 77,5% dos côndilos tiveram movimento menor que 2mm com a cirurgia (T1-T2), enquanto 90% se moveram menos que 2mm no curto prazo, entre T2-T3 (Gráficos 5 e 6). Uma observação entre T1-T3 mostrou uma resultante de deslocamento médio-postero-superior, onde 90% dos côndilos apresentaram deslocamento menor que 2mm, e apenas 5% foram deslocados mais de 3mm.

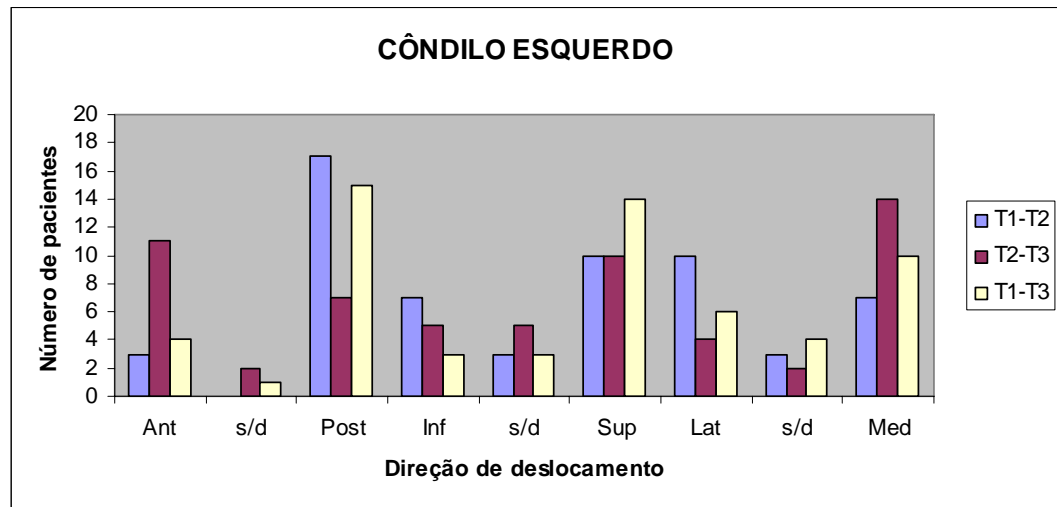


Gráfico 3 – Direções de deslocamento do côndilo esquerdo entre T1-T2, T2-T3 e T1-T3, expressa em número de pacientes (n = 20; s/d: sem deslocamento).

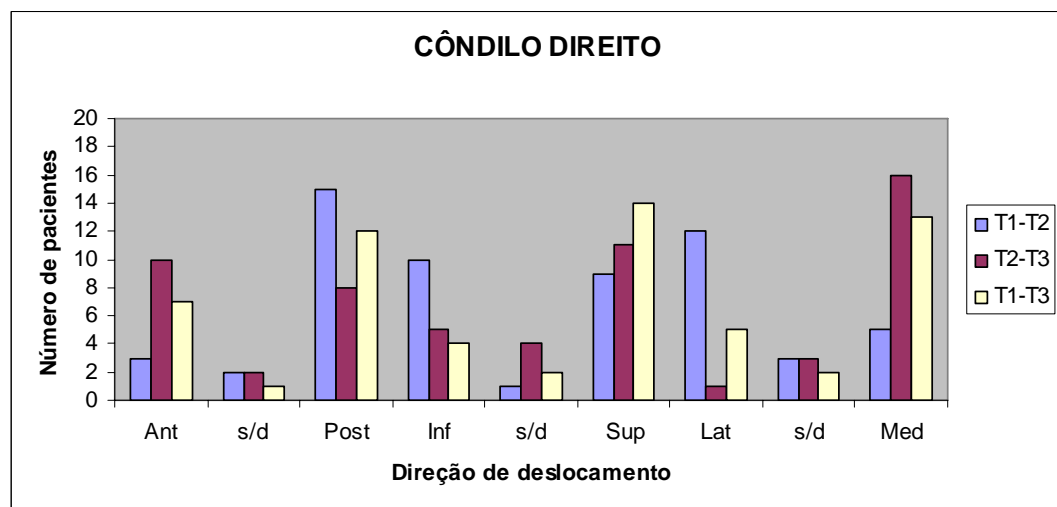


Gráfico 4 – Direções de deslocamento do côndilo direito entre T1-T2, T2-T3 e T1-T3, expressa em número de pacientes (n = 20; s/d: sem deslocamento).

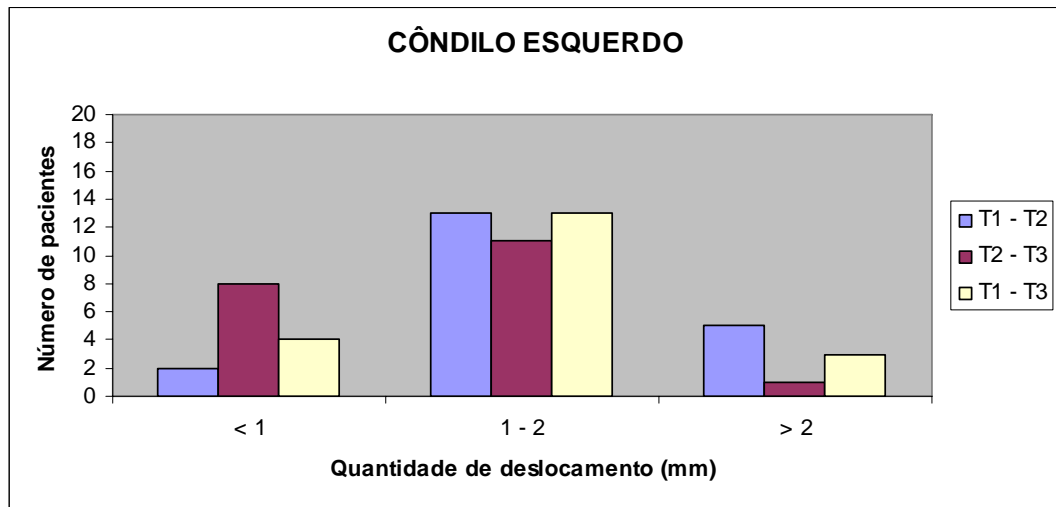


Gráfico 5 – Categorização da quantidade de deslocamento do côndilo esquerdo entre T1-T2, T2-T3 e T1-T3, expressa em número de pacientes (n = 20).

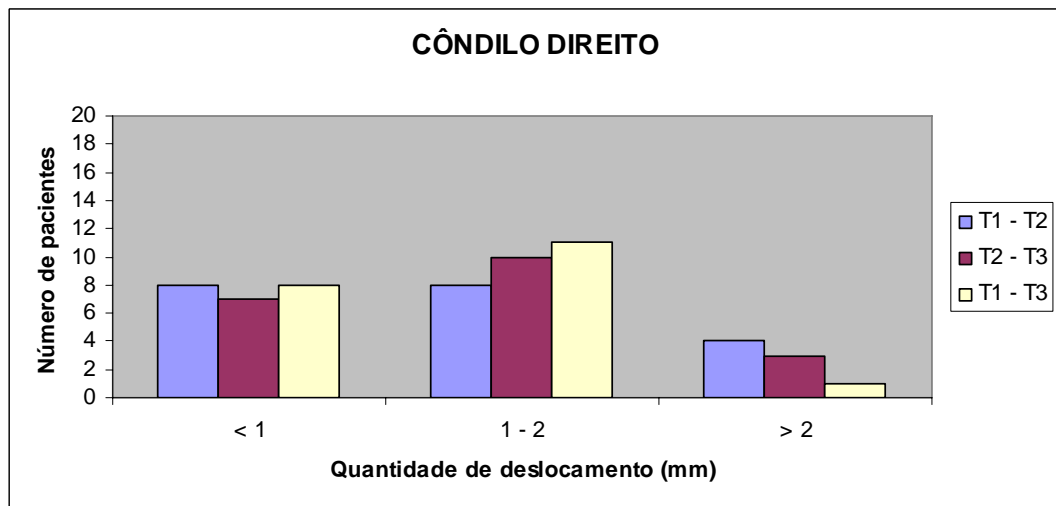


Gráfico 6 – Categorização da quantidade de deslocamento do côndilo direito entre T1-T2, T2-T3 e T1-T3, expressa em número de pacientes (n = 20).

### 4.3 Ramos

Os ramos exibiram uma tendência a movimentos “para fora” com a cirurgia (ífero-latero-posterior), com maior destaque para o desvio lateral, e “para dentro” (súpero-medio-anterior) após a remoção do *splint* cirúrgico (T2-T3), também sugerindo uma resposta adaptativa importante, ainda que mais concentrada abaixo de 2mm (Gráficos 7 e 8). Os resultados sugerem que os ramos foram empurrados para trás durante a cirurgia, seguidos por uma adaptação muscular na direção das posições iniciais. Foram observadas mudanças inferiores a 3mm com a cirurgia em 72,5% dos casos, e inferiores a 2mm em 87,5% dos casos após 6 semanas (Gráficos 9 e 10). A resultante dos movimentos cirúrgicos e adaptativos mostra uma tendência súpero-latero-anterior (T1-T3), com deslocamento inferior a 2mm em 82% dos ramos. Foram observados alguns deslocamentos clinicamente importantes resultantes do procedimento cirúrgico em casos específicos. Quatro casos apresentaram deslocamentos dos ramos acima de 4mm.

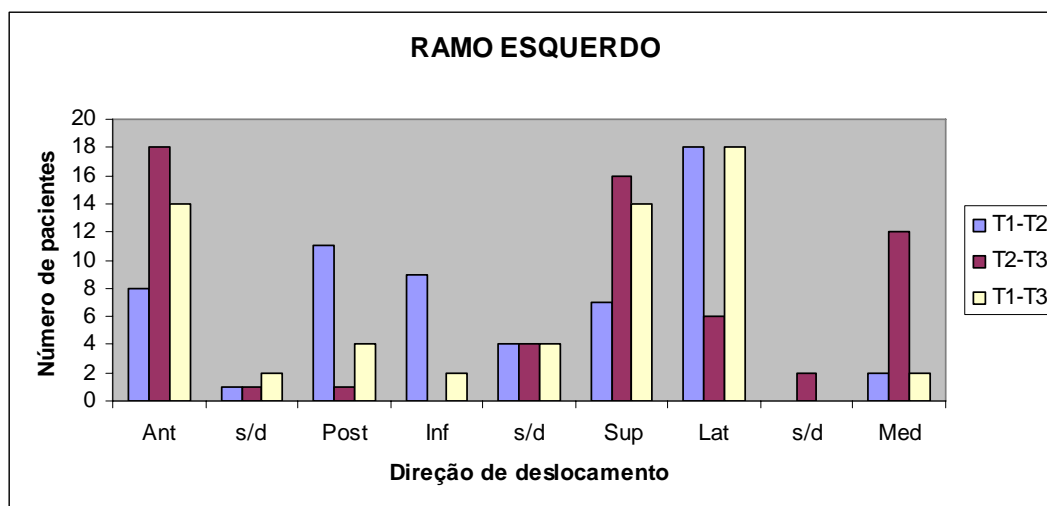


Gráfico 7 – Direções de deslocamento do ramo esquerdo entre T1-T2, T2-T3 e T1-T3, expressa em número de pacientes (n = 20; s/d: sem deslocamento).

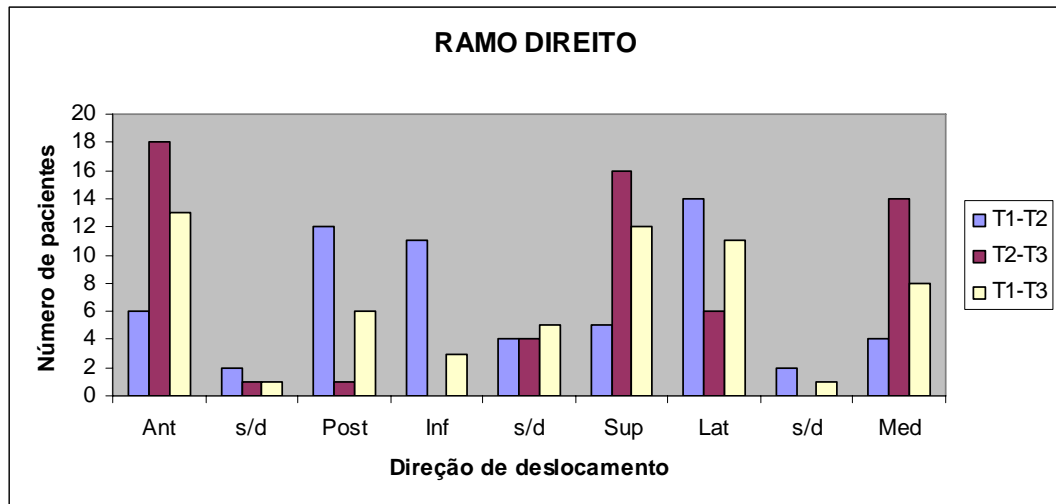


Gráfico 8 – Direções de deslocamento do ramo direito entre T1-T2, T2-T3 e T1-T3, expressa em número de pacientes (n = 20; s/d: sem deslocamento).

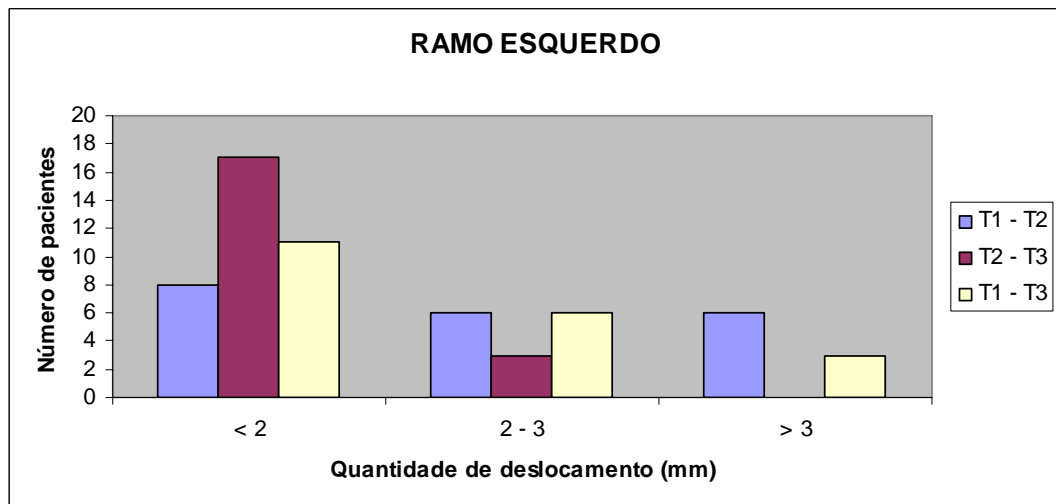


Gráfico 9 – Categorização da quantidade de deslocamento do ramo esquerdo entre T1-T2, T2-T3 e T1-T3, expressa em número de pacientes (n = 20).



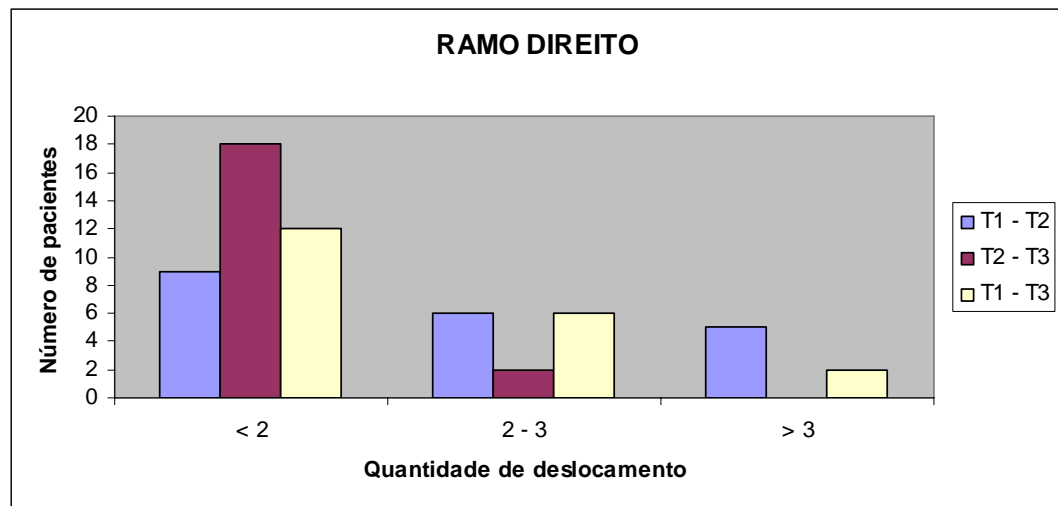


Gráfico 10 – Categorização da quantidade de deslocamento do ramo direito entre T1-T2, T2-T3 e T1-T3, expressa em número de pacientes (n = 20).

## 5 DISCUSSÃO

Este é o primeiro trabalho a comparar, em três dimensões, as alterações cirúrgicas em casos de avanço mandibular imediatamente após a cirurgia e em um curto prazo pós-cirúrgico de 6 semanas, no dia da remoção do *splint* cirúrgico. Embora a CT venha sendo utilizada há alguns anos para avaliação de discrepâncias esqueléticas complexas e casos cirúrgicos, vários são os desafios da aplicabilidade clínica de tais avaliações. O presente estudo representa uma resposta a alguns destes desafios, ao utilizar: (1) baixa dose de radiação, característica da CBCT, e mais especificamente do tomógrafo NewTom, com dosagem comparável ao exame radiográfico periapical completo;<sup>4,50</sup> (2) baixo custo relativo, sendo o custo da CBCT até 15 vezes menor que o dos modernos equipamentos de TC médica, e comparável aos novos equipamentos de radiografia digital. Além disto, este exame permite a reconstrução das radiografias lateral, frontal, panorâmica e axial a partir de uma única aquisição; (3) avançados métodos de análise de imagem, calculando milhares de distâncias entre as superfícies para medir alterações com o tratamento, não dependendo da localização de pontos anatômicos em 3D, que são mais susceptíveis a erros; (4) modelos de superfície ao invés de *3D rendering*, que é uma projeção de imagem utilizada pelos *softwares* comerciais, como o Dolphin Imaging e o InVivo. Enquanto o *3D rendering* permite apenas a visibilidade de estruturas 3D, medições de alterações estruturais não são possíveis por se tratar apenas de uma projeção de imagem. Além disto, todos os *softwares* utilizados neste estudo foram desenvolvidos com finalidade de pesquisa e estão disponíveis para uso público.

O método de superposição descrito por Cevidanes et al<sup>5,71</sup> e utilizado no presente trabalho representou um avanço àquele descrito por Kawamata et al,<sup>17</sup> já que o primeiro baseia-se em um registro totalmente automático que reconhece a escala de cinza dos *voxels* da base do crânio, não dependendo do operador, enquanto o segundo depende do observador para superpor e girar a tomografia pós-cirúrgica até que referências anatômicas sejam posicionadas sobre as referências correspondentes no modelo pré-cirúrgico. Além disso, com o método de Cevidanes et al<sup>5,71</sup> é possível, utilizando apenas a base anterior do crânio ao invés de sua superfície total, realizar a superposição de modelos de pacientes jovens para verificar alterações com o crescimento.<sup>52</sup>

Cevidanes et al<sup>71</sup> lembraram que um dos grandes desafios na utilização de imagens 3D geradas pela CBCT é a compilação e adaptação de *softwares* para a construção dos modelos 3D e avaliação das mudanças pelo tratamento ao longo do tempo. Diversos *softwares*

possibilitam a reconstrução rápida de um modelo 3D a partir dos cortes tomográficos (*3D rendering*), muito útil para uma observação clínica do esqueleto crânio-facial. Entretanto, este tipo de reconstrução tridimensional tem apenas a finalidade de visualização. A superposição de modelos 3D descrita na metodologia do presente trabalho requer a reconstrução de um modelo de superfície real, apresentando volume interno e superfícies tridimensionais que podem ser comparadas em diferentes tempos de observação. A visibilidade dos modelos 3D superpostos e o cálculo das distâncias entre superfícies exibem de forma clara a localização, magnitude e direção das rotações mandibulares durante a cirurgia, permitindo, mais especificamente, a quantificação dos movimentos ântero-posteriores, transversos e verticais dos ramos e côndilos acompanhando a cirurgia mandibular.

Além de ser válido para pesquisa, este método parece ter grande valor clínico para análise individual de casos orto-cirúrgicos de rotina ou ainda para os mais complexos, e pode ter interessante utilidade no ensino da Ortodontia e Cirurgia Buco-maxilo-facial. As maiores limitações para a realidade brasileira ainda são os custos do equipamento de CBCT e, tecnicamente, o tempo e o *expertise* necessários para se trabalhar com modelos 3D. A geração das imagens tridimensionais, superposição e comparação das superfícies demanda tempo operacional, computadores voltados para manipulação de imagens, grande capacidade de armazenamento e utilização de diversos programas. Todos os *softwares* utilizados estão disponíveis gratuitamente e a maioria sofre constante atualização. A tendência é que ocorra a compilação de diferentes funções, atualmente realizadas por diferentes ferramentas, em um mesmo programa mais completo e de fácil manuseio, que se torne mais atraente para o usuário e reduza o tempo de trabalho. Um exemplo disto é o *software* CMF, que já foi atualizado, incorporando as funções antes executadas separadamente pelo MeshValmet e FltkSOV3Dtool.

Os resultados obtidos neste experimento foram semelhantes aos encontrados na literatura relacionada à cirurgia de avanço mandibular,<sup>12,13</sup> e esclarecem questões ligadas às alterações nos três planos do espaço, assim como reabsorção óssea e deslocamentos associados à recidiva em cada caso. Este tipo de procedimento cirúrgico é considerado altamente estável e, nesta observação a curto prazo, 25% dos pacientes apresentaram algum tipo de movimento posterior do mento após a remoção do *splint* cirúrgico. Nos poucos casos onde ocorreu movimento posterior entre T2-T3, este foi menor que 3mm (Gráfico 2) e, comparando-se as superposições entre T1-T2 e T1-T3, observou-se visualmente grande similaridade, tanto na área e tonalidade de cor da região em vermelho correspondente ao

avanço mandibular nos mapas coloridos, quanto na diferença entre os modelos branco e vermelho nas semi-transparências. (Figura 18).

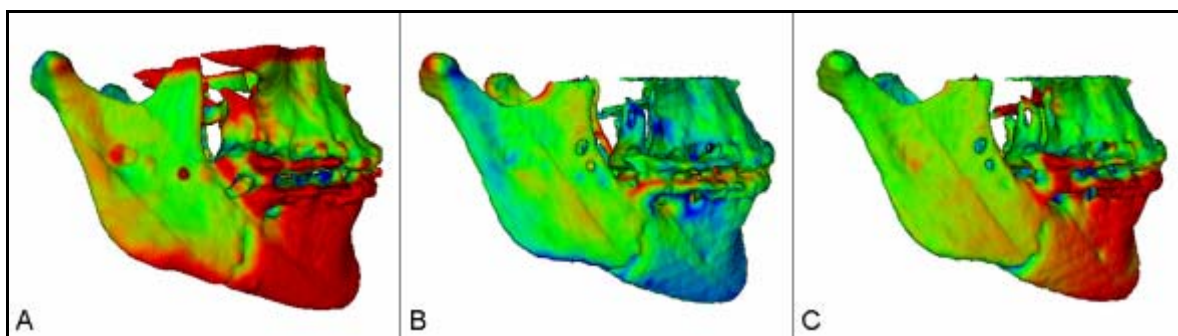


Figura 18 - Exemplo de um caso mostrando algum movimento posterior entre T2-T3 (B). Nota-se que a superposição entre T1-T3 (C) representa um avanço total menor que o verificado na superposição entre T1-T2 (A) quando comparadas a área e a tonalidade das superfícies em vermelho. Mesmo assim, os modelos superpostos em C parecem mostrar um bom posicionamento maxilo-mandibular seis semanas após a cirurgia. Uma avaliação dos ramos mostra um suave movimento lateral entre T1-T2 (A), um deslocamento adaptativo para medial entre T2-T3 (B) e superfícies em verde entre T1-T3 (C), ilustrando o retorno à posição inicial.

É importante destacar que os dados prévios disponíveis para comparação na literatura foram baseados em análises 2D, utilizando projeções cefalométricas laterais e pontos de referência determinados pelo operador. Os dados até agora disponíveis referentes aos resultados e estabilidade cirúrgicos através da superposição de modelos 3D são concentrados em pacientes Classe III, principalmente comparando a cirurgia combinada de avanço de maxila e recuo de mandíbula com a cirurgia isolada de maxila.<sup>8,9,10,11,68</sup> Portanto, o presente estudo é o primeiro deste tipo a avaliar um grupo de pacientes Classe II com padrão horizontal ou normal tratados a partir da osteotomia sagital para avanço mandibular.

O avanço mandibular com aumento do terço inferior da face foi realizado em parte da amostra, onde puderam ser observados importantes deslocamentos inferiores acompanhando o movimento anterior do mento, e em alguns casos com pouco overjet pôde-se considerar que houveram maiores alterações verticais do que horizontais (Figura 19). Presume-se que o giro horário da mandíbula seja mais estável que o giro anti-horário, já que no primeiro as fibras musculares mastigatórias inseridas na região posterior do corpo e no ramo mandibulares tendem a ser encurtadas, enquanto no segundo tendem a ser estiradas. Mesmo assim, o *splint* de acrílico parece ter importante papel na manutenção da altura oclusal após a cirurgia e,

depois de removido, observou-se uma esperada tendência a fechamento da mordida, que foi acompanhada em algumas situações por um movimento anterior adicional (Figura 20).

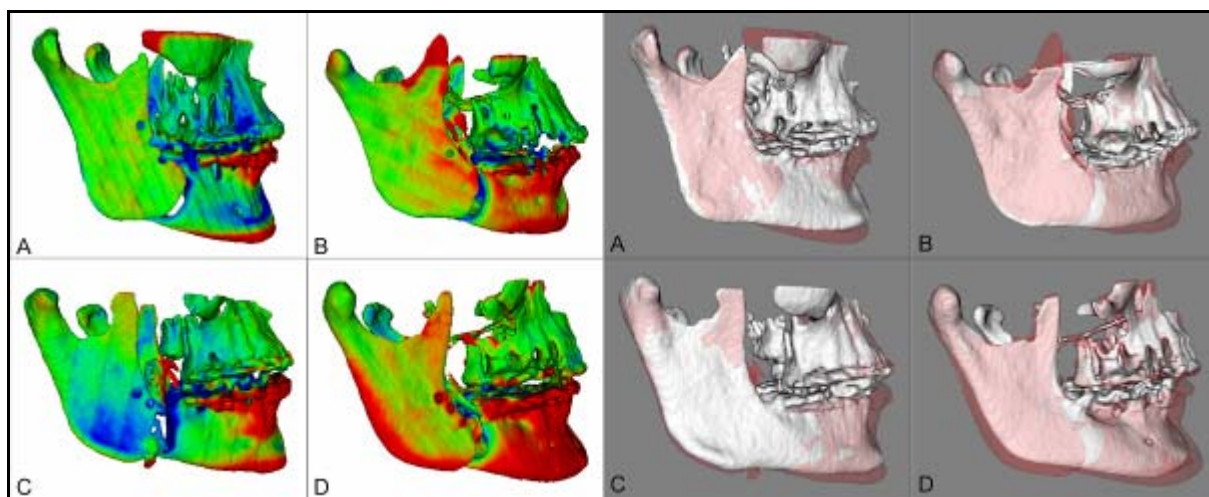


Figura 19 – Esquerda: mapas coloridos de quatro pacientes da amostra exibindo as distâncias entre superfícies dos modelos de T1 e T2 superpostos. Pode-se observar um deslocamento ântero-inferior do mento com a cirurgia, ainda com o *splint* cirúrgico. Os pacientes A e C apresentaram um maior deslocamento vertical, exibido em vermelho na superfície inferior da sínfise e no processo alveolar anterior. Os pacientes B e D apresentaram deslocamento vertical e notável avanço do mento, destacado por maiores áreas em vermelho nas superfícies anteriores do mento e corpo mandibulares. Direita: semi-transparências dos mesmos casos com T1 em branco e T2 em vermelho.

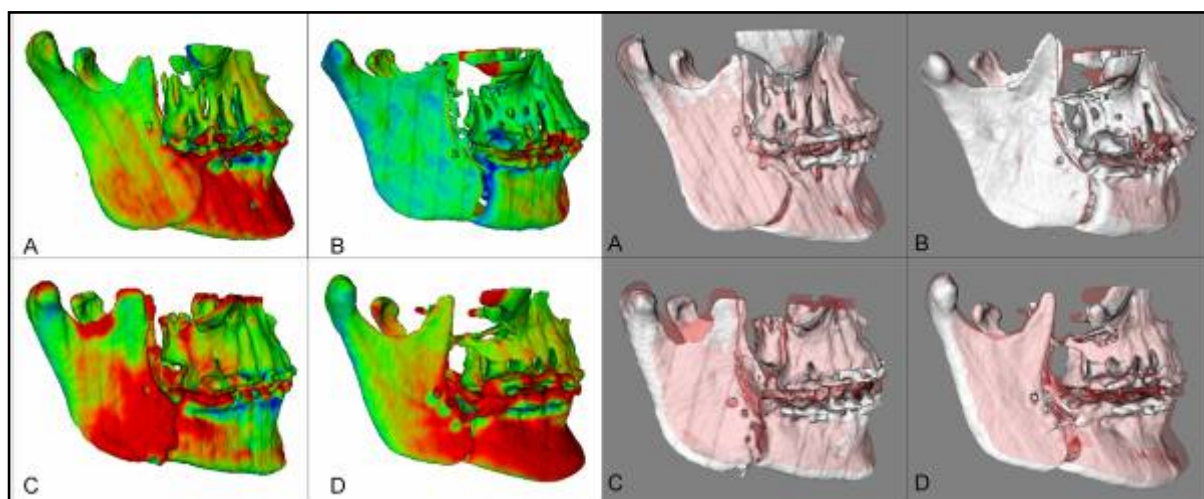


Figura 20 – Acompanhamento a curto prazo (T2-T3) dos casos exibidos na figura anterior. Após a remoção do *splint* ocorreu uma tendência de movimento ântero-superior na maioria dos casos da amostra. Pode-se observar um movimento adicional para frente nesta fase, destacado pelas superfícies em vermelho nos mapas coloridos e pelas diferenças ântero-posteriores nas semi-transparências dos modelos de T2 (branco) e T3 (vermelho). Uma comparação dos ramos entre as Figuras 19 e 20 (T1-T2 x T2-T3) sugere uma acomodação dos deslocamentos cirúrgicos após seis semanas, com um movimento médio-lateral nos pacientes B e C e ântero-posterior no paciente D.

Foram notadas menores alterações pós-cirúrgicas na região do mento naqueles casos onde o movimento cirúrgico foi eminentemente horizontal (Figura 21), entretanto o tamanho da amostra não permitiu divisão em sub-grupos com ou sem alteração vertical. Uma futura comparação com um grupo de pacientes Classe II verticais submetidos à impacção maxilar e avanço mandibular pode ajudar a esclarecer de forma tridimensional as diferenças de resultados e estabilidade, assim como reabsorção e remodelação condilares, de acordo com giros mandibulares no sentido horário ou anti-horário. É importante destacar ainda que a mentoplastia é um procedimento auxiliar considerado altamente estável na literatura,<sup>12,13,24</sup> portanto sua execução nos casos que necessitam de complementação estética ântero-posterior e/ou vertical pode contribuir positivamente para a qualidade do tratamento.

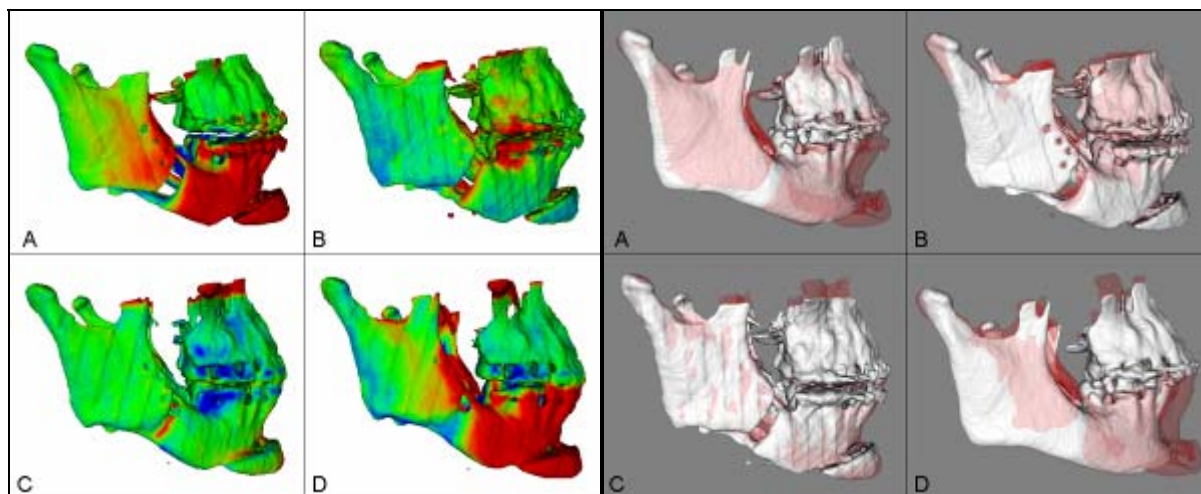


Figura 21 – A: T1-T2. B: T2-T3. C: T3-T4 (um ano após a cirurgia). D: T1-T4. Exemplo de um caso com excelente estabilidade. Comparando-se as superposições com mapas coloridos (esquerda) e semi-transparências (direita) entre A (T1 em branco e T2 em vermelho) e D (T1 em branco e T4 em vermelho), nota-se que, apesar de deslocamentos dos ramos e côndilos, as alterações com a cirurgia se mantiveram estáveis após um ano de acompanhamento. As superposições B (T2 em branco e T3 em vermelho) e C (T3 em branco e T4 em vermelho) exibem pequenas alterações entre as fases na região anterior, com pequeno movimento posterior em B. Além deste caso não ter sofrido alteração vertical significativa, sabe-se que a mentoplastia é um procedimento auxiliar altamente estável.<sup>13,24,12</sup>

Os deslocamentos observados em ramos e côndilos foram considerados importantes clinicamente, ainda que concentrados abaixo de 3mm e 2mm, respectivamente, e ainda que o posicionamento do mento se mantivesse estável. Nota-se que as imagens tridimensionais ilustram de forma mais nítida e completa estes tipos de deslocamentos, portanto movimentos previamente descritos em trabalhos utilizando métodos 2D podem passar a ter outro significado quando visualizados em três dimensões e em tamanho real. Na verdade, os



resultados sugerem que houve uma importante adaptação muscular com tendência de retorno às posições iniciais quando o *splint* cirúrgico foi removido e foram retomadas as funções mandibulares. Entretanto, em alguns casos o segmento proximal sofreu um maior deslocamento, que nitidamente se manteve mesmo em um acompanhamento a longo prazo (Figura 22). Com os deslocamentos condilares concentrados abaixo de 2mm neste trabalho, questiona-se as conseqüências clínicas de tais alterações, de forma que acompanhamentos a longo prazo podem mostrar se os mesmos foram pequenos o bastante para permitir uma remodelação adaptativa sem levar à seqüelas negativas.

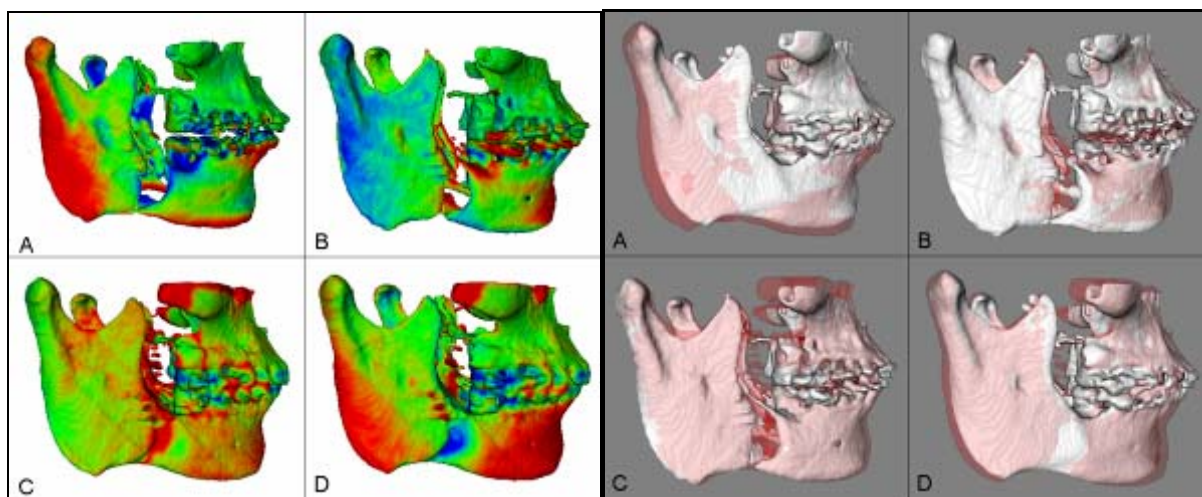


Figura 22 - As superposições entre T1-T2 (A) mostram que foi obtido maior movimento vertical do que ântero-posterior com a cirurgia, já que o paciente apresentava pouco overjet e planejara-se uma melhoria da altura facial. Nota-se ainda um extenso deslocamento posterior dos ramos e côndilos com a cirurgia (A), ocorrendo um movimento anterior total após a remoção do *splint* cirúrgico (B = T2-T3), ilustrado nos mapas coloridos por superfícies do mento em vermelho e superfícies do ramo em azul. As figuras C ilustram as superposições entre T3 e T4 (um ano após a cirurgia), com poucas alterações, ainda que sugerindo deslocamento anterior mandibular, possivelmente relacionado à remodelações e/ou reabsorções ósseas. As figuras D mostram as superposições entre T1 e T4, ressaltando os deslocamentos anterior e inferior do mento, e manutenção de parte do movimento posterior dos ramos e côndilos.

Na análise das direções de deslocamento observou-se razoável variabilidade dos movimentos, principalmente dos côndilos, e tendências direcionais mais marcantes nos ramos. Pelo tamanho reduzido da amostra, torna-se difícil estabelecer relações mais diretas entre o procedimento cirúrgico e o comportamento das estruturas, portanto, tentou-se estabelecer apenas algumas tendências direcionais. Pode-se sugerir que os deslocamentos látero-posterior nos côndilos e látero-postero-inferior nos ramos entre T1-T2 foram resultantes da pressão

exercida durante a osteotomia sagital do ramo, deslizamento dos fragmentos e subsequente fixação rígida, enquanto os deslocamentos médio-anterior e médio-antero-superior entre T2-T3 significaram um retorno às posições iniciais pela ação da musculatura. Na análise dos deslocamentos do mento as direções foram obviamente anteriores com o procedimento cirúrgico e mostraram pouca variação após a remoção do *splint*, até porque a amostra utilizada não apresentava pacientes assimétricos, portanto não se esperavam movimentos laterais. Correlacionando-se o comportamento dos côndilos com as alterações do mento, sugere-se que o deslocamento anterior dos primeiros após a remoção do *splint* pode ser um dos responsáveis, junto com o fechamento de mordida, por algum movimento anterior do mento em T3, e talvez por parte da estabilidade da correção, como mostrado na Figura 22. Um acompanhamento a longo prazo poderá mostrar a porcentagem de casos que apresentarão reabsorção condilar em função destes deslocamentos.

É importante destacar que os resultados deste estudo se referem apenas a fenômenos pós-cirúrgicos imediatos e de curto prazo. Alterações podem ocorrer com o tempo e evidenciar o grau de influência do tipo de movimento cirúrgico sobre a estabilidade a longo prazo. Os deslocamentos cirúrgicos e respostas adaptativas ocorrem relativamente às estruturas adjacentes do complexo crânio-facial, por esta razão as medidas a partir de curvas e superfícies 3D não são isoladas, mas determinadas pela forma como se relacionam as diferentes partes deste complexo. Portanto, as rotações mandibulares pós-cirúrgicas podem ser influenciadas pela morfologia, posicionamento e inter-relações da maxila, mandíbula e fossa articular.

O estudo de Becktor et al<sup>16</sup> mostrou, através de radiografias cefalométricas laterais e frontais, um aumento da distância entre os gônios e ramos em quase todos os pacientes da amostra. No presente trabalho não foram realizadas medições entre pontos bilaterais, mas superposições entre diferentes fases de acompanhamento permitiram visualizar a tendência a movimentos "para fora" com a cirurgia de osteotomia sagital do ramo e uso de fixação rígida, corroborando com tais achados. Estudos com radiografias submentovértex mostraram que normalmente ocorrem rotações estruturais de 5 a 10°, não levando a problemas funcionais, além da quantidade de rotação aparentemente diminuir com o tempo de acordo com o processo de remodelação. Entretanto, se os côndilos fossem deslocados anteriormente ou medialmente poderia haver tendência à dor e, em alguns casos, restrição de movimento.<sup>12,27</sup>

Bettega et al<sup>72</sup> ressaltaram que o reposicionamento do fragmento condilar nas osteotomias mandibulares continua sendo considerado tecnicamente difícil. Além disso, o relaxamento muscular e a liberdade articular causados pela anestesia geral são dois fatores



que complicam a manobra cirúrgica. Epker e Wylie<sup>73</sup> sugeriram três principais razões que justificam a tentativa de um reposicionamento preciso do côndilo após a osteotomia mandibular. A primeira e principal razão seria garantir uma boa estabilidade do resultado cirúrgico a longo prazo. A segunda seria reduzir os efeitos deletérios sobre a ATM, consequentemente reduzindo uma possível incidência de DTM. Finalmente, um bom posicionamento condilar poderia melhorar a função mastigatória pós-cirúrgica. O método empírico, o mais utilizado neste procedimento, foi o utilizado no tratamento da amostra do presente trabalho e consiste em tentar acomodar manualmente o côndilo em uma posição mais superior e anterior dentro da cavidade glenóide, de forma que a qualidade deste procedimento é fortemente relacionada à experiência do cirurgião.

Métodos de planejamento cirúrgico 3D e monitoramento computadorizado do procedimento podem representar um futuro avanço no controle das variáveis que influenciam o deslocamento e reposicionamento das estruturas em cirurgia ortognática. O método de Chapuis et al<sup>74</sup> permite, através de marcadores metálicos posicionados no *splint* cirúrgico, um registro do paciente com o seu respectivo modelo 3D criado a partir de tomografia computadorizada. Segundo os autores, os movimentos maxilares puderam ser monitorados em tempo real, de forma que verificava-se a quantidade de impacção e avanço na tela do computador durante a cirurgia, com a vantagem de ter como referência estruturas fixas como a base do crânio. Métodos como este podem ser adaptados para cirurgias mandibulares no intuito de melhor controlar os deslizamentos dos segmentos após a osteotomia sagital para avanço.

Achados adicionais podem ser encontrados em maiores amostras, assim como em acompanhamentos a longo prazo, na tentativa de verificar como se apresentarão os deslocamentos de ramos e côndilos, assim como a ocorrência de reabsorção e remodelação destas estruturas. Ao término deste trabalho, metade da amostra já apresentava tomografias de acompanhamento de um ano após a cirurgia de avanço mandibular, enquanto os demais pacientes estão agendados para a realização do exame, o que permitirá nova avaliação em um trabalho subsequente.

## 6 CONCLUSÃO

1. Entre T1-T2, todos os casos apresentaram um deslocamento ântero-inferior do mento, de magnitude maior que 4mm em 87,5% destes. Os côndilos mostraram tendência mais marcante ao deslocamento látero-posterior, onde 77,5% tiveram movimento menor que 2mm com a cirurgia. Os ramos exibiram uma tendência a movimentos “para fora” (íntero-latero-posterior), com destaque para o desvio lateral, sugerindo que estes foram empurrados posteriormente com a cirurgia, ainda que 72,5% dos casos tenham mostrado mudanças inferiores a 3mm.

2. Entre T2-T3, 25% dos pacientes apresentaram movimento do mento com algum componente posterior ( $<3\text{mm}$ ) e 69% mostraram movimento ântero-superior. Alterações verticais com rotação anti-horária e deslocamento adicional para frente foram provavelmente relacionados à remoção do *splint* (espessura do acrílico). Os côndilos mostraram um deslocamento médio-anterior na maioria dos casos, onde 90% se moveram menos que 2mm. Os ramos apresentaram deslocamentos “para dentro” (súpero-medio-anterior) após a remoção do *splint* cirúrgico, inferiores a 2mm em 87,5% dos casos. Os deslocamentos de côndilos e ramos sugeriram uma importante resposta adaptativa após seis semanas, com tendência de retorno às posições pré-cirúrgicas.

3. Entre T1-T3 observou-se um avanço do mento em todos os casos, de magnitude maior que 4mm em 80%, acompanhado de um movimento inferior em 77,5%. Os côndilos mostraram uma resultante de deslocamento médio-postero-superior, onde 90% apresentaram deslocamento menor que 2mm, e maior que 3mm em apenas 5%. Os ramos mostraram uma resultante súpero-latero-anterior, com deslocamento inferior a 2mm em 82% dos casos.

## REFERÊNCIAS

1. Mah J, Huang J, Bumann A. The cone-beam decision in orthodontics. In: McNamara Jr JA, Kapila SD. Digital radiography and three-dimensional imaging, 32<sup>nd</sup> Annual Moyers Symposium, Ann Arbor, v.43, 2006, p.59-75.
2. Sarment DP. Dental applications for cone-beam computed tomography. In: McNamara Jr JA, Kapila SD. Digital radiography and three-dimensional imaging, 32<sup>nd</sup> Annual Moyers Symposium, Ann Arbor, v.43, 2006, p. 43-58.
3. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreis IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. Eur Radiol. 1998;8(9):1558-64.
4. Ludlow, JB; Davies-Ludlow, LE; Brooks, SL. Dosimetry of two extraoral direct digital imaging devices: NewTom cone beam CT and Orthophos Plus DS panoramic unit. Dentomaxillofac Radiol. 2003 Jul;32(4):229-34.
5. Cevidanes L, Bailey LJ, Tucker GR Jr, Styner MA, Mol A, Phillips CL et al. Superimposition of 3D cone-beam CT models of orthognathic surgery patients. Dentomaxillofac Radiol. 2005 Nov;34(6):369-75.
6. Poggio PM, Incorvati C, Velo S, Carano A. "Safe zones": a guide for miniscrew positioning in the maxillary and mandibular arch. Angle Orthod. 2006 Mar;76(2):191-7.
7. Cevidanes L, Motta A, Styner M, Proffit W. Superimposition of 3-dimensional cone-beam computed-tomography models. Newsletter of the American Association of Dental Maxillofacial Radiographic Technicians, Fountain Valley, Fall 2006:20-5.
8. Cevidanes L, Bailey LJ, Tucker SF, Styner MA, Mol A, Phillips CL, Proffit WR, Turvey T. Three-dimensional cone-beam computed tomography for assessment of mandibular changes after orthognathic surgery. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2007 Jan;131(1):44-50.
9. Cevidanes L, Oliveira A, Phillips C, Motta A, Styner M, Tyndall D. Three dimensional short-term mandibular displacements following class III surgery [CD-ROM], J Dent Res (Spec Iss A): 1827, 2007.
10. Grauer D, Cevidanes LHS, Phillips C, Mol A, Styner M, Proffit W. Assessment of maxillary surgery outcomes one year post-surgery [CD-ROM], J Dent Res (Spec Iss A): 0813, 2006.
11. Lee B, Cevidanes LHS, Phillips C, Mol A, Styner M, Proffit W. 3D assessment of mandibular changes one year after orthognathic surgery [CD-ROM], J Dent Res (Spec Iss A): 1610, 2006.
12. Bailey LJ, Cevidanes LH, Proffit WR. Stability and predictability of orthognathic surgery. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2004 Sep;126(3):273-7.
13. Proffit WR, Turvey TA, Phillips C. Orthognathic surgery: a hierarchy of stability. Int J

- Adult Orthodon Orthognath Surg. 1996;11(3):191-204.
14. De Clercq CA, Neyt LF, Mommaerts MY, Abeloos JV, De Mot BM. Condylar resorption in orthognathic surgery: a retrospective study. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 1994;9(3):233-40.
  15. Harris MD, Van Sickels JE, Alder M. Factors influencing condylar position after the bilateral sagittal split osteotomy fixed with bicortical screws. *J Oral Maxillofac Surg.* 1999 Jun;57(6):650-4.
  16. Becktor JP, Rebellato J, Becktor KB, Isaksson S, Vickers PD, Keller EE. Transverse displacement of the proximal segment after bilateral sagittal osteotomy. *J Oral Maxillofac Surg.* 2002 Apr;60(4):395-403.
  17. Kawamata A, Fujishita M, Nagahara K, Kanematu N, Niwa K, Langlais RP. Three-dimensional computed tomography evaluation of postsurgical condylar displacement after mandibular osteotomy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1998 Apr;85(4):371-6.
  18. Proffit WR, White RP, Sarver DM. *Contemporary Treatment of Dentofacial Deformity.* St. Louis: Mosby, 2002.
  19. Phillips C, Proffit WR. Psychosocial aspects of dentofacial deformity and its treatment. In: Proffit WR, White RP, Sarver DM. *Contemporary Treatment of Dentofacial Deformity.* St Louis: Mosby, 2002.
  20. Bailey LJ, Duong HL, Proffit WR. Surgical Class III treatment: long-term stability and patient perceptions of treatment outcome. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 1998;13(1):35-44.
  21. Busby BR, Bailey LJ, Proffit WR, Phillips C, White RP Jr. Long-term stability of surgical Class III treatment: a study of 5-year postsurgical results. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 2002 Fall;17(3):159-70.
  22. Schubert P, Bailey LJ, White RP, Proffit WR. Long-term cephalometric changes in untreated adults compared to those treated with orthognathic surgery. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 1999;14(2):91-9.
  23. Harrell WE Jr, Hatcher DC, Bolt RL. In search of anatomic truth: 3-dimensional digital modeling and the future of orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002 Sep;122(3):325-30.
  24. Proffit WR, Turvey TA, Phillips C. The hierarchy of stability and predictability in orthognathic surgery with rigid fixation: an update and extension. *Head Face Med.* 2007 Apr; 30;3:21.
  25. Mihalik CA, Proffit WR, Phillips C. Long-term follow-up of Class II adults treated with orthodontic camouflage: a comparison with orthognathic surgery outcomes. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003 Mar;123(3):266-78.

26. Simmons KE, Turvey TA, Phillips C, Proffit WR. Surgical-orthodontic correction of mandibular deficiency: five-year follow-up. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 1992;7(2):67-79.
27. Proffit WR, Bailey LJ, Phillips C, Turvey TA. Long-term stability of surgical open-bite correction by Le Fort I osteotomy. *Angle Orthod.* 2000 Apr;70(2):112-7.
28. Schardt-Sacco D, Turvey TA: Minimizing relapse after sagittal osteotomy for correction of mandibular prognathism. *J Oral Maxillofac Surg* 1997, 55(supp 3):85.
29. Severt TR, Proffit WR. Post-surgical stability following correction of facial asymmetry. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 1997;12(3):251-62.
30. Severt TR, Proffit WR. The prevalence of facial asymmetry in the dentofacial deformities population at the University of North Carolina. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 1997;12(3):171-6.
31. Martinez JT, Turvey TA, Proffit WR. Osseous remodeling after inferior border osteotomy for chin augmentation: an indication for early surgery. *J Oral Maxillofac Surg.* 1999 Oct;57(10):1175-80.
32. Bailey LJ, White RP, Proffit WR, Turvey TA. Segmental LeFort I osteotomy for management of transverse maxillary deficiency. *J Oral Maxillofac Surg.* 1997 Jul;55(7):728-31.
33. Tuinzing DB. *J Oral Maxillofac Surg* 1999;57:654-5. Retratação de Harris MD, Van Sickels JE, Alder M. Factors influencing condylar position after the bilateral sagittal split osteotomy fixed with bicortical screws. *J Oral Maxillofac Surg.* 1999 Jun;57(6):650-4.
34. White CS, Dolwick MF. Prevalence and variance of temporomandibular dysfunction in orthognathic surgery patients. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 1992;7(1):7-14.
35. Kerstens HC, Tuinzing DB, Van der Kwast WA. Temporomandibular joint symptoms in orthognathic surgery. *J Craniomaxillofac Surg.* 1989 Jul;17(5):215-8.
36. Bouwman JP, Kerstens HC, Tuinzing DB. Condylar resorption in orthognathic surgery: the role of intermaxillary fixation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1994 Aug;78(2):138-41.
37. Mah J, Hatcher D. Three-dimensional craniofacial imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004 Sep;126(3):308-9.
38. Cevidanes L, Franco AA, Gerig G, Proffit WR, Slice DE, Enlow DH et al. Assessment of mandibular growth and response to orthopedic treatment with 3-dimensional magnetic resonance images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005 Jul;128(1):16-26.
39. Hilgers ML, Scarfe WC, Scheetz JP, Farman AG. Accuracy of linear temporomandibular joint measurements with cone beam computed tomography and digital cephalometric radiography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005

Dec;128(6):803-11.

40. Lascala CA, Panella J, Marques MM. Analysis of the accuracy of linear measurements obtained by cone beam computed tomography (CBCT-NewTom). *Dentomaxillofac Radiol.* 2004 Sep;33(5):291-4.
41. Scholz R. The radiology question: film, indirect, direct or cone-beam? In: McNamara Jr JA, Kapila SD. *Digital radiography and three-dimensional imaging, 32<sup>nd</sup> Annual Moyers Symposium*, Ann Arbor, v.43, 2006, p.23-32.
42. News and Trends: Sirona cone beam CT. Newsletter of the American Association of Dental Maxillofacial Radiographic Technicians, Fountain Valley, Fall 2006: 7.
43. Mah JK, Danforth RA, Bumann A, Hatcher D. Radiation absorbed in maxillofacial imaging with a new dental computed tomography device. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003 Oct;96(4):508-13.
44. Brooks SL. Digital radiography: who's in charge? In: McNamara Jr JA, Kapila SD. *Digital radiography and three-dimensional imaging, 32<sup>nd</sup> Annual Moyers Symposium*, Ann Arbor, v.43, 2006, p.33-41.
45. White SC. 1992 assessment of radiation risk from dental radiography. *Dentomaxillofac Radiol.* 1992 Aug;21(3):118-26.
46. Avendanio B, Frederiksen NL, Benson BW, Sokolowski TW. Effective dose and risk assessment from detailed narrow beam radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1996 Dec;82(6):713-9.
47. Gijbels F, Jacobs R, Bogaerts R, Debaveye D, Verlinden S, Sanderink G. Dosimetry of digital panoramic imaging. Part I: Patient exposure. *Dentomaxillofac Radiol.* 2005 May;34(3):145-9.
48. Gijbels F, Sanderink G, Wyatt J, Van Dam J, Nowak B, Jacobs R. Radiation doses of indirect and direct digital cephalometric radiography. *Br Dent J.* 2004 Aug 14;197(3):149-52; discussion 140.
49. Visser H, Rodig T, Hermann KP. Dose reduction by direct-digital cephalometric radiography. *Angle Orthod.* 2001 Jun;71(3):159-63.
50. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL, Howerton WB. Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology: CB Mercuray, NewTom 3G and i-CAT. *Dentomaxillofac Radiol.* 2006 Jul;35(4):219-26.
51. Ngan DC, Kharbanda OP, Geenty JP, Darendeliler MA. Comparison of radiation levels from computed tomography and conventional dental radiographs. *Aust Orthod J.* 2003 Nov;19(2):67-75.
52. Cevitanes L, Motta A. 3D imaging for early diagnosis and assessment of treatment response. In: McNamara Jr JA, Kapila SD. *Early orthodontic treatment: is the benefit worth the burden? 33<sup>rd</sup> Annual Moyers Symposium*, Ann Arbor, v.44, 2007, p.305-21.

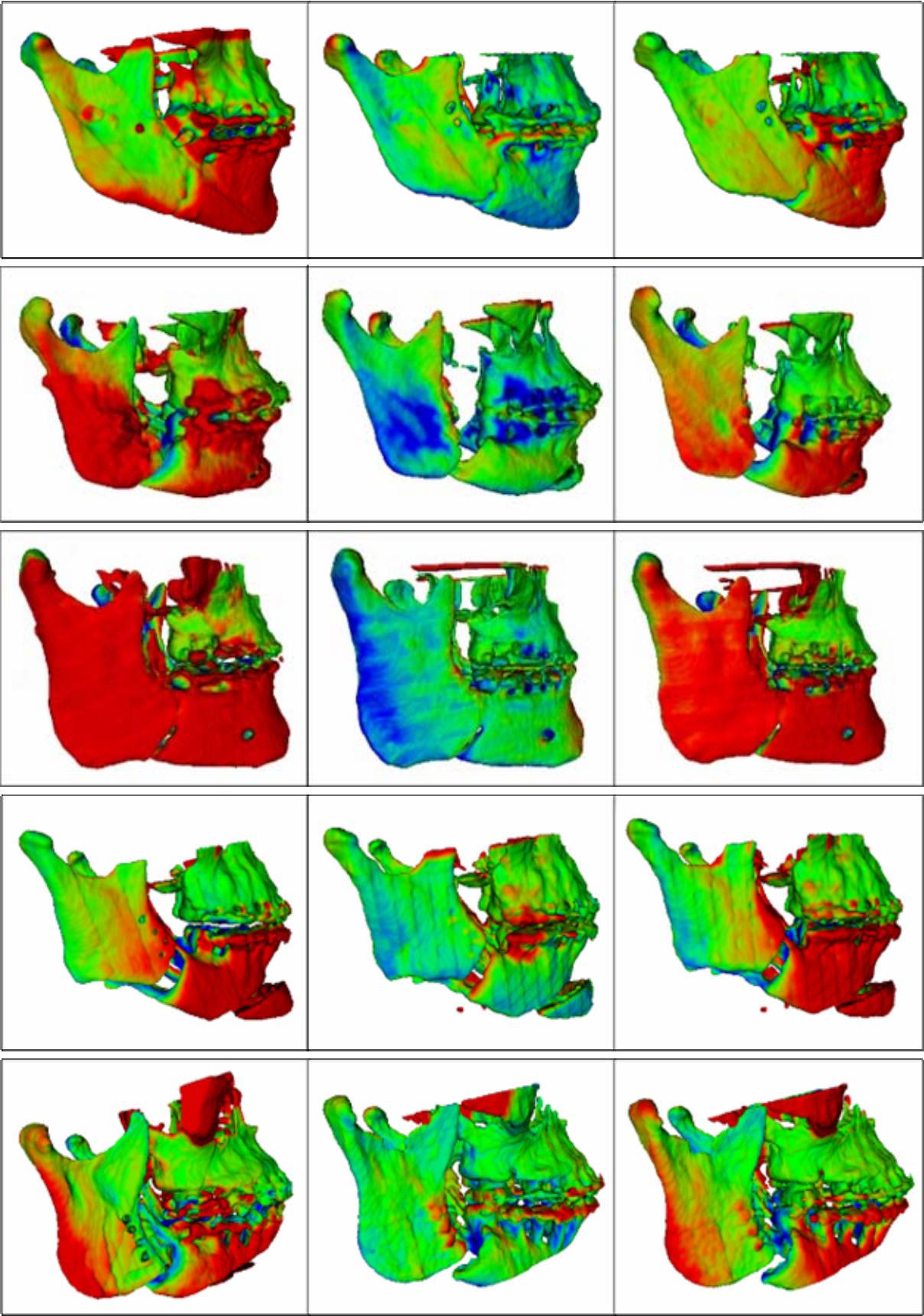
53. Hans M. When will 3-dimensional (3D) imaging become practical in private practice? I enjoy using digital imaging now but wonder how quickly the current technology will become obsolete. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002; 122 (4): 14A.
54. Kumar V, Ludlow J, Cevidanes LHS, and Mol A. Comparison of cone beam CT and conventional cephalometric measurements [CD-ROM], *J Dent Res*; (Spec Iss A): 0829, 2006.
55. Burke B, Motta A, Cevidanes L, Oliveira A, Perin J, Tyndall D. Head position and observer reliability in CBCT-generated lateral cephalograms [CD-ROM], *J Dent Res*; (Spec Iss A): 2734, 2007.
56. Oliveira A, Motta A, Burke B, Cevidanes L, Perin J, Tyndall D. Observer reliability of landmark location on 3D cone-beam CT [CD-ROM], *J Dent Res* (Spec Iss A): 0457, 2007.
57. Burke B, Motta A, Cevidanes L, Oliveira A. 3D CBCT Analysis of mandibular advancement: changes at 6 weeks post-surgery, *Book of Abstracts of the AAO 107th Annual Session*, v.15, p.32, 2007.
58. Peck JL, Sameshima GT, Miller A, Worth P, Hatcher DC. Mesiodistal root angulation using panoramic and cone beam CT. *Angle Orthod.* 2007 Mar;77(2):206-13.
59. Sukovic P. Cone beam computed tomography in craniofacial imaging. *Orthod Craniofac Res.* 2003;6 Suppl 1:31-6.
60. Liu DG, Zhang WL, Zhang ZY, Wu YT, Ma XC. Localization of impacted maxillary canines and observation of adjacent incisor resorption with cone-beam computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* No prelo 2007.
61. Walker L, Enciso R, Mah J. Three-dimensional localization of maxillary canines with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005 Oct;128(4):418-23.
62. Huang J, Bumann A, Mah J. Three-dimensional radiographic analysis in orthodontics. *J Clin Orthod.* 2005 Jul;39(7):421-8.
63. Lee W, Park JU. Three-dimensional evaluation of positional change of the condyle after mandibular setback by means of bilateral sagittal split ramus osteotomy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2002 Sep;94(3):305-9.
64. Miller AJ, Maki K, Hatcher DC. New diagnostic tools in orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004 Oct;126(4):395-6.
65. Nkenke E, Zachow S, Benz M, Maier T, Veit K, Kramer M et al. Fusion of computed tomography data and optical 3D images of the dentition for streak artefact correction in the simulation of orthognathic surgery. *Dentomaxillofac Radiol.* 2004 Jul;33(4):226-32.
66. Ono I, Ohura T, Narumi E, Kawashima K, Matsuno I, Nakamura S et al. Three-

dimensional analysis of craniofacial bones using three-dimensional computer tomography. *J Craniomaxillofac Surg.* 1992 Feb-Mar;20(2):49-60.

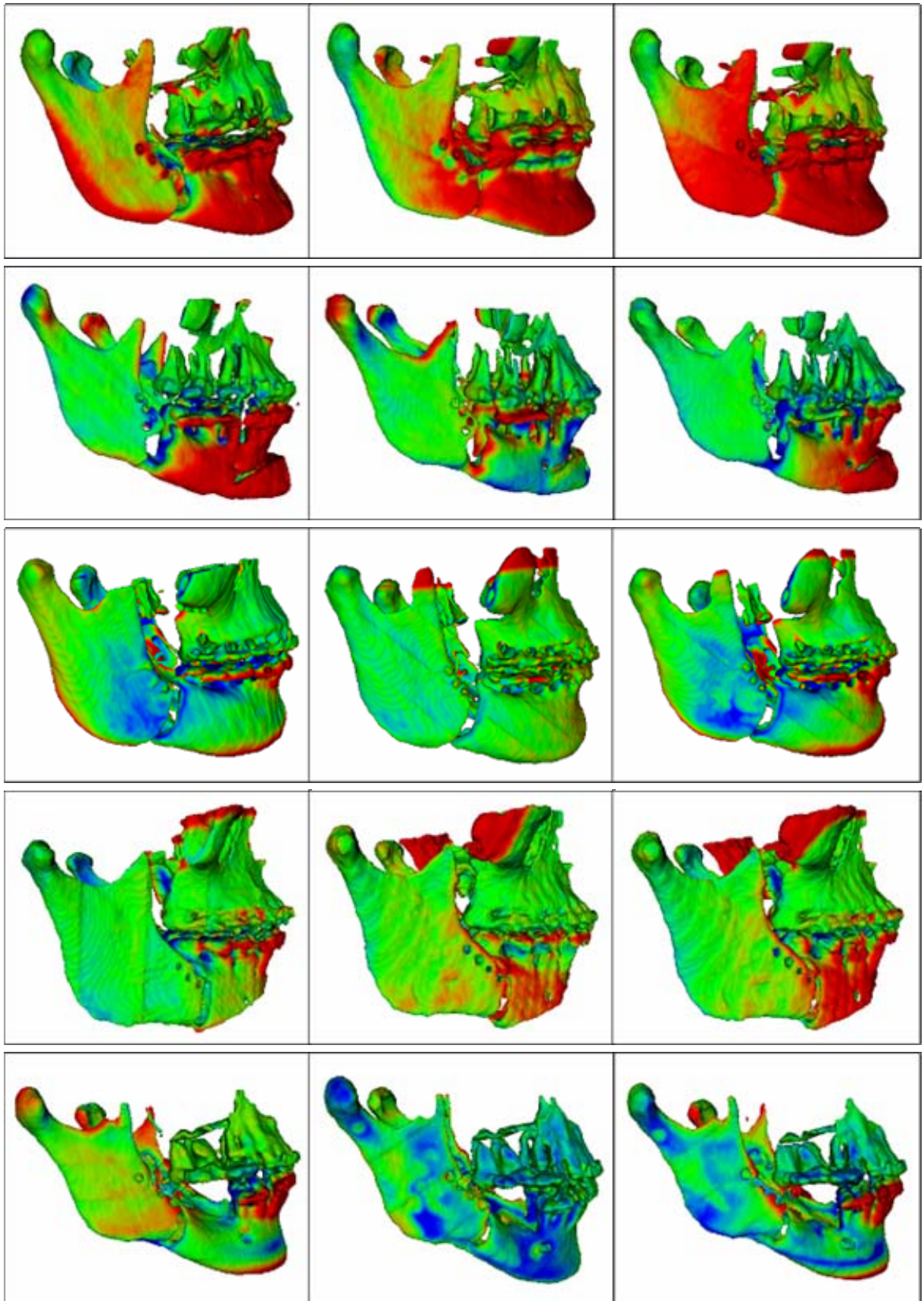
67. Xia J, Samman N, Yeung RW, Shen SG, Wang D, Ip HH et al. Three-dimensional virtual reality surgical planning and simulation workbench for orthognathic surgery. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 2000 Winter;15(4):265-82.
68. Cevidanes L, Oliveira A, Phillips C, Motta A, Styner M. 3D Assessment of surgical changes at splint removal for Class III patients, *Book of Abstracts of the AAO 107th Annual Session*, v.15, p.32, 2007.
69. Cevidanes L, Phillips C, Styner M, Mol A, Proffit W, Turvey T. 3D assessment of asymmetry prior to treatment for hemifacial microsomia [CD-ROM], *J Dent Res (Spec Iss A)*: 0830, 2006.
70. Kwon TG, Mori Y, Minami K, Lee SH, Sakuda M. Stability of simultaneous maxillary and mandibular osteotomy for treatment of class III malocclusion: an analysis of three-dimensional cephalograms. *J Craniomaxillofac Surg.* 2000 Oct;28(5):272-7.
71. Cevidanes L, Phillips C, Tulloch C, Proffit W. Superimposition of 3D cone-beam CT models of orthognathic surgery patients. In: McNamara Jr JA, Kapila SD. *Digital radiography and three-dimensional imaging*, 32<sup>nd</sup> Annual Moyers Symposium, Ann Arbor, v.43, 2006, p.105-22.
72. Bettega G, Cinquin P, Lebeau J, Raphael B. Computer-assisted orthognathic surgery: clinical evaluation of a mandibular condyle repositioning system. *J Oral Maxillofac Surg.* 2002 Jan;60(1):27-34.
73. Epker BN, Wylie GA. Control of the condylar-proximal mandibular segments after sagittal split osteotomies to advance the mandible. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1986 Dec;62(6):613-7.
74. Chapuis J, Rudolph T, Borgesson B, De Momi E, Pappas IP, Hallermann W et al. 3D surgical planning and navigation for CMF surgery. *Proc SPIE Medical Imaging 2004*, pp.403–10.



**APÊNDICE A** - Pacientes 1 a 5: superposições com mapas coloridos entre T1-T2 (esquerda), T2-T3 (centro) e T1-T3 (direita)

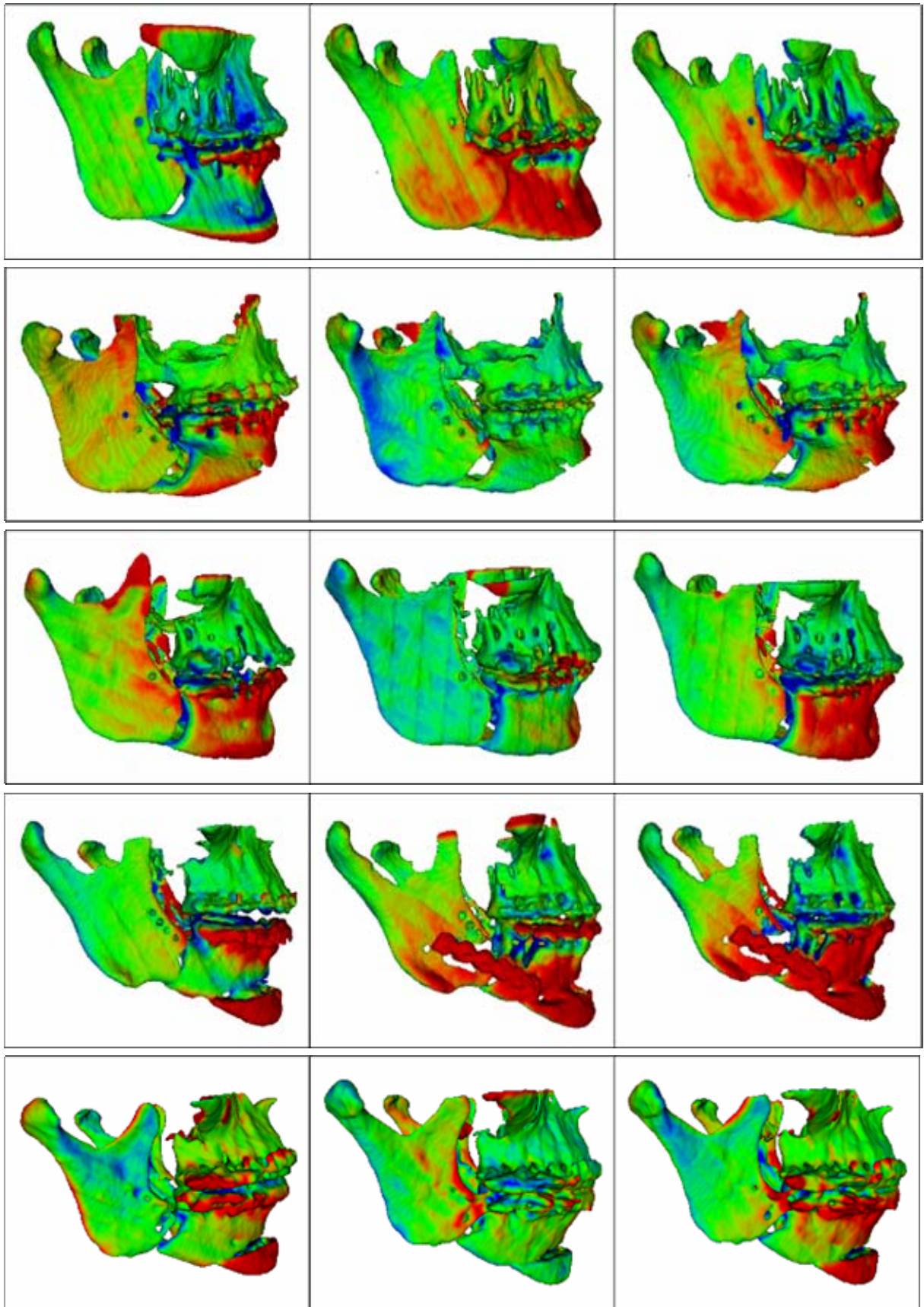


**APÊNDICE A** - Pacientes 6 a 10: superposições com mapas coloridos entre T1-T2 (esquerda), T2-T3 (centro) e T1-T3 (direita).

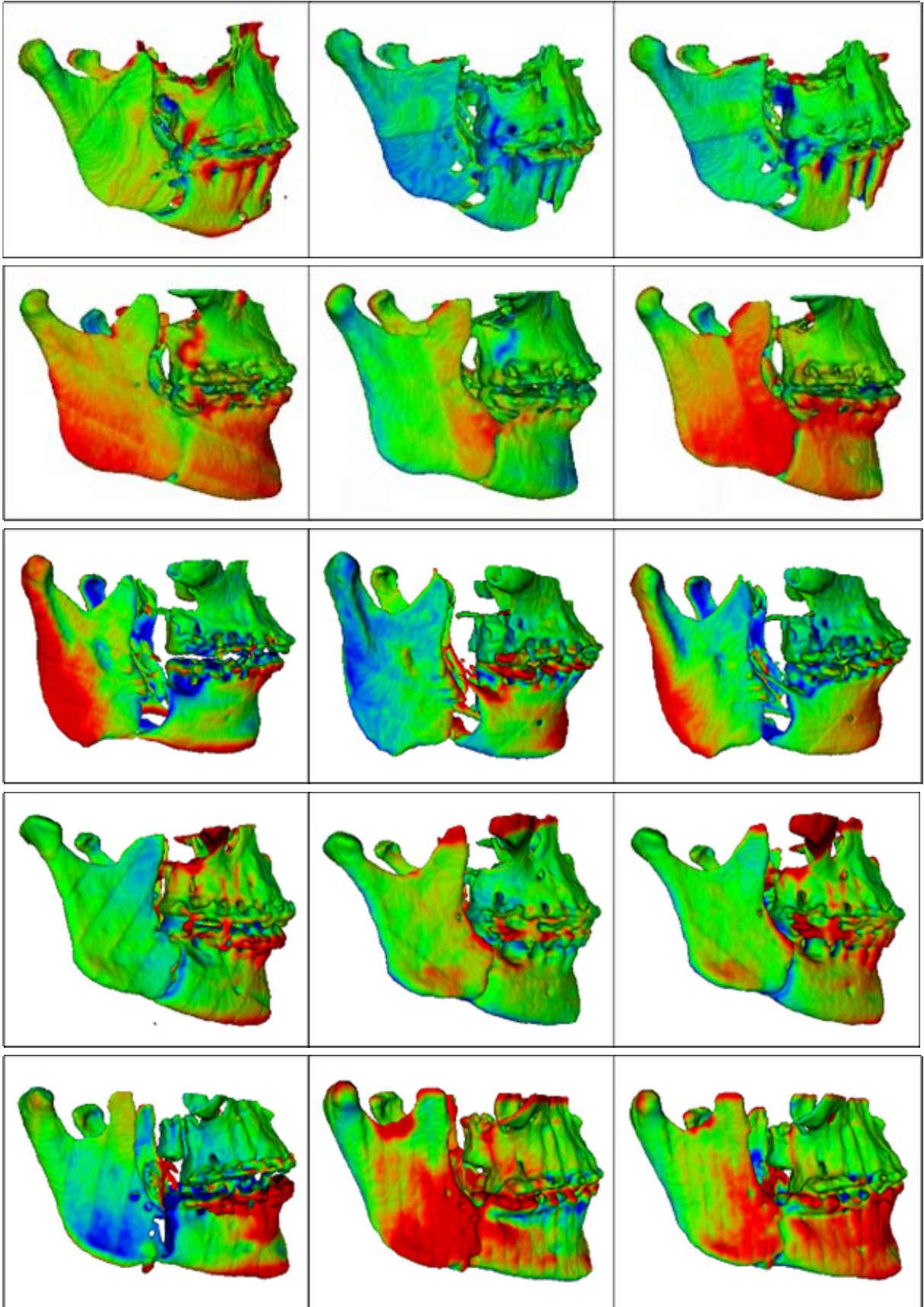




**APÊNDICE A** - Pacientes 11 a 15: superposições com mapas coloridos entre T1-T2 (esquerda), T2-T3 (centro) e T1-T3 (direita).

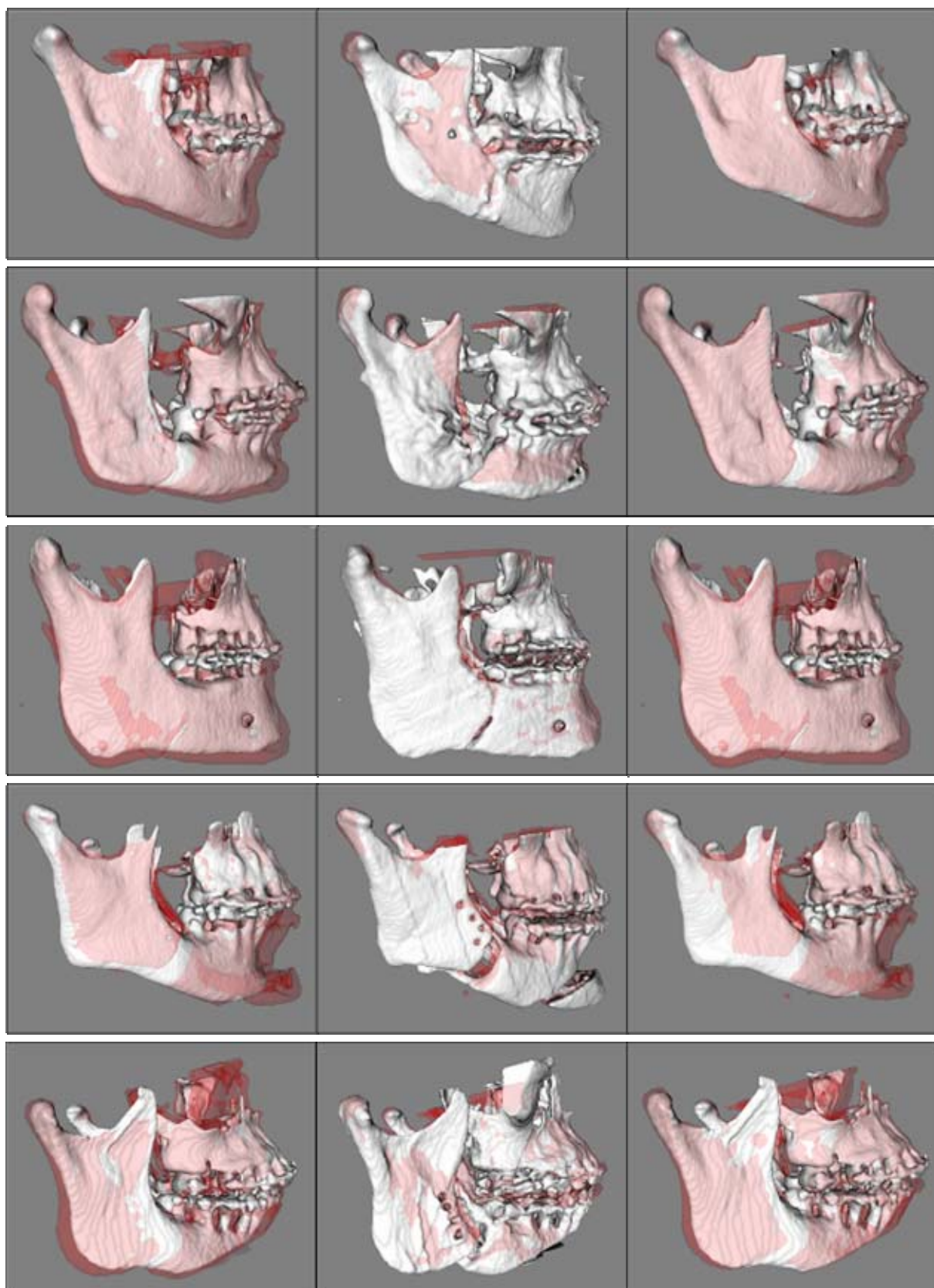


**APÊNDICE A** - Pacientes 16 a 20: superposições com mapas coloridos entre T1-T2 (esquerda), T2-T3 (centro) e T1-T3 (direita).

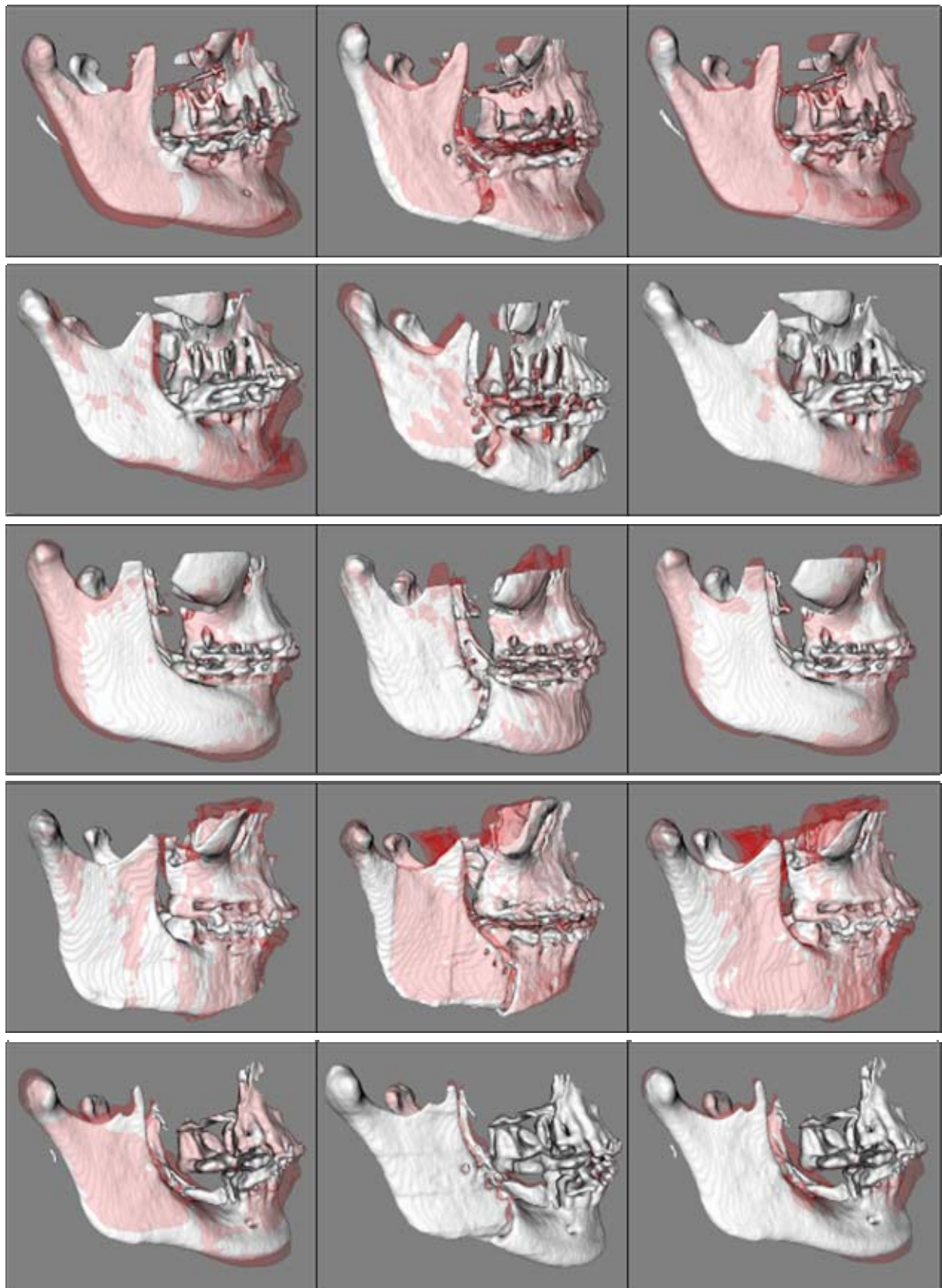




**APÊNDICE B** - Pacientes 1 a 5: superposições com semi-transparências entre T1-T2 (esquerda), T2-T3 (centro) e T1-T3 (direita).

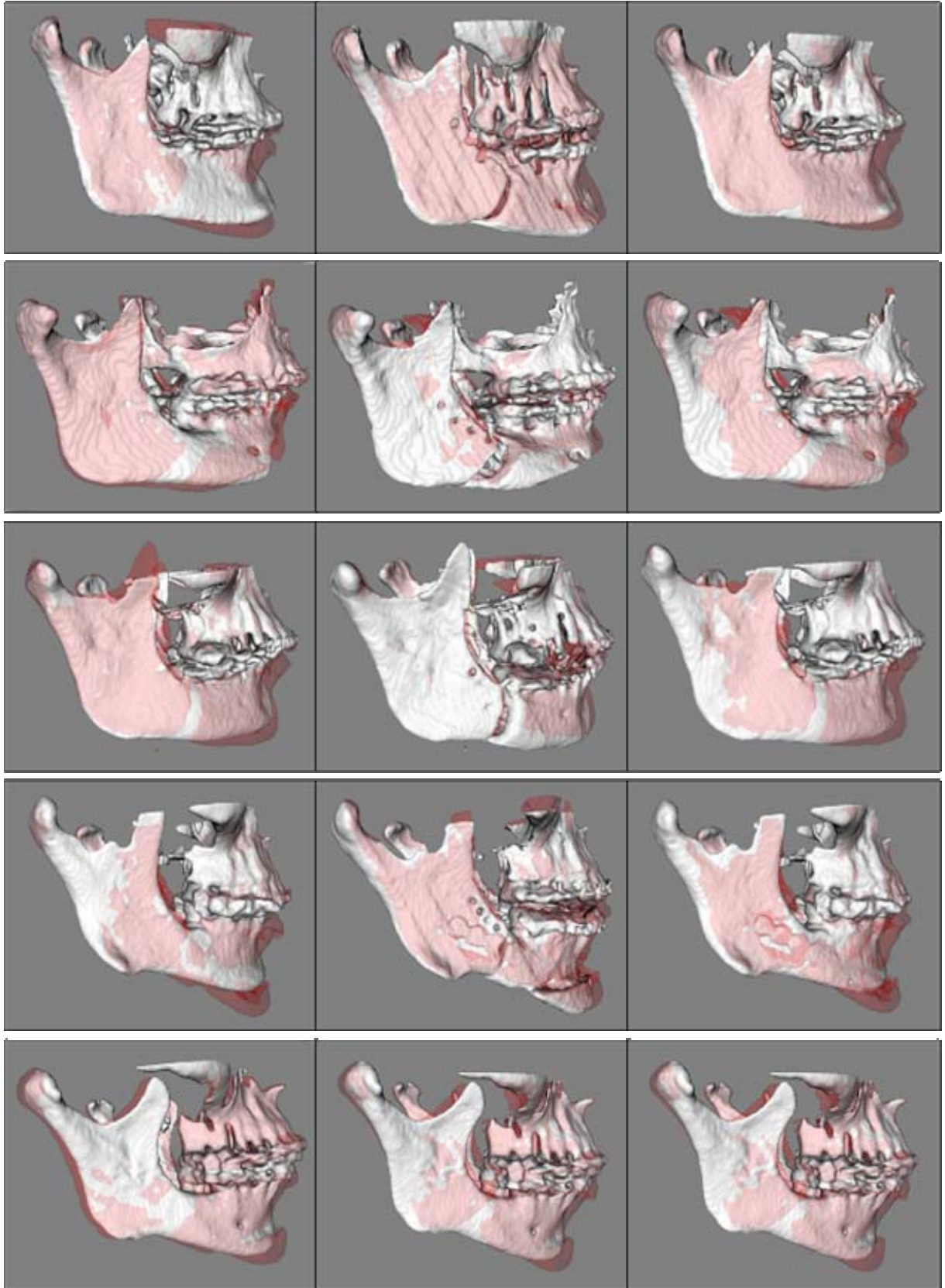


**APÊNDICE B** - Pacientes 6 a 10: superposições com semi-transparências entre T1-T2 (esquerda), T2-T3 (centro) e T1-T3 (direita).





**APÊNDICE B** - Pacientes 11 a 15: superposições com semi-transparências entre T1-T2 (esquerda), T2-T3 (centro) e T1-T3 (direita).



**APÊNDICE B** - Pacientes 16 a 20: superposições com semi-transparências entre T1-T2 (esquerda), T2-T3 (centro) e T1-T3 (direita).

