



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro Biomédico

Faculdade de Odontologia

Nathália Barbosa Palomares

**Alterações dento-esqueléticas associadas aos aparelhos *Twin Block* e *Herbst*
com e sem ancoragem esquelética no tratamento da má oclusão Classe II:
um ensaio clínico randomizado**

Rio de Janeiro

2019

Nathália Barbosa Palomares

Alterações dento-esqueléticas associadas aos aparelhos *Twin Block* e *Herbst* com e sem ancoragem esquelética no tratamento da má oclusão Classe II: um ensaio clínico randomizado

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.

Orientadores: Prof. Dr. José Augusto Mendes Miguel

Prof. Dr. Klaus Barretto dos Santos Lopes Batista

Rio de Janeiro

2019

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/BIBLIOTECA CB/B

P181 Palomares, Nathália Barbosa.
Alterações dento-esqueléticas associadas aos aparelhos *Twin Block* e *Herbst* com e sem ancoragem esquelética no tratamento da má oclusão classe II : um ensaio clínico randomizado. / Nathália Barbosa Palomares. – 2019.
223 f.

Orientadores: José Augusto Mendes Miguel, Klaus Barretto dos Santos Lopes Batista

Tese (doutorado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Odontologia.

1. Má oclusão de Angle classe II. 2. Ossos faciais - crescimento e desenvolvimento. 3. Desenvolvimento Maxilofacial. 4. Aparelhos ortodônticos. 5. Tomografia computadorizada de feixe cônico. 6. Ensaio clínico controlado aleatório. I. Miguel, José Augusto Mendes. II. Batista, Klaus Barretto dos Santos Lopes. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Odontologia. IV. Título.

CDU
616.314

Bibliotecária: Adriana Caamaño CRB7/5235

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

Assinatura

Data

Nathália Barbosa Palomares

Alterações dento-esqueléticas associadas aos aparelhos *Twin Block* e *Herbst* com e sem ancoragem esquelética no tratamento da má oclusão Classe II: um ensaio clínico randomizado

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.

Aprovada em 17 de outubro de 2019.

Orientadores:

Prof. Dr. José Augusto Mendes Miguel

Faculdade de Odontologia – UERJ

Prof. Dr. Klaus Barretto dos Santos Lopes Batista

Faculdade de Odontologia – UERJ

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Felipe de Assis Ribeiro Carvalho

Faculdade de Odontologia – UERJ

Profa. Dra. Flavia Raposo Gebara Artese

Faculdade de Odontologia – UERJ

Prof. Dr. Alexandre Trindade Simões da Motta

Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Bernardo Quiroga Souki

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Prof. Dr. Lincoln Issamu Nojima

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro

2019

DEDICATÓRIA

A meus pais, pelo apoio incondicional e exemplo de amor, coragem e perseverança.

AGRADECIMENTOS

A meus queridos pais, Rosângela e Raúl, que sempre me estimularam na busca incessante por conhecimento e evolução, com muito amor. Vocês são um exemplo de força, persistência e tenacidade. Obrigada a toda a minha família por todo o carinho, paciência e compreensão com as minhas ausências durante todos esses anos de pós-graduação! A meu avô Papá Victor, *in memoriam*, pelos valores familiares transmitidos, sempre presente como uma inspiração pelo estímulo constante ao estudo.

Ao Prof. Dr. José Augusto Mendes Miguel, pela orientação dedicada à elaboração deste e de outros trabalhos, sempre com muita compreensão e amizade, que me motiva e desafia continuamente há treze anos, durante os cursos de Graduação, Especialização, Mestrado e Doutorado. Muito obrigada pelos ensinamentos acadêmicos, profissionais e pessoais, dados com carinho e experiência!

Ao Prof. Dr. Klaus Barreto Lopes, pela orientação cuidadosa desta tese e pelos ensinamentos acadêmicos e pessoais durante esses quatro anos de Doutorado, que sempre me transmitiu perseverança e otimismo.

Ao coordenador do curso de Doutorado em Ortodontia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), prof. Dr. Jonas Capelli Junior, pelos ótimos desafios propostos durante o curso e pela compreensão com a extensão do prazo da defesa desta tese.

Aos meus queridos amigos e pacientes, por todo o carinho, amizade, apoio, otimismo, confiança e preces, que me motivaram ao longo do caminho.

À colega de linha de pesquisa, Profa. Dra. Tatiana Araújo, pela ótima colaboração e intercâmbio de conhecimentos durante a coleta de dados desta pesquisa. Muito obrigada pelo apoio e envio dos dados coletados previamente ao meu ingresso na linha de pesquisa.

Um agradecimento especial ao prof. Dr. Felipe de Assis Ribeiro Carvalho pelos ensinamentos dados durante a etapa de execução da metodologia desta tese, nos programas Dolphin Imaging® e Geomagic Qualify®.

Aos demais professores do curso de Pós-graduação em Ortodontia da Faculdade de Odontologia da UERJ: Dr. Alvaro Mendes, Dr. Alvaro Francisco Carrielo Fernandes, Dr^a. Cátia Abdo Quintão, Dra. Cristiane Canavarro Martins, Dr^a. Flavia Raposo Gebara Artese, Dr. Marco Antônio de Oliveira Almeida, Dr^a. Maria Teresa de Andrade Goldner, Dr^a. Rhita Cristina Cunha Almeida e Dr^a. Vera Lucia Cosendey Corte-Real, pelos quais tenho grande

respeito e admiração. Obrigada pelos ensinamentos transmitidos e pelo estímulo em buscar novos desafios ortodônticos.

À Fundação Carlos Chagas Filho (FAPERJ), pela concessão da bolsa de estudos de Doutorado durante três anos, e de Doutorado Nota 10 no último ano do curso.

Aos eminentes professores Dr. Alexandre Trindade Simões da Motta, Dr. Bernardo Souki, Dr^a. Cristiane Canavarro Martins, Dr. Felipe de Assis Ribeiro Carvalho, Dr^a. Flavia Raposo Gebara Artese e Dr. Lincoln Issamu Nojima, que prontamente aceitaram participar da banca de defesa desta tese. A trajetória acadêmica de vocês inspira a todos nós, ortodontistas e pesquisadores, na busca constante pela excelência profissional.

À prof. Dra. Rhita Cristina Cunha Almeida, pela cuidadosa revisão final desta dissertação durante a pré-defesa e por aceitar participar da banca de defesa desta tese. Suas observações foram essenciais para o refinamento final deste trabalho. Agradeço por toda a sua compreensão e apoio.

Ao professor Dr. Ronir Raggio Luiz, pela orientação atenciosa na análise estatística desta tese.

Aos colegas de Doutorado Andressa Otranto, Diego Santos, Raquel Medeiros, Livia Nunes, Sérgio Caetano e Daniela Notaroberto, pela ótima convivência e apoio mútuo.

A todos os alunos do curso de Especialização em Ortodontia da UERJ, com os quais convivi durante o atendimento clínico e a apresentação de seminários dos pacientes da amostra desta pesquisa, desde 2015. Muito obrigada pelo carinho, troca de conhecimentos e convivência agradável, que tive com todos vocês.

A todos os meus ex-alunos da Graduação em Odontologia da UERJ, com os quais tive uma convivência inesquecível durante o Estágio Docente do Mestrado e do Doutorado.

Às funcionárias da Clínica de Ortodontia da UERJ: Fernanda Galvão e Isabel Cristina, por serem tão prestativas e solícitas. Um agradecimento especial à Fernanda, por colaborar na randomização da amostra. Muito obrigada!

O mundo deveria ser um belo lugar para uma criança viver. E se alguma criança for prejudicada por um problema dentofacial que esteja impedindo sua felicidade, nós, ortodontistas, devemos dedicar todos os esforços possíveis para restaurar esta felicidade.

Charles Tweed

RESUMO

PALOMARES, Nathália Barbosa. *Alterações dentoesceléticas associadas aos aparelhos Twin Block e Herbst com e sem ancoragem esquelética no tratamento da má oclusão Classe II: um ensaio clínico randomizado*. 2019. 223 f. Tese (Doutorado em Odontologia) - Faculdade de Odontologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

O objetivo deste ensaio clínico randomizado foi comparar os efeitos dentoesceléticos associados ao tratamento da má oclusão de Classe II de Angle 1ª divisão com propulsores mandibulares removíveis, fixos e associados à ancoragem esquelética. Após o exame de 1039 indivíduos, foram incluídos 34 pacientes Classe II de Angle, 1ª divisão com *overjet* ≥ 6 mm, de 10 a 14 anos, no pico do surto de crescimento puberal e sem tratamento ortodôntico prévio. Estes pacientes foram distribuídos de forma randomizada em três grupos: (TB) tratado com aparelho removível de Twin Block (n = 13); (HAD) tratado com aparelho fixo cimentado de Herbst (n = 11); e (HAE) tratado com aparelho de Herbst associado a dois mini-implantes mandibulares (n = 10). Foram analisadas tomografias de feixe cônico antes da instalação do propulsor (T1) e após 12 meses de tratamento (T2). No programa ITK-SNAP®, foram construídos modelos 3D da maxila, mandíbula, incisivos centrais e 1ºs molares. No programa Dolphin Imaging®, foram gerados modelos 3D totais do tecido duro de T1 e T2, com orientação de cabeça padronizada e registro na base craniana anterior. O Modelo de Transferência de Coordenadas (MTC) foi obtido a partir do recorte padronizado do tecido mole de T1, nos planos axial, sagital e coronal. No programa Geomagic Qualify®, os modelos 3D parciais foram alinhados à posição espacial dos modelos 3D totais orientados e registrados. Foi utilizado um método automático para determinar os pontos centroides, que representaram a posição espacial de todas as estruturas anatômicas avaliadas. Os deslocamentos dos centroides entre T1 e T2 foram analisados no sistema de coordenados cartesiano elaborado com base no MTC. Para análise do crescimento maxilar e do mento foi utilizado o registro craniano; para a movimentação dentária e crescimento condilar, foram adotados os registros regionais em maxila e mandíbula. O teste de Wilcoxon avaliou as diferenças intra-grupo e o teste de Kruskal Wallis analisou as diferenças intergrupos das alterações esqueléticas e dentárias. Foram comparados os índices de sucesso na correção da sobressaliência e relação molar. Foi detectada restrição de crescimento anteroposterior da maxila (HAE: $-0,26 \pm 2,88$ mm; TB $-0,25 \pm 0,66$ mm; HAD: $0,18 \pm 0,87$ mm) e crescimento mandibular anteroposterior (HAE: $4,21 \pm 2,96$ mm; HAD: $3,49 \pm 3,74$ mm; TB: $1,24 \pm 3,36$ mm). No arco superior, foi observada mínima movimentação de incisivos e 1ºs molares (≤ 1 mm nos 3 planos). Os principais efeitos dentários ocorreram no arco inferior, na perda de ancoragem (HAD: $1,73 \pm 0,64$ mm; TB: $1,45 \pm 1,13$ mm; HAE: $1,07 \pm 0,23$ mm) e mínima projeção dos incisivos centrais (HAE: $0,93 \pm 0,08$ mm; HAD: $0,54 \pm 0,36$ mm; TB: $0,27 \pm 0,18$ mm). Quanto à eficácia, a maior correção do *overjet* foi obtida pelos grupos HAD ($-4 \pm 1,65$ mm) e HAE ($-4 \pm 1,47$ mm), seguidos pelo TB ($-3 \pm 3,25$ mm). Na relação molar, a maior eficácia foi do grupo HAE (100% de sucesso, sobrecorreção de 85,7%), seguido pelo HAD (100% de sucesso, sobrecorreção de 70%), e TB (55,6% de sucesso). Concluiu-se que o aparelho de Herbst associado aos mini-implantes obteve maior eficácia na correção predominantemente esquelética da má oclusão de Classe II 1ª divisão, do que os aparelhos de Herbst e Twin Block, após 12 meses de tratamento.

Palavras-chave: Má oclusão de Angle Classe II. Aparelhos propulsores mandibulares.

Crescimento craniofacial. Tomografia computadorizada de feixe cônico.

ABSTRACT

PALOMARES, Nathália Barbosa. *Dentoskeletal changes associated to Twin Block and Herbst appliances with and without skeletal anchorage in the Class II malocclusion treatment: a randomized clinical trial*. 2019. 223 f. Tese (Doutorado em Odontologia) - Faculdade de Odontologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

The aim of this randomized controlled trial was to compare the dentoskeletal effects associated to the treatment of Angle Class II 1st division with removable, fixed and skeletal anchored functional appliances. After the clinical examination of 1039 individuals, 34 patients with Angle Class II, 1st Division, overjet ≥ 6 mm, 10 to 14 years old, at the peak of the pubertal growth spurt and no history of orthodontic treatment were included. These patients were randomized into three groups: (TB) treated with removable Twin Block appliance (n = 13); (HAD) treated with fixed cemented Herbst appliance (n = 11); and (HAE) treated with Herbst appliance associated to two mandibular mini implants (n = 10). Cone-beam CT scans were obtained before (T1) and after 12 months of treatment (T2). In the ITK-SNAP[®] software, 3D models of the maxilla, mandible, central incisors and 1st molars were built. In the Dolphin Imaging[®] software, full 3D models of T1 and T2 hard tissue were generated, with standardized head orientation and registration in the anterior cranial base. The Coordinate Transfer Model (CTM) was obtained from the T1 soft tissue, with standardized slices in the axial, sagittal and coronal planes. In the Geomagic Qualify[®] software, the partial 3D models were aligned to the spatial position of the oriented and registered full 3D models. An automatic method was used to determine centroid points, which represented the spatial position of all evaluated anatomical structures. Centroid displacements between T1 and T2 were analyzed using the Cartesian coordinate system based on the CTM. The cranial register was used to analyze the growth of maxilla and chin; to measure tooth movement and condylar growth, the regional register in the maxilla and mandible were adopted. The Wilcoxon test assessed intra-group differences and the Kruskal Wallis test analyzed intergroup differences in skeletal and dental changes. Success rates for overjet correction and molar relationship were compared. Anteroposterior maxillary growth restriction was detected (HAE: -0.26 ± 2.88 mm; TB -0.25 ± 0.66 mm; HAD: 0.18 ± 0.87 mm) and also anteroposterior mandibular growth (HAE: 4.21 ± 2.96 mm; HAD: 3.49 ± 3.74 mm; TB: 1.24 ± 3.36 mm). In the upper arch, minimal movement of incisors and 1st molars was observed (≤ 1 mm in the 3 planes). The main dental effects occurred in the lower arch, in the anchorage loss (HAD: 1.73 ± 0.64 mm; TB: 1.45 ± 1.13 mm; HAE: 1.07 ± 0.23 mm) and minimal projection of central incisors (HAE: 0.93 ± 0.08 mm; HAD: 0.54 ± 0.36 mm; TB: 0.27 ± 0.18 mm). The highest overjet correction was obtained by the HAD (-4 ± 1.65 mm) and HAE (-4 ± 1.47 mm) groups, followed by TB (-3 ± 3.25 mm). In the molar relationship, the highest efficacy was in the HAE group (100% successful, 85.7% overcorrected), followed by HAD (100% successful, 70% overcorrected), and TB (55.6% successful). It was concluded that the Herbst appliance associated with mini-implants had greater efficacy in predominantly skeletal correction of Class II 1st division malocclusion than the Herbst and Twin Block appliances after 12 months of treatment.

Keywords: Malocclusion, Angle Class II. Functional appliances. Craniofacial growth.

Cone-Beam Computed Tomography.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Ilustração da relação molar de Classe I e das possíveis variações anteroposteriores de gravidade da má oclusão Classe II.....	22
Quadro 1 -	Descrição das 14 revisões sistemáticas e metanálises incluídas na revisão sistemática de D`Antò et al. ²³	34
Figura 2 -	Imagens de cortes de tomografia computadorizada de um crânio humano nos planos coronal, axial e sagital	52
Figura 3 -	Representação esquemática das unidades que compõem a imagem da tomografia computadorizada tradicional: pixel e voxel.....	53
Figura 4 -	Exemplos das opções de pós processamento das imagens	56
Figura 5 -	Diferentes formas de visualização das alterações do tratamento com sobreposição de modelos de superfície 3D registrados.....	60
Figura 6 -	Exemplo de quantificação de mudanças pelo método dos mapas coloridos.....	61
Figura 7 -	Exemplo do efeito da mudança da posição da cabeça no deslocamento de um ponto	62
Figura 8 -	Aparelho funcional Twin Block utilizado no grupo TB	82
Figura 9 -	Aparelho de Herbst utilizado no grupo HAD	84
Figura 10 -	Aparelho de Herbst associado à ancoragem esquelética utilizado no grupo HAE	85
Figura 11 -	Fotografia do tomógrafo utilizado para aquisição das tomografias.....	86
Figura 12 -	Imagem da interface do programa ITK-SNAP para ajuste do <i>Thresholding</i> durante a segmentação dos incisivos centrais inferiores, como exemplo.....	88
Figura 13 -	Imagem da interface do programa ITK-SNAP para ajuste do <i>Edge Attraction</i> durante a segmentação dos côndilos.....	88
Figura 14 -	Imagem da interface do programa ITK-SNAP exibindo os modelos 3D...	89
Figura 15 -	Modelos 3D construídos no ITK-SNAP a partir das tomografias.....	89
Figura 16 -	Fluxograma dos procedimentos efetuados no programa ITK-SNAP.....	90
Figura 17 -	Orientação da cabeça efetuada nas tomografias T1 dos pacientes.....	92

Figura 18 -	Reprodução da interface do programa Dolphin Imaging® que mostra a tomografia T2 superposta na base anterior do crânio de T1.....	94
Figura 19 -	Imagens dos modelos 3D do tecido duro de T1 obtidos no Dolphin Imaging®	95
Figura 20 -	Visualização do modelo de tecido mole de T1 gerado no programa Dolphin Imaging®	97
Figura 21 -	Planos axial, coronal e sagital do Modelo de Transferência do Sistema de Coordenadas (MTC).....	98
Figura 22 -	Fluxograma dos procedimentos efetuados no programa Dolphin Imaging	99
Figura 23 -	Modelos importados para o Geomagic Qualify.....	100
Figura 24 -	Fluxograma das etapas metodológicas efetuadas no Geomagic Qualify....	101
Figura 25 -	Reprodução da interface principal do programa Geomagic Qualify 2013.	102
Figura 26 -	Ferramenta utilizada para criar os planos axial, coronal e sagital no MTC	104
Figura 27 -	Marcação dos 3 pontos na superfície para criar os planos axial, coronal e sagital alinhados às superfícies recortadas do MTC.....	104
Figura 28 -	Ferramenta utilizada para associar os planos criados no MTC aos eixos das coordenadas do programa Geomagic.....	105
Figura 29 -	Interface do programa Geomagic Qualify que mostra os eixos X, Y e Z orientados aos planos axial, coronal e sagital do MTC.....	105
Figura 30 -	Reprodução da interface do Geomagic Qualify na seleção da ferramenta utilizada para calcular o ponto centroide das estruturas analisadas.....	107
Figura 31 -	Reprodução da interface do Geomagic Qualify na visualização do centroide criado para os incisivos inferiores.....	107
Figura 32 -	Visualização dos centroides criados para o 46 em T1 e T2.....	108
Figura 33 -	Sequência de recortes efetuados nos modelos 3D de T1 e T2 da maxila...	109
Figura 34 -	Corticais externas das maxilas de T1 e T2 com os respectivos centroides.	109
Figura 35 -	Aspecto dos modelos 3D detalhados das mandíbulas.....	110
Figura 36 -	Recortes efetuados na mandíbula: côndilo direito, côndilo direito e mento.....	111
Figura 37 -	Modelos T1 e T2 de côndilo direito e mento com os respectivos centroides.....	112
Figura 38 -	Etapas do registro do modelo 3D combinado de maxila e dentes superiores de T2 na cortical da maxila de T1.....	113

Figura 39 -	Etapas do registro do incisivo superior de T2 no modelo 3D combinado de T2.....	114
Figura 40 -	Etapas do registro regional do modelo 3D combinado de mandíbula com dentes inferiores de T2 na mandíbula de T1.....	115
Figura 41 -	Etapas do registro do incisivo inferior de T2 no modelo 3D combinado mandibular de T2.....	116
Figura 42 -	Interface do programa Geomagic Qualify que exibe as coordenadas do ponto centroide do incisivo inferior em T1 nos eixos X, Y e Z.....	117
Figura 43 -	Interface do programa Geomagic Qualify que exibe as coordenadas do ponto centroide do incisivo inferior em T2, nos eixos X, Y e Z.....	118
Figura 44 -	Relação espacial entre o MTC, o sistema de coordenadas cartesianas criado e as estruturas anatômicas avaliadas de um paciente da amostra....	119
Figura 45 -	Semi-transparências da cortical externa da maxila em T1 e T2.....	120
Figura 46 -	Semi-transparências do mento e côndilos em T1 e T2.....	120
Figura 47 -	Semi-transparências de incisivos em T1 e T2.....	121
Figura 48 -	Semi-transparências e centroides de 1 ^{os} molares em T1 e T2.....	121
Figura 49 -	Pontos cefalométricos utilizados	122
Quadro 2 -	Medidas cefalométricas dentárias e esqueléticas utilizadas.....	123
Quadro 3 -	Descrição, tipo e categoria das variáveis dependentes utilizadas no estudo.....	124
Quadro 4 -	Descrição, tipo e categoria das variáveis independentes utilizadas no estudo.....	126
Quadro 5 -	Descrição do tipo de registro tomográfico efetuado para a avaliação das variáveis independentes utilizadas no estudo.....	126
Figura 50 -	Fluxograma do estudo (modelo do CONSORT STATEMENT).....	128
Figura 51 -	Diagrama de resultados esqueléticos e dentários do grupo TB.....	134
Figura 52 -	Diagrama de resultados esqueléticos e dentários do grupo HAD.....	139
Figura 53 -	Diagrama de resultados do esqueléticos e dentários grupo HAE.....	143
Figura 54 -	Diagrama de diferenças de resultados entre os grupos TB, HAD e HAE..	154
Figura 55 -	Alteração da sobressaliência e da relação molar de T1 para T2.....	155
Figura 56 -	Diferença da relação entre incisivos centrais inferiores em T1 e T2, sob registro na base do crânio e sob registro regional mandibular.....	159

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -	<i>Box plot</i> com representação dos valores das diferenças do deslocamento dos centroides da maxila entre os grupos	146
Gráfico 2 -	<i>Box plot</i> com representação dos valores das diferenças do deslocamento dos centroides do mento entre os grupos.....	146
Gráfico 3 -	<i>Box plot</i> com representação dos valores das diferenças do deslocamento dos centroides do côndilo direito entre os grupos.....	147
Gráfico 4 -	<i>Box plot</i> com representação dos valores das diferenças do deslocamento dos centroides do côndilo esquerdo entre os grupos...	147
Gráfico 5 -	<i>Box plot</i> com representação dos valores das diferenças do deslocamento dos centroides dos incisivos centrais inferiores entre os grupos.....	151
Gráfico 6 -	<i>Box plot</i> com representação dos valores das diferenças do deslocamento dos centroides do elemento 36 entre os grupos.....	151
Gráfico 7 -	<i>Box plot</i> com representação dos valores das diferenças do deslocamento dos centroides do elemento 46 entre os grupos.....	152
Gráfico 8 -	<i>Box plot</i> com representação dos valores das diferenças do deslocamento dos centroides dos incisivos centrais superiores entre os grupos.....	152
Gráfico 9 -	<i>Box plot</i> com representação dos valores das diferenças do deslocamento dos centroides dos elemento 16 entre os grupos.....	153
Gráfico 10 -	<i>Box plot</i> com representação dos valores das diferenças do deslocamento dos centroides do elemento 26 entre os grupos.....	153

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Idade cronológica e distribuição de gênero dos grupos avaliados.....	130
Tabela 2 -	Comparação dos dados cefalométricos esqueléticos e dentários dos grupos em T1.....	130
Tabela 3 -	Análise da diferença do posicionamento do centroide das estruturas esqueléticas entre T1 e T2 no Grupo TB.....	131
Tabela 4 -	Análise da diferença do posicionamento do centroide das estruturas dentárias entre T1 e T2 no Grupo TB.....	132
Tabela 5 -	Análise da diferença do posicionamento do centroide das estruturas esqueléticas entre T1 e T2 no Grupo HAD.....	135
Tabela 6 -	Análise da diferença do posicionamento do centroide das estruturas dentárias entre T1 e T2 no Grupo HAD.....	137
Tabela 7 -	Análise da diferença do posicionamento do centroide das estruturas esqueléticas entre T1 e T2 no Grupo HAE.....	140
Tabela 8 -	Análise da diferença do posicionamento do centroide das estruturas dentárias entre T1 e T2 no Grupo HAE.....	141
Tabela 9 -	Análise da diferença do posicionamento do centroide das estruturas esqueléticas entre T1 e T2 nos grupos avaliados.....	144
Tabela 10 -	Análise da diferença do posicionamento do centroide das estruturas dentárias entre T1 e T2 entre os três grupos.....	148
Tabela 11 -	Análise intra-grupo das alterações detectadas no <i>overjet</i> dos pacientes entre T1 e T2.....	155
Tabela 12 -	Comparação entre os grupos na redução do <i>overjet</i> entre T1 e T2.....	156
Tabela 13 -	Índice de sucesso na correção molar dos grupos.....	156
Tabela 14 -	Relação entre as coordenadas Y das estruturas avaliadas com os casos de sucesso e insucesso na correção da Classe II de Angle.....	158
Tabela 15 -	Deslocamento dentário anteroposterior ocorrido entre T1 e T2: total e dividido entre os componentes esquelético e dentário.....	160

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMSTAR	<i>Assessment of Multiple Systematic Reviews</i>
2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
CEP	Comitê de ética em pesquisa
DICOM	<i>Digital Imaging and Communication in Medicine</i>
ECC	Ensaio clínico controlado
ECR	Ensaio clínico randomizado
GIPL	<i>Guys Image Processing Lab</i>
HAD	Herbst com Ancoragem Dentária
HAE	Herbst com Ancoragem Esquelética
HUPE	Hospital Universitário Pedro Ernesto
MIH	Máxima Intercuspidação Habitual
MTC	Modelo de Transferência do Sistema de Coordenadas
n	Número de indivíduos da amostra
PNC	Posição Natural da Cabeça
STL	<i>Stereolithography</i>
T1	Tempo pré-tratamento
T2	Tempo após 12 meses de tratamento
TB	Twin Block
TCFC	Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	19
1	REVISÃO DA LITERATURA	22
1.1	Características e etiologia da má oclusão de Classe II de Angle	22
1.2	Tipos de tratamento da má oclusão de Classe II de Angle	27
1.3	Efeitos dento-esqueléticos dos propulsores mandibulares removíveis, fixos e associados à ancoragem esquelética por estudos cefalométricos 2D	29
1.4	Evolução da imagiologia em Ortodontia: do 2D ao 3D	50
1.4.1	<u>Histórico da cefalometria 2D</u>	50
1.4.2	<u>Histórico da tomografia computadorizada convencional e de feixe cônico</u>	52
1.4.3	<u>Pós processamento das imagens de CBCT e CT: visualização e construção de modelos 3D</u>	55
1.4.4	<u>Superposição de imagens 3D</u>	57
1.5	Mudanças dento-esqueléticas associadas aos aparelhos ortopédicos funcionais Twin Block e de Herbst por estudos com metodologia 3D	65
1.5.1	<u>Estudos com metodologia 3D sobre os efeitos esqueléticos e dentários do tratamento com aparelho Twin Block</u>	65
1.5.2	<u>Estudos com metodologia 3D sobre os efeitos esqueléticos e dentários do tratamento com aparelho de Herbst</u>	67
2	PROPOSIÇÃO	75
3	MATERIAL E MÉTODO	76
3.1	Aspectos éticos	76
3.2	Tipo de estudo	76
3.3	Sujeitos da pesquisa	77
3.3.1	<u>Critérios de inclusão</u>	78
3.3.1.1	Grupos TB, HAD e HAE.....	78
3.3.2	<u>Critérios de exclusão</u>	79
3.3.2.1	Grupos TB, HAD e HAE.....	79
3.3.3	<u>Distribuição randomizada dos pacientes nos grupos</u>	79
3.4	Documentação ortodôntica pré e pós-tratamento e intervenções efetuadas	80
3.4.1	<u>Intervenções efetuadas no Grupo TB</u>	80

3.4.2	<u>Intervenções efetuadas no Grupo HAD</u>	82
3.4.3	<u>Intervenções efetuadas no Grupo HAE</u>	84
3.5	Protocolo de aquisição das imagens tomográficas	86
3.6	Análise 3D das imagens tomográficas	87
3.6.1	<u>Construção de modelos de superfície 3D no programa ITK-SNAP</u>	87
3.6.2	<u>Etapas metodológicas efetuadas no programa Dolphin Imaging®</u>	91
3.6.2.1	Orientação da cabeça nas tomografias T1.....	91
3.6.2.2	Registro rígido das tomografias T1 e T2 baseados em <i>voxel</i> na base anterior do crânio	93
3.6.2.3	Criação do Modelo para Transferência das Coordenadas (MTC) dos planos cartesianos.....	96
3.6.3	<u>Etapas metodológicas efetuadas no programa Geomagic Qualify®</u>	100
3.6.3.1	Orientação dos modelos 3D parciais precisos (gerados pelo ITK-SNAP) nos modelos 3D totais orientados e registrados (gerados pelo Dolphin Imaging).....	102
3.6.3.2	Orientação dos modelos 3D nos planos cartesianos: utilização do MTC para criar o Sistema de Coordenadas no Geomagic Qualify®	103
3.6.3.3	Criação automática do ponto centroide dos modelos 3D das estruturas dentárias: incisivos centrais e primeiros molares superiores e inferiores.....	106
3.6.3.4	Recorte e criação automática do ponto centroide da maxila.....	108
3.6.3.5	Recorte e criação automática do ponto centroide das regiões mandibulares: mento, côndilo esquerdo e côndilo direito.....	110
3.6.3.6	Registro regional de maxila para avaliar movimentação superior estritamente dentária.....	112
3.6.3.7	Registro regional mandibular para avaliar o crescimento condilar e a movimentação estritamente dentária.....	114
3.6.3.8	Avaliação quantitativa dos deslocamentos dos centroides dos modelos 3D das estruturas esqueléticas e dentárias entre T1 e T2.....	117
3.7	Análise cefalométrica das tomografias T1	122
3.8	Calibração	123
3.9	Variáveis do estudo	124
3.10	Análise estatística	127
4	RESULTADOS	128
4.1	Pacientes que concluíram e não concluíram o tratamento	128

4.2	Cálculo amostral.....	129
4.3	Equivalência dos grupos TB, HAD e HAE antes do tratamento (T1): comparação das características etárias, de gênero, esqueléticas e dentárias	129
4.4	Análise intra-grupo das diferenças dos resultados de T1 para T2.....	130
4.4.1	<u>Avaliação da diferença do posicionamento dos centroides em T1 e T2 no Grupo TB.....</u>	131
4.4.2	<u>Avaliação da diferença do posicionamento dos centroides entre T1 e T2 no Grupo HAD</u>	135
4.4.3	<u>Avaliação da diferença do posicionamento dos centroides entre T1 e T2 no Grupo HAE.....</u>	139
4.5	Análise intergrupos dos deslocamentos dos centroides de T1 para T2.....	144
4.6	Alteração da sobressaliência e da relação molar de T1 para T2.....	154
4.7	Análise da diferença no deslocamento anteroposterior das estruturas avaliadas entre os casos de sucesso e insucesso.....	157
4.8	Componentes esqueléticos e dentários na correção da má oclusão Classe II de Angle.....	159
5	DISCUSSÃO	162
5.1	Do Material e Método.....	166
5.1.1	<u>Tipo de estudo e distribuição dos grupos.....</u>	166
5.1.2	<u>Plano de amostragem.....</u>	170
5.1.3	<u>Tomografias utilizadas para a avaliação pré e pós tratamento.....</u>	172
5.1.4	<u>Intervenções efetuadas.....</u>	172
5.1.5	<u>Análise 3D das imagens tomográficas.....</u>	173
5.1.6	<u>Calibração.....</u>	177
5.1.7	<u>Análise estatística.....</u>	178
5.2	Dos Resultados.....	179
5.2.1	<u>Resultados dos deslocamentos das estruturas esqueléticas e dentárias do aparelho de Twin Block.....</u>	180
5.2.2	<u>Resultados dos deslocamentos das estruturas esqueléticas e dentárias do aparelho de Herbst.....</u>	182
5.2.3	<u>Resultados dos deslocamentos das estruturas esqueléticas e dentárias do aparelho de Herbst associado à ancoragem esquelética.....</u>	184

5.2.4	<u>Comparação dos deslocamentos das estruturas avaliadas entre os aparelhos Twin Block, Herbst e Herbst com ancoragem esquelética.....</u>	185
5.2.5	<u>Resultados da comparação de eficácia.....</u>	188
5.2.6	<u>Resultados da análise da proporção de efeito esquelético e dentário.....</u>	189
5.3	Análise crítica.....	191
	CONCLUSÃO	194
	REFERÊNCIAS	195
	APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido Pós-informação	207
	APÊNDICE B - Sequência detalhada de comandos efetuados no programa ITK-SNAP.....	208
	APÊNDICE C - Sequência detalhada de comandos efetuados no programa Dolphin Imaging®	210
	APÊNDICE D - Sequência detalhada de comandos efetuados no programa Geomagic Qualify®	216
	ANEXO - Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa	223

INTRODUÇÃO

A má oclusão Classe II de Angle caracteriza-se pela posição distal dos primeiros molares inferiores em relação aos primeiros molares superiores. Pode estar associada a alterações esqueléticas como o retrognatismo mandibular, prognatismo maxilar ou uma posição posterior da fossa glenóide¹⁻³. Quanto maior a discrepância maxilomandibular, pior o impacto negativo na estética facial e na autoestima⁴. Especificamente na má oclusão Classe II 1ª divisão, a projeção acentuada dos incisivos superiores eleva o risco de trauma ou avulsão destes elementos⁵. Como esta má oclusão afeta 22% das crianças brasileiras⁶ e inglesas⁷, e 15% dos adolescentes nos EUA, a busca de tratamento ortodôntico por estes indivíduos é elevada².

Existem três principais modalidades de tratamento para os pacientes Classe II: modificação ortopédica do crescimento, camuflagem ortodôntica e o tratamento ortocirúrgico. Dentre estes, a modalidade mais eficaz e estável, que envolve menor morbidade é o controle ortopédico durante o surto de crescimento puberal. Desde o século XX, diversos dispositivos ortopédicos foram desenvolvidos para restringir o crescimento maxilar (como o aparelho extrabucal) e para estimular o crescimento mandibular com aparelhos funcionais.⁸

Como os estudos demonstraram que a maioria dos pacientes Classe II apresenta retrognatismo mandibular, diversos aparelhos funcionais fixos e removíveis que reposicionam a mandíbula anteriormente passaram a ser utilizados e testados em estudos clínicos: Bionator, Ativador, MARA, Regulador Funcional, Herbst, Twin Block, Jasper Jumper, Dynamax Fränkel-2 e Forsus, dentre outros. Dentre estes propulsores mandibulares, destacam-se os aparelhos Twin Block (removível) e o Herbst (fixo), devido à eficácia na correção da má oclusão Classe II de Angle relatada por diversos estudos clínicos.⁹⁻¹⁶

O aparelho removível Twin Block, desenvolvido por William Clark em 1982, é constituído por um componente superior e outro inferior, com blocos oclusais de acrílico que intercuspidam entre si para reposicionar a mandíbula anteriormente^{17,18}. A independência dos arcos superior e inferior é uma vantagem deste dispositivo em relação a outros aparelhos funcionais em monobloco, pois facilita a adaptação do paciente quanto à fala, o que eleva a taxa de sucesso. A desvantagem deste aparelho removível consiste na necessidade da cooperação do paciente quanto ao uso integral durante 9 a 12 meses¹⁹.

Tal limitação poderia ser contornada com a utilização de propulsores mandibulares fixos, como o aparelho de Herbst, introduzido por Emil Herbst, em 1909. Este dispositivo

metálico utiliza um sistema telescópico bilateral com pistão e tubo, soldado em bandas cimentadas nos dentes posteriores superiores e inferiores, que induzem o avanço mandibular com ancoragem intermaxilar recíproca, durante 6 a 12 meses. É gerada uma força com vetor de distalização dos dentes superiores e de projeção do arco inferior, com objetivo de estimular uma remodelação da articulação temporomandibular e o crescimento mandibular²⁰⁻²².

De acordo com a Odontologia Baseada em Evidências, todos os tratamentos amplamente utilizados devem ter um respaldo de evidência científica. Todavia, as revisões sistemáticas recentes^{21,23-25} que examinam a extensão dos efeitos esqueléticos e dentoalveolares na correção da Classe II com aparelhos funcionais fixos e removíveis mostram que os resultados dos estudos são controversos. Há evidência insuficiente para avaliar a eficácia dos aparelhos funcionais fixos e removíveis devido à baixa qualidade da maioria dos estudos existentes. Os estudos clínicos relatam taxas de correção do componente esquelético da Classe II com aparelhos funcionais muito variáveis, de 13% a 85%²⁶.

Estas variações podem ser devidas a vários fatores, tais como: deficiência de padronização na seleção dos pacientes incluídos nas amostras, heterogeneidade do tempo de tratamento, dos tipos de grupo controle (tratados e não tratados) e limitações das análises cefalométricas utilizadas. As análises dos dados cefalométricos sugeriram que todos os aparelhos funcionais obtiveram a correção da relação molar e redução da sobressaliência dentária dos pacientes, através de uma combinação de alterações esqueléticas clinicamente insignificantes, com estímulo do crescimento mandibular (aumento de $0,87^\circ$ /ano no ângulo SNB) e inibição do crescimento maxilar (redução de $0,83^\circ$ /ano no ângulo SNA)²⁵. Os efeitos foram mais pronunciados na dentição, com projeção dos incisivos inferiores e retroinclinação dos superiores. O estágio do crescimento puberal influenciou os resultados: nas fases pré-pico e pico, os resultados esqueléticos foram mais pronunciados; no pós-pico, os efeitos foram predominantemente dentoalveolares²⁵. Apesar disso, as revisões sistemáticas não utilizaram como critérios de inclusão os estudos que trataram paciente no pico do surto, e mesclaram resultados de pacientes com diversas faixas etárias, da infância ao final da adolescência, com diferentes potenciais de crescimento.

Desde 2009, o uso de ancoragem esquelética associada aos aparelhos funcionais fixos tem sido recomendado para potencializar as mudanças esqueléticas e reduzir o principal efeito colateral, de projeção dos incisivos inferiores. Em 2015, a metanálise de Elkordy et al⁷ comparou os efeitos esqueléticos e dentoalveolares de propulsores mandibulares fixos associados à ancoragem esquelética aos convencionais. Dos 862 artigos identificados, somente cinco ensaios clínicos foram incluídos, os quais analisaram os dados cefalométricos

de 157 indivíduos Classe II tratados com os aparelhos Forsus, Twin Force Bite Corrector e Herbst. Os resultados demonstraram que a evidência disponível ainda é inconclusiva sobre os efeitos do uso da ancoragem esquelética associada aos aparelhos funcionais fixos. O baixo nível de evidência disponível sugere que a associação da ancoragem esquelética não induziu alterações esqueléticas adicionais na correção da Classe II, somente a redução da projeção de incisivos inferiores e aumento da retroinclinação dos incisivos superiores⁷.

Uma importante limitação da maioria dos estudos consiste no uso de dados cefalométricos obtidos a partir de telerradiografias em norma lateral. Tradicionalmente, a Ortodontia desenvolveu diversas análises cefalométricas e tipos de superposições para analisar o crescimento e a influência das diversas modalidades de tratamento das más oclusões. As deficiências das medidas cefalométricas 2D lineares e angulares não explicam o complexo processo tridimensional (3D) de crescimento e remodelação ósseos ao longo do tempo e podem explicar discordâncias na literatura sobre os efeitos esqueléticos da terapia com propulsores mandibulares. Por exemplo, na avaliação dos efeitos esqueléticos e dentários dos propulsores mandibulares, a superposição das estruturas não permite que o avaliador do traçado cefalométrico identifique com precisão o ponto Condílio.

Para suplantiar as limitações das radiografias, desde 2001, tem sido intensificado o diagnóstico tridimensional através da tomografia computadorizada de feixe-cônico na Ortodontia²⁷. A avaliação ortodôntica de imagens tridimensionais inclui superposições de modelos digitais para análise do crescimento de ossos maxilares, de mudanças obtidas após o tratamento, da estabilidade dos resultados obtidos, além de análises dos tecidos moles e simulação computadorizada de procedimentos cirúrgicos²⁸⁻³³. O protocolo de superposição 3D em base do crânio usa uma técnica de registro automatizada baseada em *voxel*, que elimina o viés do examinador no processo de registro. Foram desenvolvidos métodos de orientação padronizada da cabeça dos modelos 3D registrados para obter um sistema de coordenadas comum, que permite a avaliação adequada das alterações anteroposteriores, verticais e transversas^{34,35}.

Até setembro de 2019, foram localizados somente três estudos que utilizaram imagens 3D para analisar os efeitos do aparelho de Herbst³⁶⁻³⁸ e dois que analisaram os efeitos do Twin Block^{39,40}, os quais trouxeram novos dados sobre os efeitos esqueléticos e dentários de ambos dispositivos. Todavia, ainda existe na literatura científica ortodôntica uma deficiência de ensaios clínicos randomizados que utilizem imagens tridimensionais para comparar a eficácia e os efeitos dos propulsores mandibulares removíveis e fixos, associados ou não à ancoragem esquelética no tratamento de pacientes Classe II no pico do surto de crescimento puberal.

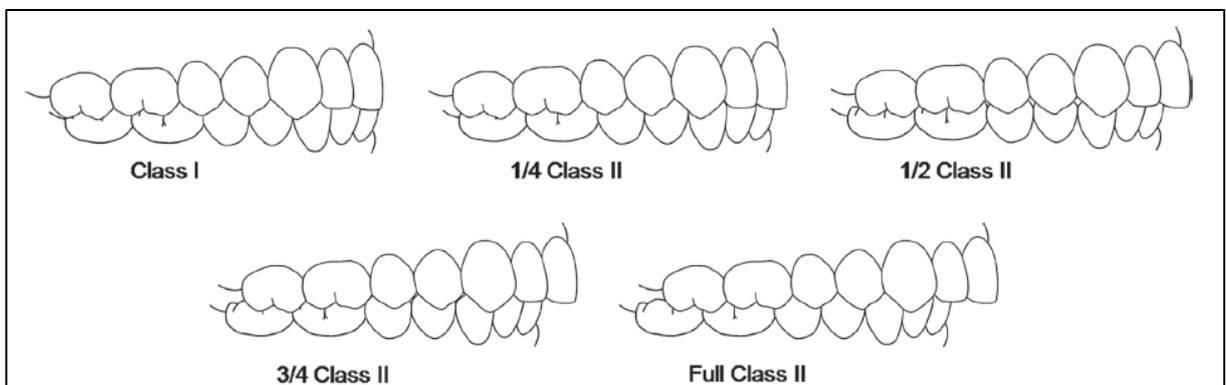
1 REVISÃO DA LITERATURA

1.1 Características e etiologia da má oclusão de Classe II de Angle

A comunicação entre os ortodontistas foi bastante simplificada quando Angle⁴¹ (1899) publicou o primeiro método científico de classificação das más oclusões, baseado nas posições dentárias interoclusais. Como definiu que o primeiro molar superior possuía uma posição imutável, conseqüentemente, o 1º molar inferior que poderia apresentar o desvio. Foram propostas apenas três categorias: Classe I (relação oclusal considerada ideal entre os 1ºs molares), Classe II (1º molar inferior posicionado distalmente ao superior) e Classe III (1º molar inferior posicionado mesialmente ao superior). Somente a Classe II foi dividida, de acordo com a projeção dos incisivos superiores: 1ª divisão, em caso de incisivos projetados; e 2ª divisão, se retroinclinados. Embora a classificação de Angle seja universal, simples e prática, é exclusivamente anteroposterior (não abrange as discrepâncias verticais e transversas), e dentária, pois não se relaciona com as estruturas esqueléticas adjacentes.

Décadas depois, em 1972, Andrews⁴² demonstrou a necessidade de uma classificação mais completa. Propôs as seis chaves da oclusão normal e descreveu uma classificação mais precisa da discrepância oclusal anteroposterior de Classe II, detalhada na Figura 1.

Figura 1 – Ilustração da relação molar de Classe I e das possíveis variações anteroposteriores de gravidade da má oclusão Classe II.



Determinar de forma precisa a gravidade da má oclusão é importante para selecionar a melhor abordagem de tratamento. A mesma má oclusão, com diversos graus de severidade,

pode ser abordada com diferentes protocolos de tratamento^{43,44}. Por exemplo, uma má oclusão Classe II de uma cúspide completa requer maior cooperação do paciente no uso de aparelhos ortodônticos removíveis do que uma má oclusão Classe II de ¼ de cúspide⁴⁵.

A sobressaliência (ou *overjet*) é um outro dado relevante na descrição da gravidade da má oclusão de Classe II de Angle, 1ª divisão. Quanto mais acentuado o *overjet*, pior o impacto negativo na estética facial, na autoestima do paciente e maior o risco de trauma ou avulsão de incisivos. Logo, um dos principais objetivos do tratamento é a redução da sobressaliência, e constitui um dos parâmetros de sucesso na correção. Nos casos de pacientes Classe II, 2ª divisão, como os incisivos superiores são retroinclinados, o *overjet* é reduzido. Por isso, estes pacientes sofrem menor impacto estético facial.

Angle⁴¹ e Andrews⁴² usaram parâmetros oclusais, e não cefalométricos, para descrever as más oclusões. Apesar disso, muitos dos trabalhos ainda classificam a má oclusão baseando-se apenas em variáveis cefalométricas, omitindo parâmetros oclusais, embora alguns estudos já tenham demonstrado a importância destes detalhes na avaliação dos resultados de tratamento^{46,47}. Algumas pesquisas selecionaram indivíduos Classe II esqueléticos baseados exclusivamente em parâmetros cefalométricos^{48,49}. Existe uma grande deficiência neste procedimento, porque pacientes podem apresentar uma oclusão normal mesmo com uma grande discrepância cefalométrica anteroposterior dos ossos basais⁵⁰.

Provavelmente, este fenômeno ocorreu depois do desenvolvimento da cefalometria, que enfatizou as características cefalométricas esqueléticas da má oclusão e colocou as relações dentárias em nível secundário de importância⁴⁸. Todavia, é comum que não sejam as características esqueléticas da Classe II que determinem o tratamento, e sim, as características clínicas e dentoalveolares. Foi demonstrado que as variáveis cefalométricas influenciam o prognóstico estético, porém não a taxa de sucesso oclusal do tratamento⁵¹.

Também foi observado nos estudos clínicos que os grupos experimentais seguiram critérios rígidos de discrepância oclusal anteroposterior, porém o mesmo não foi aplicado aos grupos controle. Logo, os resultados das comparações podem ser comprometidos. A omissão na descrição da gravidade da má oclusão Classe II pode explicar porque às vezes são observados resultados contrastantes: enquanto alguns autores relatam efeitos significantes, outros falham em demonstrá-los.

A má oclusão Classe II é considerada um dos problemas mais frequentemente encontrados na prática ortodôntica. Sua prevalência varia de 15 a 30%, dependendo da população avaliada⁷. É considerada um problema estético importante, pois estudos demonstraram que pacientes, seus familiares, ortodontistas e cirurgiões bucomaxilofaciais

consideraram perfis de pacientes Classe I mais atraentes do que perfis de indivíduos Classe II⁷.

Em 1907, Angle⁵² relacionou os casos de Classe II, 1ª divisão a alterações esqueléticas, com uma relação distal da mandíbula em relação à maxila. A maxila foi considerada projetada, freqüentemente atrésica, com os incisivos superiores vestibularizados e os inferiores lingualizados. Descreveu que esta má oclusão também pode ser acompanhada de função anormal dos lábios, de obstrução nasal e respiração bucal. Já nos casos de Classe II, 2ª divisão, a mesma relação distal da mandíbula em relação à maxila estava acompanhada por incisivos centrais superiores retroinclinados e os incisivos laterais superiores projetados, com sobremordida exagerada e *overjet* reduzido.

Desde então, diversos estudos cefalométricos^{47,48,53-55} analisaram os padrões esqueléticos e dentários de indivíduos Classe II, e os compararam a indivíduos Classe I. O estudo clássico de McNamara⁵⁶ analisou as características cefalométricas de 277 portadores de má oclusão Classe II (153 meninos e 124 meninas, aos 9 anos de idade), comparou seus resultados a todos os estudos publicados similares até 1981 e obteve as seguintes importantes conclusões:

(1) A má oclusão Classe II não é uma única entidade clínica. Pode resultar de numerosas combinações de componentes esqueléticos e dentários;

(2) Apenas uma pequena porcentagem de casos apresentaram protrusão esquelética da maxila em relação à base do crânio (caracterizada pelo ângulo SNA > 82°). Em média, a maxila estava em posição anteroposterior normal;

(3) O grau de projeção dentária dos dentes superiores (considerados projetados se 1.NA > 22°; 1-NA > 4mm) foi menor do que o descrito pelos estudos prévios;

(4) Os incisivos inferiores estavam geralmente bem posicionados. Todavia, também foram notados casos de retrusão e de projeção dos dentes inferiores (considerados projetados se 1.NB > 25°; 1-NB > 4mm);

(5) A retrusão esquelética mandibular (SNB < 80°) foi a única característica comum presente em 70% da amostra Classe II;

(6) Embora uma ampla variação do desenvolvimento vertical tenha sido observada, quase metade da amostra mostrou um desenvolvimento vertical excessivo. Com base nestas conclusões, McNamara⁵⁶ sugeriu que o tratamento mais apropriado da Classe II deveria ser alterar a quantidade e direção do crescimento mandibular, e não restringir o crescimento maxilar, como feito tradicionalmente com o aparelho extraoral.

Devido à ampla gama de possibilidades etiológicas, Woodside⁵⁷ desenvolveu uma nova classificação que combinou os componentes dentoalveolares, esqueléticos e musculares,

divididos em sete subtipos de Classe II: 1) face harmoniosa com relação de Classe II dento-esquelética; 2) protrusão do complexo nasofaríngeo com mandíbula bem posicionada; 3) complexo nasofaríngeo normal com retrognatismo; 4) complexo nasofaríngeo normal com retrognatismo acentuado e perfil bastante convexo; 5) complexo nasofaríngeo e maxila protruídos com mandíbula retruída; 6) relação maxilomandibular adequada com obstrução nasal, ocasionando a retrusão mandibular durante o repouso e 7) variação do subtipo 1, com espaço funcional livre muito aumentado. Embora novas classificações tenham sido propostas ao longo do tempo, a mais utilizada continua sendo a proposta por Angle⁵², devido à sua simplicidade e praticidade, apesar das limitações descritas.

Diversas pesquisas^{55,58-60} buscaram diferenças no crescimento das estruturas dentofaciais entre pacientes Classe II e Classe I. O estudo longitudinal de Bishara et al.⁵⁸ acompanhou o crescimento de dois grupos da fase de dentição decídua à dentição permanente: um grupo de 30 portadores de má oclusão Classe II, 1ª divisão e um grupo controle de 35 indivíduos portadores de oclusão normal. Foram obtidas telerradiografias de perfil em três etapas: (1) dentição decídua completa (5,5 anos); (2) após a total erupção dos 1^{os} molares permanentes (8 anos) e; (3) dentição permanente completa (12 anos), exceto pelos 3^{os} molares. A comparação longitudinal das curvas de tendência de crescimento de indivíduos Classe II 1ª divisão e os portadores de oclusão normal indicaram que não houve diferenças significantes entre os dois grupos, exceto na protrusão do lábio superior. As comparações das mudanças totais da dentição decídua até a permanente completa indicaram a presença de algumas diferenças, incluindo uma maior magnitude do comprimento maxilar e mandibular no grupo Classe I e maior convexidade de tecidos duros e moles no grupo Classe II. As diferenças no comprimento e posição mandibular foram mais evidentes nos estágios precoces do desenvolvimento, do que nos estágios posteriores. O crescimento dos parâmetros de base craniana avaliados foram essencialmente similares em indivíduos Classe II e Classe I. Em pacientes Classe II, o ângulo de convexidade esquelética diminuiu com o crescimento, enquanto a convexidade de tecido mole aumentou, quando comparados a indivíduos Classe I. Os autores destacaram que descrever a displasia esquelética que pode acompanhar uma má oclusão Classe II 1ª divisão como Classe II esquelética tem valor diagnóstico limitado e não determina o plano de tratamento. Isto ocorre devido à presença de uma ampla gama de variações nas relações dentárias maxilomandibulares. A presença de uma má oclusão Classe II pode ser associada com as seguintes condições, ou uma combinação destas: (1) protrusão esquelética maxilar, com ou sem uma maxila longa, (2) protrusão dos dentes maxilares, (3) retrusão esquelética da mandíbula, (4) retrusão dos dentes mandibulares e (5) ângulo obtuso

da base do crânio. Esta ausência de consenso quanto às características dentofaciais dos indivíduos Classe II 1ª divisão indica a ampla variação que existe dentro desta população. Tal variação é compreensível devido às interações dentárias, esqueléticas e de tecido mole que geram uma discrepância que é descrita somente em termos de relação dentária oclusal.

Com o objetivo de avaliar se a má oclusão de Classe II se autocorrigue ao longo do crescimento, Baccetti et al.⁵⁹ acompanharam um grupo de 25 jovens portadores de má oclusão de Classe II e outro grupo de 22 jovens de oclusão normal desde a fase de dentição decídua à dentição mista (durante 30 meses). Durante o período avaliado, a relação de Classe II inicial foi mantida ou agravou-se. O padrão esquelético da Classe II foi caracterizado por retrusão mandibular, pela deficiência no comprimento da mandíbula e sua rotação no sentido horário. Também foi observado um crescimento anterior significativo da maxila. Concluíram que os sinais clínicos da má oclusão de Classe II são evidentes na dentição decídua e persistem na dentição mista.

Stahl et al.⁶⁰ correlacionaram as fases do pico do surto de crescimento puberal às alterações craniofaciais decorrentes do crescimento de pacientes Classe II, 1ª divisão, não tratados (11 meninos e 6 meninas), comparados a pacientes Classe I (13 meninos e 4 meninas). Foram obtidas radiografias cefalométricas de perfil desde a fase pré-puberal (CS1) até a fase pós-puberal (CS6), identificadas pela análise das vértebras cervicais. O crescimento craniofacial dos pacientes Classe II foi similar ao dos pacientes Classe I em todas as fases, exceto pelo menor aumento no comprimento mandibular ($p < 0,001$) durante o pico do surto de crescimento puberal (CS3-CS4) e também no período total de observação (CS1-CS6). Este estudo também demonstrou que a Classe II não tende a se autocorrigir com o crescimento e ocorre uma piora na deficiência do comprimento mandibular total e da altura do ramo mandibular.

A influência da angulação da base do crânio na discrepância esquelética envolvida na má oclusão Classe II também foi estudada. Bedoya et al.⁶¹ utilizaram tomografias computadorizadas de feixe cônico para analisar a morfometria da base do crânio e do complexo crânio-cervico-mandibular de pacientes jovens portadores de má oclusão de Classe II, 1ª divisão. Concluíram que existe uma correlação entre as estruturas da base do crânio e a posição sagital da maxila, mandíbula e mento; e também entre o complexo cervical vertebral e o osso hióide. Quando a base do crânio apresenta angulações maiores, a relação da base do crânio com a maxila, mandíbula e mento exibem angulações menores.

Logo, a má oclusão de Classe II é uma entidade clínica complexa que não apresenta autocorreção ao longo do crescimento. Portanto, é de extrema importância a correta

identificação das características individuais, gravidade da discrepância interoclusal e estágio do crescimento dos pacientes portadores desta má oclusão, para que o plano de tratamento seja o mais específico possível, considerando-se a ampla gama de opções terapêuticas disponíveis para esta desarmonia⁶².

1.2 Tipos de tratamento da má oclusão de Classe II de Angle

Para determinar um plano de tratamento ortodôntico, é preciso analisar as características individuais do paciente nos aspectos dentários, esqueléticos e de tecido mole, através de um exame clínico detalhado e uma documentação ortodôntica completa, constituída por fotografias faciais e intraorais (as quais podem ser complementadas por vídeos da fala e sorriso do paciente), modelos dentários (físicos ou virtuais) e exames da imagem craniofacial (radiografias panorâmica, cefalométrica, periapicais ou tomografias)⁶³.

A análise destas informações permitirá ao ortodontista identificar: a queixa principal do paciente; o histórico médico-odontológico; a presença de patologias e hábitos deletérios; a gravidade da má oclusão nos planos vertical, transverso e anteroposterior; a quantidade de discrepância negativa dos arcos dentários superior e inferior; a gravidade das discrepâncias esqueléticas nos planos vertical, transverso e anteroposterior; as alterações no perfil dos tecidos moles; o grau de comprometimento estético negativo causado pela má oclusão e o estágio de maturação esquelética do paciente^{63,64}.

As informações extraídas deste conjunto de dados permitem ao ortodontista selecionar um plano de tratamento adequado, específico para cada paciente. Obviamente, a decisão clínica é influenciada pela formação acadêmica e experiência profissional individual, e múltiplos planos de tratamento são viáveis para um mesmo caso^{63,64}.

No tratamento da má oclusão de Classe II, especificamente, é importante determinar se o paciente apresenta alterações exclusivamente dentárias, com boa composição facial, ou se estão acompanhadas por alterações esqueléticas. Se as alterações forem restritas à dentição, o foco do ortodontista será a movimentação exclusivamente dentária, a qual pode ser auxiliada por aparelhos distalizadores intraorais, dispositivos associados a mini-implantes ortodônticos, alinhadores ortodônticos e/ou exodontias de pré-molares.⁶³⁻⁶⁵

Quando é detectada a presença de uma desarmonia esquelética associada à Classe II, existem três possíveis abordagens de tratamento^{8, 63-65}:

(1) Modificação do crescimento por terapia ortopédica, para reduzir ou eliminar a discrepância esquelética, através do crescimento diferencial anteroposterior da mandíbula em relação à maxila, em pacientes com potencial de crescimento. Os aparelhos utilizados são: extra-oral, mais indicado para restrição de crescimento maxilar vertical e anteroposterior e; aparelhos funcionais ou propulsores mandibulares, que foram desenvolvidos para estimular o crescimento mandibular;

(2) Camuflagem ortodôntica da discrepância esquelética, com retração dos incisivos superiores e/ou projeção dos incisivos inferiores. É restrita à movimentação dentária, sem correção do problema esquelético. É indicada para pacientes com crescimento concluído, com pouca queixa estética facial, que apresentem desarmonia suave a moderada e não desejem intervenção cirúrgica;

(3) Tratamento ortocirúrgico, que associa o reposicionamento cirúrgico dos ossos maxilares (cirurgia ortognática de recuo maxilar e/ou avanço mandibular) ao alinhamento ortodôntico dos arcos. É indicado para pacientes com crescimento concluído, com acentuada queixa estética facial, que apresentem desarmonia moderada a severa, que aceitem a intervenção cirúrgica.

Enquanto a modificação ortopédica de crescimento é possível, este é o tratamento ideal^{8, 63-65}, pois permite obter a correção da má oclusão e obtenção de estética facial adequada sem a morbidade de uma cirurgia ortognática e/ou exodontias. O tratamento ortodôntico de crianças e adolescentes é baseado em uma combinação de modificação do crescimento e camuflagem ortodôntica. Algum crescimento favorável quase sempre é observado em pacientes jovens, nos quais excelentes resultados são obtidos, mesmo quando o tratamento é realizado em um período de crescimento mais tardio⁸.

Na Ortodontia moderna, quando são comparadas as várias alternativas de tratamento, é importante avaliar sua eficácia, a qual é determinada pela extensão em que foram atingidos os objetivos de atingir uma oclusão normal, adequadas proporções esqueléticas e de tecidos moles, com boa estética dentofacial^{8, 63-65}.

1.3 Efeitos dento-esqueléticos dos propulsores mandibulares removíveis, fixos e associados à ancoragem esquelética por estudos cefalométricos 2D

Diversos aparelhos funcionais fixos, removíveis e híbridos tem sido usados por mais de um século no tratamento da má oclusão Classe II de Angle de pacientes em crescimento²¹, como por exemplo, o Bionator, o Ativador, o Fränkel-2, o Herbst, o Twin Block e o Jasper Jumper. Dentre os propulsores mandibulares, destacam-se os aparelhos Twin Block (removível) e o Herbst (fixo), devido aos excelentes resultados na correção da má oclusão Classe II de Angle, relatados por diversos estudos clínicos⁹⁻¹⁶.

O aparelho funcional removível Twin Block é constituído por dois blocos de mordida de resina acrílica, um superior e outro inferior, com planos inclinados entre si de 70°, que quando ocluídos, forçam o paciente a reposicionar a mandíbula para uma posição mais anterior. Os planos inclinados têm a angulação de 70° para simular os planos oclusais inclinados da dentição natural, os quais constituem mecanismos funcionais fundamentais para o crescimento e função mandibulares^{17,18}. Foi desenvolvido pelo escocês William J. Clark^{17,1}, que propôs que se a mandíbula oclui numa relação distal em relação à maxila, as forças oclusais atuam de forma desfavorável nos dentes inferiores, impedindo o desenvolvimento anteroposterior normal mandibular. Lavergne e Gasson⁶⁶ levantaram a hipótese de que os planos inclinados das cúspides dos dentes superiores e inferiores em uma relação de Classe II estabilizam a mandíbula retrognata numa posição funcional de oclusão distal, perpetuando a má oclusão.

Clark^{17,18} defendeu a hipótese de que o aparelho Twin Block corrigiria rapidamente a má oclusão de Classe II de Angle por transmitir novas forças oclusais favoráveis, através dos planos oclusais inclinados que recobrem os dentes posteriores. Propôs a teoria de que um novo equilíbrio funcional poderia ser estabelecido por meio de controle neurológico, em resposta ao estímulo proprioceptivo constante do avanço mandibular, que resultaria em aumento do crescimento ósseo condilar. Clark^{17,18} observou nos pacientes tratados com Twin Block a redução do ângulo ANB, o aumento no comprimento efetivo da mandíbula (Articular-Gnático), aumento na altura facial (Násio-Mentoniano) e redução na convexidade facial. Este é um propulsor mandibular frequentemente usado para a correção da má oclusão de Classe II, 1ª divisão durante a dentição mista, por ser confortável e bem aceito pelo paciente. É o mais utilizado no Reino Unido²¹ no tratamento ortopédico na rede pública de saúde, principalmente devido ao baixo custo, rapidez de resultados e facilidade de manuseio

clínico. Em 2000, Baccetti et al.¹⁶ demonstraram que a etapa do crescimento ideal para o tratamento com Twin Block são as fases de pico e ligeiramente pós-pico do surto de crescimento puberal (avaliado pela maturação das vértebras cervicais). Foi observada maior correção esquelética da Classe II, com acentuado crescimento do comprimento mandibular, dos ramos e uma direção de crescimento mais posterior dos côndilos¹⁶. A principal desvantagem desta modalidade de tratamento consiste na necessidade de cooperação do paciente com o uso deste dispositivo removível, durante 9 a 12 meses⁹⁻¹³.

Esta limitação quanto à cooperação poderia ser contornada pela utilização de um propulsor mandibular fixo, com o qual fosse garantido o uso em tempo integral, como o popular aparelho de Herbst. Este propulsor mandibular metálico, inicialmente denominado *Okklusionsscharnier* ou *Retensschamier*, e posteriormente renomeado como seu autor, foi introduzido pelo ortodontista alemão Emil Herbst, em 1909⁶⁹. É um aparelho intrabucal de ancoragem intermaxilar recíproca: a ação do aparelho em avançar a mandíbula provoca uma reação igual e contrária no arco dentário superior. Assim, a instalação do mecanismo Herbst induz uma força inferior e anterior nos dentes inferiores (ação) e uma força superior e posterior nos dentes superiores (reação). A utilização de uma ancoragem reforçada pretende transformar a ação do mecanismo telescópico em resposta ortopédica (remodelação da ATM e aumento no comprimento mandibular). Embora tenha obtido uma popularidade inicial, caiu em desuso depois que o austríaco Martin Schwarz publicou dois artigos que acusavam este aparelho de causar uma sobrecarga oclusal nos dentes de ancoragem, com possível dano periodontal. Foi reintroduzido em 1979 pelo alemão Hans Pancherz, pesquisador que publicou diversos estudos longitudinais^{9,15} sobre pacientes tratados por variações do aparelho de Herbst. Os rápidos e excelentes resultados clínicos no tratamento da má oclusão Classe II relatados levaram a uma popularização mundial deste dispositivo.

Este propulsor pode ser comparado a uma articulação artificial entre a maxila e a mandíbula, no qual um mecanismo telescópico (constituído por tubo e pistão) é unido às bandas ortodônticas, coroas ou *splints* que mantêm o avanço mandibular. Originalmente, o tubo foi posicionado na região do 1º molar superior, e o pistão na região de 1^{os} pré-molares inferiores. Os tubos telescópicos permitem ao paciente efetuar movimentos mandibulares de abertura, fechamento e pequena lateralidade.^{22,68} Posteriormente, foram desenvolvidas diversas variações. Uma delas foi aumentar a ancoragem do aparelho, com a colocação de bandas nos primeiros pré-molares e molares superiores e inferiores unidos com solda por um fio de aço inoxidável: o aparelho de Herbst multibandado. Como existe uma fragilidade estrutural nos locais de solda, podem ocorrer quebras constantes. Para reduzir este problema,

a estrutura metálica soldada pode ser substituída por uma armação metálica fundida apoiada em todos os dentes posteriores (superiores e inferiores): este é o aparelho de Herbst fundido. Uma outra possibilidade é a utilização de uma cobertura de acrílico em toda a extensão dos arcos dentários: aparelho de Herbst em acrílico. A estrutura acrílica pode ser colada somente no arco inferior (ou em ambos os arcos) e pode ser removível (somente no arco inferior ou em ambos os arcos). Há ainda a possibilidade da adaptação do mecanismo telescópico diretamente no aparelho fixo total superior e inferior^{4,6,9}.

O aparelho de Herbst é o dispositivo funcional mais utilizado em pacientes Classe II na dentição permanente, principalmente nos Estados Unidos da América²¹ desde 1980, quando o pesquisador estadunidense James McNamara Jr. foi apresentado ao aparelho de Herbst por Hans Pancherz. McNamara Jr. considerou este aparelho o mais previsível de todos os aparelhos funcionais e defendeu a utilização de uma versão do aparelho de Herbst que incorpora coroas de aço inoxidável nos 1^{os} molares superiores e 1^{os} pré-molares inferiores. Geralmente, um expansor sagital é incorporado na parte maxilar do aparelho e um arco lingual é conectado às bandas dos 1^{os} molares. O aparelho de Herbst não é utilizado durante a fase de dentição mista por ser um aparelho fixo, que poderia interferir na exfoliação normal dos dentes decíduos e erupção dos permanentes. A duração da terapia com Herbst varia de acordo com a sobressaliência (*overjet*) inicial do paciente. Se for muito acentuada, o avanço mandibular deve ser progressivamente aumentado, a cada 4-5 meses. Os estudos relatam a manutenção do aparelho cimentado em boca por 6 a 12 meses.^{9,14,15,68}

No entanto, apesar do uso generalizado dos aparelhos propulsores mandibulares, há controvérsia sobre seu exato mecanismo de ação e os efeitos esqueléticos e dentários envolvidos^{70,71}. Revisões sistemáticas e metanálises têm um desenho de estudo apropriado para fornecer um nível de evidência elevado, especialmente em temas controversos^{72,73,74}. A análise da literatura científica através desta metodologia pode reduzir a possibilidade de erros sistemáticos⁷⁵⁻⁷⁹.

Em 2015, D'Antò et al.²³ avaliou a qualidade de todas as revisões sistemáticas e metanálises que enfocaram os efeitos do tratamento ortopédico funcional de pacientes Classe II em crescimento, publicadas em todas as bases de dados eletrônicas existentes, desde 1966 (ano de início do PubMed) até junho de 2014. A qualidade metodológica dos artigos incluídos foi avaliada pelo AMSTAR (*Assessment of Multiple Systematic Reviews / Avaliação de Múltiplas Revisões Sistemáticas*). O desenho dos principais estudos incluídos em cada revisão sistemática foi avaliado com a pontuação do nível de desenho da pesquisa. A evidência dos principais resultados foi resumida e classificada. O diagnóstico relatado na

maioria dos artigos foi "má oclusão de Classe II de Angle". Seis revisões sistemáticas^{20,81-85} avaliaram especificamente a má oclusão de Classe II de Angle 1ª divisão e apenas uma⁸⁶ considerou o crescimento facial vertical como critério de inclusão (pacientes Classe II hiperdivergentes). Foram incluídas 14 revisões sistemáticas, as quais avaliaram os seguintes aparelhos: Ativador (dois estudos^{84,87}), Twin Block (quatro estudos^{20,87-89}), Extra-oral (três estudos^{87,86,90}), Herbst (dois estudos^{70,82}), Jasper Jumper (um estudo⁸³), Bionator (um estudo⁸⁴) e Fränkel-2 (um estudo⁹¹). Seis revisões sistemáticas^{70, 81,86-88,92} incluíram apenas artigos com um grupo Classe II não tratado comparável. Quatro estudos^{90,69,92,85} revisaram os efeitos de vários aparelhos funcionais, como um grupo. O desfecho primário da maioria dos artigos (sete revisões sistemáticas) foi o efeito do tratamento na mandíbula, aferido por diferentes métodos de análise cefalométrica e pontos de referência. Os estudos sobre o tratamento ortopédico funcional da má oclusão de Classe II apresentaram uma qualidade metodológica heterogênea: três obtiveram baixa qualidade, oito apresentaram qualidade média e somente três foram classificados com alta qualidade. Seis revisões sistemáticas incluíram apenas ensaios clínicos controlados (ECC); três abrangeram somente ensaios clínicos randomizados (ECR); quatro relacionaram somente ECCs e ECRs; e uma revisão também incluiu opiniões de especialistas. Sete revisões sistemáticas^{70,81,82,87,88,91,92} analisaram os efeitos do tratamento ortopédico funcional na mandíbula. Ficou demonstrado que existe alguma evidência dos seguintes efeitos dos aparelhos funcionais ortopédicos no tratamento da má oclusão Classe II²³:

(1) Redução do *overjet* com a maioria dos aparelhos funcionais ortopédicos (de -3,88mm até -4,17 mm), exceto pelo aparelho extra-oral e pelo aparelho de Herbst tipo *splint*. A maior redução do *overjet* observada foi obtida pelo aparelho Twin Block (de -3,3 a -6,9 mm). Foi observada uma controvérsia dos estudos sobre o aparelho extra-oral: uma revisão⁸⁷ não detectou efeito significativo no *overjet*, enquanto outra⁸⁵ detectou uma pequena redução significativa (-1,07 mm);

(2) Projeção de incisivos inferiores (L1.GoGn: + 3,9°) e retroinclinação dos incisivos superiores (plano U1.Mx: -9,2°) com o aparelho Twin Block;

(3) Pequena restrição do crescimento maxilar pelo Twin Block (SNA: -0,7° a -1,03°) e pelo aparelho extra-oral (SNA: -1,01°);

(4) Aumento do comprimento mandibular a curto prazo pelos aparelhos Twin Block (2,9 mm/ano), Fränkel-2 (1,07 mm/ano), Harvold, Bionator e Schwarz. Os resultados variaram entre 0,8 e 4,7 mm (aferido por Co-Gn ou Co-Pg) e entre 1,2 e 2,2 mm (medidos por Olp-Pg + OLp-Co). O tamanho do efeito observado foi de 0,61.

Não foi observada evidência suficiente de que ocorra redução do *overjet*, nem restrição maxilar e nem aumento significativo do comprimento mandibular com os aparelhos de Herbst tipo *splint* e bandado com coroas, devido à baixa qualidade dos estudos individuais incluídos nas revisões sistemáticas²³. A relevância clínica dos resultados relatados foi questionável e dados longitudinais adequados ainda não estavam disponíveis. Também não houve evidências suficientes sobre o efeito do tratamento ortopédico funcional nos tecidos moles²³. D'Antò et al.²³ concluíram que ainda não existiria evidência suficiente para sugerir ou desencorajar o tratamento funcional ortopédico em pacientes de Classe II. A falta de evidência definida devia-se principalmente ao pequeno número de estudos sobre cada resultado, à baixa qualidade da maioria dos estudos clínicos disponíveis e à heterogeneidade das análises cefalométricas utilizadas. Por exemplo, o ponto Condílio é usado frequentemente como referência para a medida do comprimento mandibular e é difícil de visualizar em telerradiografia de perfil, devido às sobreposições de estruturas anatômicas locais. Foi sugerido que estudos futuros analisem grupos mais homogêneos de pacientes, através de metodologias que tenham maior fidelidade de superposições. D'Antò et al.²³ destacaram que todos os ensaios clínicos que incluíram o pico do surto de crescimento puberal no tempo de tratamento, demonstraram um alongamento mandibular suplementar (> 2 mm) com relevância clínica. Apoiaram a hipótese de que o crescimento mandibular suplementar a curto prazo parece ser significativamente maior quando o tratamento funcional é realizado no surto de crescimento puberal. Embora todos as revisões sistemáticas incluídas no estudo tenham definido o tratamento de indivíduos em crescimento como critério de inclusão, nenhuma delas avaliou ou restringiu a maturação esquelética dos pacientes incluídos. O Quadro 1 sintetiza os dados extraídos das 14 revisões sistemáticas e metanálises incluídas neste estudo, que avaliou toda a evidência disponível de 1966 a 2014.

Quadro 1. Descrição das 14 revisões sistemáticas e metanálises incluídas na revisão sistemática de D'Antò et al.²³ (continua)

Referência	Desenho do estudo Diagnóstico Nº de Pacientes	Intervenção (I), Grupos controle (C)	Medidas de resultado	Instrumento Qualidade dos estudos individuais	Resultados	Conclusões dos autores (C) Comentários sobre a qualidade dos estudos (Q)
Antonarakis e Kiliaridis, 2007 ⁸⁷	Metanálise de 9 ensaios clínicos prospectivos e ECR; Classe II; 670 indivíduos.	I1: Ativadores (Harvold; Schwarz; Bio); I2: Twin Block; I3: Extra-bucal (AEB); I4: Combinação (AEB / funcional) C: Classe II não tratados.	Efeito maxilar (SNA); Efeito mandibular (SNB); Relação intermaxilar (ANB); <i>Overjet</i> .	Petren et al.: Médio – Alto* (9/9).	- <i>Efeito maxilar</i> : Somente I2 e I3 controlam o crescimento maxilar; maior controle com I3 (I3: 1,03°, I2: 1,01°), com menor homogeneidade. - <i>Efeito mandibular</i> : somente I1, I2 e I4 aumentam o crescimento mandibular; maiores efeitos e alta homogeneidade com I2 (I1: 0,66°; I2: 1,53°; I4: 1,05°). - <i>Relação intermaxilar</i> : I1, I2, I3 e I4 reduzem o ângulo ANB; a maior redução com I2 (I1: 0,92°; I2: 2,61°; I3: 1,38°; I4: 1,8°), maior homogeneidade com I4. - <i>Overjet</i> : Somente I1, I2 e I4 mostram uma diminuição significativa; maior diminuição com I2 (I1: 3,88 mm; I2: 6,45 mm; I4: 4,37 mm), maior homogeneidade com I4.	C: Todos os aparelhos apresentaram uma melhora nas relações intermaxilares sagitais (redução do ANB) quando comparados aos indivíduos Classe II não tratados. O uso de aparelhos funcionais e / ou tração extra-oral atua em um dos maxilares (os ativadores na mandíbula; extra-oral e aparelhos combinados na maxila) enquanto o Twin Block mostra alterações maxilomandibulares. Além das pequenas melhorias esqueléticas sagitais que influenciam o overjet, o efeito dentoalveolar no overjet é causado pela retroinclinação dos incisivos superiores e projeção dos inferiores. Q: Heterogeneidade de idade, tamanho da amostra, grupos controle e aparelhos.

Quadro 1. Descrição das 14 revisões sistemáticas e metanálises incluídas na revisão sistemática de D'Antò et al.²³(Continuação).

Referência	Desenho do estudo, Diagnóstico, Nº de Pacientes	Intervenção (I), Grupos controle (C)	Medidas de resultado	Instrumento, Qualidade dos estudos incluídos	Resultados	Conclusões dos autores (C) Comentários sobre a qualidade dos estudos (Q)
Barnett et al., 2008 ⁸¹	Revisão sistemática de 3 ECCs; Classe II 1 ^a Divisão; 102 indivíduos.	I:Herbst bandado ou com coroa C: Classe II não tratados.	Dentários e esqueléticos Mudanças cefalométricas .	-	II causa aumento de variáveis esqueléticas sagitais mandibulares (2 a 3 mm); efeitos esqueléticos maxilares mínimos, projeção dos incisivos inferiores, retroinclinação dos incisivos superiores, extrusão e mesialização dos 1 ^{os} molares inferiores; intrusão e distalização dos primeiros molares superiores (cl clinicamente questionável). Overjet e overbite foram reduzidos.	C: As alterações dentárias têm maior impacto que as esqueléticas. Q: Sem ECR, baixa qualidade metodológica dos estudos; uso frequente do condílio como ponto de referência para a medida do comprimento mandibular, o qual é difícil de determinar na telerradiografia de perfil. Diferenças nas referências / medições, faixas etárias de grupos e na duração do tratamento.
Cozza et al., 2006 ⁷⁰	Revisão sistemática de 4 ECRs e 18 Ecs (2 prospectivos e 16 retrospectivos); Classe II; 1763 indivíduos.	I: Aparelhos funcionais (Act, Bass, Bio, Fr-2, Herbst, MARA, TwinBlock) C: Classe II não tratados	Posição mandibular sagital, comprimento mandibular, altura do ramo e comprimento do corpo; Eficiência dos aparelhos.	Escala de Jadad modificada: Baixo (3/22) Médio (13 /22) Médio-Alto (6/22).	II aumenta crescimento mandibular em dois terços das amostras. Alterações na posição mandibular em relação à base do crânio não foram clinicamente significativas. Herbst apresentou o maior coeficiente de eficiência (0,28 mm/mês) seguido pelo Twin Block (0,23 mm/mês). O menor coeficiente de eficiência foi do aparelho Frankel (0,09/mês).	C: A quantidade de crescimento mandibular suplementar parece ser significativamente maior se o tratamento funcional for realizado durante o pico puberal de maturação esquelética. Q: Qualidade dos estudos de baixa a média, raros ECR (negligenciando a maturação esquelética).

Quadro 1. Descrição das 14 revisões sistemáticas e metanálises incluídas na revisão sistemática de D'Antò et al.²³(Continuação).

Referência	Desenho do estudo, Diagnóstico, Nº de Pacientes	Intervenção (I), Grupos controle (C)	Medidas de resultado	Instrumento, Qualidade dos estudos individuais	Resultados	Conclusões dos autores (C) Comentários sobre a qualidade dos estudos (Q)
Chen et al., 2002 ⁹⁰	Revisão sistemática e metanálise de 6 ECR; Classe II; Número de indivíduos não foi descrito.	I: Aparelhos funcionais (Bass, Bio, Fr-2, Twin Block); C: Sem tratamento ou extraoral.	Crescimento mandibular (dimensão horizontal e vertical).	-	Os aparelhos funcionais aumentam significativamente apenas as distâncias Ar-Pg e Ar-Gn. Não foram observadas diferenças entre os aparelhos utilizados.	C: Existe a necessidade de reavaliar o uso de aparelhos funcionais para aumentar o crescimento mandibular. O efeito clínico no comprimento mandibular é pequeno e provavelmente influenciado pelo ponto de referência. (O ponto Articular se move posterior e superiormente após terapia funcional). A ausência de diferença estatisticamente significativa dos valores angulares (SNB e LIA) foi inesperada e pode ter ocorrido porque todos os aparelhos foram analisados como um grupo Q: limitação metodológica; heterogeneidade da idade esquelética, duração do tratamento; falta de correspondência entre controle do tratamento e cooperação do paciente.

Quadro 1. Descrição das 14 revisões sistemáticas e metanálises incluídas na revisão sistemática de D'Antò et al.²³(Continuação).

Referência	Desenho do estudo, Diagnóstico, Nº de Pacientes	Intervenção (I), Grupos controle (C)	Medidas de resultado	Instrumento, Qualidade dos estudos individuais	Resultados	Conclusões dos autores (C) Comentários sobre a qualidade dos estudos (Q)
Ehsani et al., 2014 ⁸⁸	Revisão sistemática de 10 ensaios clínicos (6 prospectivos e 4 randomizados) e Metanálise de 5 estudos; Classe II; 664 indivíduos.	I1: Twin Block C: Classe II não tratados.	Efeitos esqueléticos, dentários e de tecidos moles.	Risco de viés modificado: Alto risco (1/10), Médio risco (5/10), Baixo risco (4/10).	Dados da metanálise: Twin Block controla o crescimento maxilar (SNA: 0,8°), projeta a mandíbula levemente para a frente (SNB: 1,2°), aumenta o comprimento do corpo mandibular (CoGn: 3 mm) e aumenta as dimensões faciais anteriores (ALFH: 2 mm). Além disso, retroinclina o incisivo superior (U1-AnsPns: 9,2 °) e projeta o incisivo inferior (L1-GoGn: 3,8°).	C: Os efeitos dentários são relatados de forma consistente. Não foi detectada uma restrição do crescimento maxilar clinicamente significativa. Embora o comprimento do corpo mandibular seja aumentado, seu impacto facial é reduzido pelo incremento simultâneo da altura da face. Q: Estudos altamente heterogêneos e tendenciosos (várias medidas e tempos de tratamentos, uso de controles históricos).
Flores-Mir e Major, 2006b ⁸⁴	Revisão sistemática de 10 ECCs and 1 ECR; Classe II 1ª divisão; 540 indivíduos.	I1: Act; I2: Bio; C: Sem tratamento.	Mudanças no tecido mole.	Checklist próprio: Baixo (10/11) Médio (1/11).	Resultados contraditórios para I1 e I2.	C: Embora tenham sido encontradas algumas alterações estatisticamente significativas nos tecidos moles, tanto para I1 quanto para I2, o significado clínico é questionável. Q: Fraqueza metodológica, baixo nível de evidência.

Quadro 1. Descrição das 14 revisões sistemáticas e metanálises incluídas na revisão sistemática de D'Antò et al.²³(Continuação).

Referência	Desenho do estudo, Diagnóstico, Nº de Pacientes	Intervenção (I), Grupos controle (C)	Medidas de resultado	Instrumento, Qualidade dos estudos individuais	Resultados	Conclusões dos autores (C) Comentários sobre a qualidade dos estudos (Q)
Flores-Mir et al., 2007 ⁸²	Revisão sistemática de 03 ECCs; Classe II 1 ^a divisão; Número de indivíduos não foi descrito.	I1: Herbst tipo <i>splint</i> ; C: Sem tratamento.	Mudanças cefalométricas dentárias e esqueléticas.	<i>Checklist</i> própria: Baixo (3/3).	<i>Efeitos esqueléticos:</i> I1 aumenta comprimento anteroposterior da mandíbula (0,7 a 2,9 mm), aumenta a protrusão mandibular (1,2° a 2,9°), reduz discrepância intermaxilar (-1,5 ° a -2,1° e -4,2- a -4,9 mm), retrui a posição anteroposterior da maxila (< 1 mm) e aumenta a altura facial posterior (1,4 a 2,5 mm) e anterior (1,2 a 3 mm). <i>Efeitos dentários:</i> I1 reduz overjet (-4,6 a -5,6 mm) e overbite (-2,5 mm), pela inclinação (3,2° a 4,5°), protrusão (1,5 a 4 mm) e extrusão de incisivos inferiores; mesialização dos molares inferiores (0,8 a 3,6 mm) sem extrusão e distalização dos molares superiores (2,5 a 5,4 mm) com intrusão (-0,9 mm). Não houve alterações significativas nos incisivos superiores.	A combinação de várias pequenas mudanças (estatisticamente significativas) em diferentes áreas esqueléticas e dentárias produzem mudanças positivas, que não são clinicamente significativas. Q: Nível secundário de evidência. Pequeno tamanho da amostra. Uso de diferentes variáveis e pontos de referência da análise cefalométrica. Sem homogeneidade no tratamento e grupos controle (raça, gênero, idade). Poucos estudos usaram grupo controle com pacientes Classe II.

Quadro 1. Descrição das 14 revisões sistemáticas e metanálises incluídas na revisão sistemática de D'Antò et al.²³(Continuação).

Referência	Desenho do estudo, Diagnóstico, Nº de Pacientes	Intervenção (I), Grupos controle (C)	Medida de resultado	Instrumento, Qualidade dos estudos individuais	Resultados	Conclusões dos autores (C) Comentários sobre a qualidade dos estudos (Q)
Flores-Mir et al., 2006 ⁸³	Revisão sistemática de 5 ensaios clínicos (1 prospec. e 4 retrospec.); Classe II 1 ^a divisão; 228 indivíduos.	I1: Jasper Jumper; I2: Herbst; C: Sem tratamento.	Mudança no tecido mole	Checklist próprio: Baixo (2/5) Médio (3/5).	I1 aumenta o ângulo nasolabial, retrui a posição do <i>labrale superious</i> em relação ao plano de referência vertical e protrui a posição de <i>labrale inferious</i> em relação ao Plano Estético; I2 gera uma protrusão do mento mole, retrusão do <i>subnasale</i> , resultados contraditórios quanto à posição anteroposterior do lábio superior e nenhuma alteração no lábio inferior.	C: Há pouca evidência sobre o Jasper Jumper, com resultados contraditórios. O aparelho Herbst determina melhora significativa no perfil facial, que não é o produto de uma posição mais anterior do lábio inferior, e sim da retrusão do lábio superior. Embora aparelhos funcionais fixos produzam algumas mudanças estatisticamente significativas no perfil dos tecidos moles, a magnitude das mudanças pode não ser clinicamente significativa. Q: Baixo nível de evidência; estruturas de referência usadas não são confiáveis.
Flores-Mir e Major, 2006a ²⁰	Revisão sistemática de 2 ECCs; Classe II 1 ^a divisão; 59 indivíduos.	I1: Twin Block; C: Sem tratamento.	Mudança no tecido mole.	Checklist próprio: Baixo (1/2) Médio (1/2).	I1 não mostra evidência de mudança da convexidade facial, lábio inferior, nariz e mento mole. Alterações controversas no lábio superior mais retruído (-1,9 mm) em relação à linha estética.	C: Poucos estudos avaliaram as alterações no perfil dos tecidos moles. O aparelho Twin Block não produziu alterações no perfil dos tecidos moles clinicamente significativas. É necessária uma análise tridimensional das alterações dos tecidos moles.

Quadro 1. Descrição das 14 revisões sistemáticas e metanálises incluídas na revisão sistemática de D'Antò et al.²³(Continuação).

Referência	Desenho do estudo, Diagnóstico, Nº de Pacientes	Intervenção (I), Grupos controle (C)	Medidas de resultado	Instrumento, Qualidade dos estudos individuais	Resultados	Conclusões dos autores (C) Comentários sobre a qualidade dos estudos (Q)
Jacob et al., 2013 ⁸⁶	Revisão sistemática de 4 ECCs; Classe II hiperdivergentes; 221 indivíduos.	II: Extraoral com puxada alta (<i>splint</i> maxilar / molares bandados); C: Classe II Hiperdivergentes não tratados.	Mudanças esqueléticas (horizontais e verticais); Efeitos dentários (erupção do molar).	Antczak et al. modificado: Baixo – 4 pontos de 10 (1/4); Médio – 6/7 pontos de 10 (3/4).	II reduz o ângulo ANB (de 0,9 a 1,5°), diminui o overjet (2,6 a 6,5 mm). Deslocamento posterior estatisticamente significativo da maxila (0,1–0,5 mm), distalização do molar superior (0,5–3,3 mm), intrusão do molar superior (0,4–0,7 mm), retroinclinação (4,4–11,0°) e intrusão dos incisivos superiores (0,2–2,1 mm) também foram relatados com II. Sem efeitos sobre a mandíbula.	C: O tratamento com extra-oral de tração alta melhorou as relações esqueléticas anteroposteriores, deslocando a maxila posteriormente, mas não as relações esqueléticas verticais Q: Deve ser dada maior atenção ao desenho e relato dos estudos para melhorar a qualidade dos ensaios clínicos.
Olibone et al., 2006 ⁸⁹	Revisão sistemática de 45 referências (artigos e capítulos de livro); Classe II; Não descrito.	II: Twin Block; C: não foi descrito.	Crescimento mandibular; Efeito maxilar; Relação intermaxilar; Incisivo superior; Incisivo inferior.	-	II produz redução significativa do ângulo SNA; retroinclinação dos incisivos superiores, aumento do comprimento mandibular e crescimento do côndilo; projeção dos incisivos inferiores; melhora da relação maxilomandibular.	C: As alterações foram uma combinação de modificações do côndilo, a fossa mandibular, osso basal e alterações dentoalveolares. A maioria dos autores recomendou o uso do Twin Block durante o pico puberal.

Quadro 1. Descrição das 14 revisões sistemáticas e metanálises incluídas na revisão sistemática de D'Antò et al.²³(Continuação).

Referência	Desenho do estudo, Diagnóstico, Nº de Pacientes	Intervenção (I), Grupos controle (C)	Medidas de resultado	Instrumento, Qualidade dos estudos individuais	Resultados	Conclusões dos autores (C) Comentários sobre a qualidade dos estudos (Q)
Marsico et al., 2011 ⁹²	Revisão sistemática e metanálise de 4 ECRs; Classe II; 338 indivíduos.	II: Aparelhos funcionais (Ativador, HA, Fr-2, Bio, Twin Block); C: Sem tratamento.	Crescimento mandibular (comprimento total).	Avaliação do risco de viés: Alto risco (1/4); Risco indefinido (1/4); Baixo risco (2/4).	II aumenta o crescimento mandibular (1,79 mm no crescimento mandíbula anual) quando comparado com C, com heterogeneidade estatística.	C: O tratamento com aparelhos funcionais resulta em alteração do padrão esquelético (pequeno aumento do comprimento mandibular); todavia, mesmo que estatisticamente significativo, parece improvável que seja clinicamente significativo. A heterogeneidade dos resultados pode ser atribuído à diferença no tamanho da amostra dimensão e ao uso de diferentes aparelhos funcionais). Vários benefícios devem ser atribuídos ao tratamento precoce da má oclusão de Classe II com aparelhos funcionais. Q: Heterogeneidade em relação à análises, variáveis e pontos de referência cefalométricas.
Perillo et al., 2010 ⁹¹	Revisão sistemática e metanálise de 8 ensaios clínicos (7 retrospectivos e 1 prospec.) e 1 ECR; Classe II; 686 indivíduos	II Fr-2 (FR-2); C: Classe II não tratados.	Comprimento mandibular total; Comprimento do corpo mandibular; Altura do ramo.	Escala de Jadad Modificada: Baixo (7/9); Médio (2/9).	II melhora comprimento do corpo mandibular (0,4 mm/ano), comprimento total mandibular (0,02 mm/ano) e altura do ramo (0,65 mm/ano).	C: O aparelho FR-2 teve um efeito estatisticamente significante no crescimento mandibular com impacto clínico de baixo a moderado. Q: A qualidade do estudos variou de baixa a média. Heterogeneidade nas medições lineares, distribuição etária e duração do tratamento. Diagnóstico esquelético inicial pouco definido. Maioria dos estudos não randomizados e retrospectivos.

Quadro 1. Descrição das 14 revisões sistemáticas e metanálises incluídas na revisão sistemática de D'Antò et al.²³(Conclusão).

Referência	Desenho do estudo, Diagnóstico, Nº de Pacientes	Intervenção (I), Grupos controle (C)	Medidas de resultado	Instrumento, Qualidade dos estudos individuais	Resultados	Conclusões dos autores (C) Comentários sobre a qualidade dos estudos (Q)
Thiruvengatchari et al., 2013 ⁸⁵	Revisão sistemática e metanálise de 17 RCTs; Dentes superiores proeminentes (Classe II 1a divisão); 721 indivíduos.	Objetivo 1: I1: Aparelhos funcionais (Twin Block, Forsus, Andreasen, Frankel-2, Bass, Bio, Aparelho-R. Dynamax. Ativador de Harvold, AIBP, Herbst); I2: Extra-oral; C: Tratamento de adolescentes Objetivo 2: I1: Aparelhos funcionais C: Sem tratamento ou tipo diferente de aparelho.	Overjet; Relação intermaxilar (ANB); Trauma incisal.	Avaliação do risco de viés: Alto risco (11/17); Risco indefinido (4/17); Baixo risco (2/17).	I1 e I2 demonstraram diferença significativa no overjet e overbite quando comparados a C, após a primeira fase do tratamento precoce. Ao final do tratamento, a única diferença significativa foi a redução na incidência de trauma incisal. Foi detectada redução significativa no overjet (-5,22 mm) e no ANB (-0,63 °) quando foram comparados o tratamento ortodôntico funcional tardio à ausência de tratamento.	C: O tratamento ortodôntico precoce em crianças com incisivos superiores proeminentes é mais eficaz na redução da incidência de trauma incisal do que o tratamento ortodôntico em adolescentes. Não há outras vantagens em fornecer um tratamento precoce. Q: Baixa qualidade geral da evidência.

O problema de depender da cooperação do paciente no uso de propulsores removíveis ou híbridos induz o ortodontista a preferir dispositivos fixos, com garantia de uso em tempo integral, em busca de resultados mais previsíveis. Em 2015, a revisão sistemática realizada por Pacha et al.²¹ comparou a eficácia dos aparelhos funcionais fixos e removíveis no tratamento de pacientes Classe II esqueléticos em crescimento. Dos 989 artigos localizados, somente quatro foram incluídos na seleção final: dois ensaios clínicos randomizados que compararam os aparelhos de Herbst e Twin Block^{12,93} e dois ensaios clínicos controlados que compararam o Ativador (removível) ao Forsus FRD⁹⁴ (fixo híbrido) e ao *Twin Force Bite Corrector*⁹⁵ (fixo híbrido), respectivamente. Os estudos incluíram portadores de má oclusão Classe II com idade inferior a 16 anos e *overjet* superior a 5 mm. Foram avaliados e comparados resultados relevantes para profissionais (efeitos esqueléticos, dentários e tecido mole) e pacientes. O risco de viés foi avaliado pelo instrumento do grupo Cochrane. Como um dos estudos foi considerado pouco claro, com alto risco de viés, não foi possível efetuar uma metanálise. Foi observada heterogeneidade quanto à metodologia, tipo de intervenção e medidas de resultados. As experiências subjetivas dos pacientes e custos do tratamento foram analisados unicamente por O'Brien et al.¹². Os pacientes que utilizaram Twin Block sofreram maior desconforto na fala, no sono e nas atividades escolares do que os pacientes tratados com Herbst. A desvantagem do Twin Block ser removível foi refletida no índice superior a 34% de falha dos pacientes em completar o tratamento com este dispositivo. Dois estudos relataram o número de consultas regulares e de emergência^{12,93}. Somente O'Brien et al.¹² detectaram um número três vezes maior de consultas de emergência com o aparelho de Herbst (devido a fraturas) em relação ao aparelho de Twin Block. Os quatro estudos avaliaram alterações esqueléticas e dentárias; todavia, somente um estudo analisou mudanças no tecido mole. As amostras variaram de 20 a 215 participantes. A análise dos dados cefalométricos sugeriu que tanto os aparelhos funcionais fixos (Herbst, Forsus FRD e *Twin Force Bite Corrector*) quanto os removíveis (Ativador e Twin Block) corrigiram o excesso de *overjet* dos pacientes, através de uma combinação de mínimos efeitos esqueléticos e dentários no plano sagital. Os aparelhos de Herbst e Twin Block melhoraram a discrepância esquelética anteroposterior, aumentaram o comprimento mandibular e reduziram o *overjet* (4,5-5 mm) nos dois estudos. A mudança nas dimensões verticais foi relatada somente por um estudo, de Baysal e Uysal⁹³, que mostrou um aumento da altura facial inferior anterior e posterior e da altura dos ramos mandibulares. Apenas um estudo⁹³ avaliou alterações no perfil facial, e detectou que os aparelhos de Herbst e Twin Block induziram melhora no ângulo de convexidade de tecidos moles, redução no ângulo H, redução no ângulo nasolabial e retração

dos lábios superior e inferior: todas mudanças favoráveis significativas, sem diferença significativa entre os aparelhos. Estes resultados no tecido mole foram considerados surpreendentes, porque não corroboraram com estudos prévios. Os autores observaram uma inconsistência entre os estudos nos parâmetros utilizados e também no método de intervenção. Os estudos incluídos relataram que o tempo de tratamento com aparelho funcional foi menor com os dispositivos fixos. Todavia, a duração do tratamento foi afetada pelo término do estudo. Baseados na evidência disponível, os autores concluíram que tanto os aparelhos fixos quanto removíveis foram efetivos na redução do *overjet* em crianças e que há pouca evidência sobre a eficácia dos aparelhos funcionais quanto aos efeitos esqueléticos, dentários, nos tecidos moles e na percepção dos pacientes submetidos a estas terapias.

Os efeitos do tratamento de portadores de má oclusão de Classe II com propulsores mandibulares exclusivamente removíveis foram analisados pela revisão sistemática e metanálise de Koretsi et al⁹⁶. Foi efetuada uma pesquisa eletrônica em 18 bancos de dados e pesquisas manuais de estudos publicados até outubro de 2013. Os critérios de seleção foram: ensaios clínicos prospectivos randomizados e não randomizados, com dados de medidas angulares cefalométricas de pacientes Classe II tratados com propulsores mandibulares removíveis comparados a Classe II não tratados. As alterações esqueléticas, dentárias e de tecidos moles foram analisadas e estratificadas para efeitos de curto e longo prazo. As limitações metodológicas foram avaliadas com o instrumento de risco de viés Cochrane e o *checklist* Downs e Black. Foram calculadas diferenças médias (DMs) com intervalos de confiança de 95% (ICs) a partir de metanálises de efeitos aleatórios. Análises de subgrupo relacionadas ao paciente ou ao aparelho e análises de sensibilidade foram realizadas com modelos de efeito misto. Dezesete estudos foram incluídos (1031 pacientes, média de idade de 10,6 anos), dos quais a maioria foi proveniente de clínicas universitárias, com acompanhamento a curto prazo (imediatamente após a remoção dos aparelhos). Os aparelhos utilizados pelos estudos foram: Ativador, Bionator, Fränkel-Ib, Fränkel-II, de Sander, Twin Block e Twin Block modificado. O tratamento foi associado a uma redução mínima do ângulo SNA (11 estudos, DM = $-0,28^\circ$ /ano), aumento mínimo do ângulo SNB (11 estudos, MD = $0,62^\circ$ /ano) e pequena diminuição do ângulo ANB (10 estudos, MD = $-1,14^\circ$ /ano) em comparação a pacientes Classe II não tratados. Os aparelhos funcionais removíveis causaram alterações sagitais dentoalveolares significativas (predominante retroinclinação dos incisivos superiores e pouca projeção de incisivos inferiores) e nos tecidos moles (mudanças favoráveis em todas as medidas, principalmente o ângulo mentolabial). As alterações esqueléticas e a retroinclinação de incisivos superiores foram mais pronunciadas com o aparelho Twin Block.

Somente cinco estudos relataram o grau de cooperação dos pacientes com os aparelhos, o qual foi moderado. Vários fatores relacionados ao paciente ou ao aparelho influenciaram os resultados das análises de subgrupos, enquanto as análises de sensibilidade indicaram robustez. A qualidade geral dos estudos foi considerada moderada e inadequada para avaliar a eficácia a longo prazo dos aparelhos funcionais removíveis. Concluiu-se que as evidências a curto prazo indicam que os aparelhos funcionais removíveis são eficazes em corrigir a má oclusão de Classe II, através de mínimos efeitos esqueléticos (restrição do crescimento maxilar e estímulo do crescimento mandibular) e maiores efeitos dentoalveolares e no tecido mole.

A revisão sistemática de Santamaría-Villegas et al⁹⁷ (2017) comparou todos os aparelhos funcionais removíveis com enfoque no efeito no crescimento mandibular de pacientes Classe II retrognatas, para identificar qual seria o mais efetivo. Foi realizada uma revisão sistemática e metanálise, incluindo estudos publicados e indexados em bancos de dados entre 1966 e 2016. Como os ensaios clínicos randomizados (ECRs) são os mais rigorosos para determinar se existe uma relação causa-efeito entre tratamento e resultado, e para avaliar a relação custo-benefício de um tratamento, esta metanálise selecionou somente este tipo de estudo. Os outros critérios de inclusão foram: mínimo de 6 meses de tratamento ativo, grupo controle de pacientes Classe II, pacientes em crescimento (de 6 a 18 anos). Dos 50 artigos localizados, somente 5 ensaios clínicos randomizados foram incluídos nesta metanálise, os quais avaliaram os efeitos dos aparelhos funcionais no comprimento mandibular através das medidas cefalométricas Condílio-Gnátio (Co-Gn) e Condílio-Pogônio (Co-Po). Os autores defenderam que a principal limitação em comparar as medidas do comprimento mandibular entre os diferentes estudos foi a deficiência na consistência das medidas. Por isso, as medições foram restritas a estas duas medidas cefalométricas, para reduzir o potencial risco de viés de medição. Os dados foram analisados com o teste Cochrane Q e modelo de efeitos aleatórios. A diferença geral no comprimento da mandíbula foi de 1,53 mm [intervalo de confiança (IC) 95% 1,15-1,92] em comparação ao grupo não tratado. O aumento no comprimento mandibular foi maior com o *Sander Bite Jumping* (3,40 mm), seguido pelo Twin Block (1,80 mm), Bionator tipo II (1,32 mm), Ativador Harvold (0,69 mm) e Frankel (0,69 mm). A estimativa combinada do efeito avaliado pelo modelo de efeito fixo revelou um aumento estatisticamente significativo no comprimento mandibular dos indivíduos tratados. Concluiu-se que os aparelhos funcionais ortopédicos seriam eficazes em aumentar o comprimento mandibular, independentemente do tipo de aparelho. O aparelho

Sanders Bite Jumping foi considerado o dispositivo mais eficaz para melhorar o comprimento da mandíbula.

A evidência disponível sobre os efeitos do tratamento da Classe II obtidos somente com aparelhos funcionais fixos foi avaliada pela revisão sistemática e metanálise de Zymperdikas et al.²⁵, em 2016. Foi efetuada uma busca eletrônica em 18 bases de dados e buscas manuais de publicações existentes até outubro de 2014. Dos 9115 artigos localizados, somente nove ensaios clínicos randomizados ou controlados foram incluídos, os quais analisaram mudanças cefalométricas angulares referentes à posição maxilomandibular de 244 pacientes Classe II tratados e 174 indivíduos não tratados. Os aparelhos funcionais fixos utilizados nos estudos foram: modificador de crescimento mandibular lingual fixo, Forsus FRD, Herbst com coroas de aço inoxidável, Herbst modificado, Herbst fundido, Jasper Jumper, mola universal de Sabbagh e *Sydney magnoglide*. Dos nove estudos, somente um não relatou o estágio de maturação esquelética dos pacientes; cinco trataram os pacientes durante o pico, cinco no pós-pico e três no pré-pico. Os dados cefalométricos esqueléticos, dentários e de tecidos moles foram analisados por ano de tratamento e estratificados de acordo com os tempos de avaliação. Foram calculados o risco de viés, as diferenças médias e intervalos de confiança de 95% com modelos de efeito aleatório. Análises relacionadas ao paciente e ao aparelho, e análises de sensibilidade foram efetuadas em modelos de efeito misto. Os nove estudos incluídos relataram as alterações cefalométricas detectadas imediatamente após a remoção dos propulsores fixos. A média de idade dos tratados foi de 13,5 anos; e a dos não tratados foi de 12,8 anos. Os resultados indicaram que o tratamento da Classe II com os aparelhos funcionais fixos foi associado a alterações esqueléticas clinicamente insignificantes, com uma pequena redução do ângulo SNA ($-0,83^\circ/\text{ano}$), um pequeno aumento do ângulo SNB ($+0,87^\circ/\text{ano}$) e moderada redução no ângulo ANB ($-1,74^\circ/\text{ano}$). Os efeitos foram mais pronunciados na dentição (acentuada projeção dos incisivos inferiores e retroinclinação dos superiores) e no tecido mole (com mudanças favoráveis em todas as medidas, principalmente no ângulo mentolabial, ângulo H e ângulo N'SnPg'). Vários fatores relacionados ao paciente ou ao aparelho parecem afetar o resultado do tratamento. A correção esquelética e da convexidade facial foram significativamente relacionados ao gênero dos pacientes. O estágio do surto de crescimento puberal influenciou os resultados: nas fases pré-pico e pico, os resultados esqueléticos foram mais pronunciados; na fase pós-pico os efeitos foram predominantemente dentoalveolares. O aparelho Jasper Jumper obteve o maior efeito no estímulo do crescimento mandibular SNB ($+2,62^\circ/\text{ano}$). O aparelho Forsus causou a maior projeção de incisivos inferiores. O avanço mandibular progressivo causou maior projeção de

incisivos inferiores e retroinclinação dos superiores do que o avanço em única etapa. Foram detectadas algumas diferenças nos efeitos obtidos pelos três tipos diferentes de aparelhos de Herbst utilizados nos estudos incluídos: o modelo fundido causou maior projeção de incisivos inferiores do que os modelos bandados; os modelos com *splint* acrílico e com coroas de aço produziram mudanças esqueléticas similares. Os autores concluíram que de acordo com a evidência disponível, os aparelhos funcionais fixos parecem ser efetivos na correção da má oclusão Classe II no curto prazo, com efeitos mínimos esqueléticos e predominantemente dentoalveolares, com projeção de incisivos inferiores e perda de ancoragem inferior, com melhora dos tecidos moles.²⁵

Em 2015, a revisão sistemática de Yang et al.²⁴ enfocou exclusivamente os efeitos do uso do aparelho de Herbst para tratamento de pacientes portadores de má oclusão de Classe II, 1ª divisão. A busca incluiu todas as publicações disponíveis nas bases eletrônicas (PubMed, Web of Science, Embase, CENTRAL, SIGLE e ClinicalTrial.gov) até dezembro de 2014. Os critérios de inclusão foram: ensaios clínicos randomizados ou ensaios clínicos controlados que utilizaram qualquer tipo de aparelho Herbst para corrigir más oclusões de Classe II, 1ª divisão, que avaliaram alterações esqueléticas e dentárias por cefalogramas laterais. Foram excluídos os estudos com pacientes sindrômicos, relatos de casos clínicos individuais, de séries de casos e de intervenções cirúrgicas. A triagem de artigos, a extração de dados, a avaliação de risco de viés e a avaliação da qualidade das evidências foram efetuadas de forma independente por dois ortodontistas bem treinados. Foram realizadas análises de sensibilidade e de subgrupos para avaliar a robustez da metanálise. Dos 654 artigos localizados, apenas 12 ensaios clínicos controlados prospectivos com adolescentes foram incluídos. O tamanho amostral variou de 8 a 55 pacientes e o período de tratamento ativo variou de 5 a 30 meses. Todos apresentaram dados de onze medidas aferidas durante o período do tratamento ativo e também o efeito a longo prazo: quatro angulares (SNA, SNB, ANB e ângulo do plano mandibular) e sete lineares (Co-Go, Co-Gn, *overjet*, sobremordida, relação molar, A point-OLp, Pg-OLp). A metanálise e análise de sensibilidade revelaram que todas essas medidas mostraram alterações significativas relevantes clinicamente, exceto por SNA, ANB e sobremordida. Houve um aumento significativo no SNB (MD = +1,06°), redução no SNA (MD = -0,56°) e no ANB (-1,08°). Os resultados detectaram aumento de Pg-OLp (1,45 mm) e Co-Gn (1,74 mm) depois do tratamento. Todavia, é preciso destacar que embora as mudanças esqueléticas tenham sido estatisticamente significantes, não foram clinicamente significantes. Como a mudança esquelética (Co-Gn = 1,74 mm) foi inferior à melhora total na discrepância dentária (relação molar = 5,74mm), os autores sugeriram que ambas as mudanças esqueléticas

e dentárias contribuíram para a correção, e esta metanálise não pôde quantificar suas contribuições relativas. Logo, o aparelho de Herbst pode corrigir a relação sagital entre os dentes superiores e inferiores através de uma combinação de mudanças esqueléticas e dentárias. Os resultados também mostraram que não houve alteração significativa do ângulo do plano mandibular, que indica a relação vertical das bases ósseas. Também foi realizada uma análise de subgrupo, já que diferentes tipos de aparelhos de Herbst nos estudos incluídos poderia influenciar os resultados da metanálise. Os estudos foram divididos em 3 subgrupos de tipos de aparelho de Herbst: tipo bandado, tipo *splint* acrílico e tipo coroa de edgewise. Os resultados demonstraram que diferentes tipos de Herbst exerceram efeitos distintos nas medidas avaliadas. Especificamente, o subgrupo bandado demonstrou mudanças significantes no SNA, SNB e Pg-OLp; o subgrupo tratado com *splint* acrílico apresentou mudanças no SNA, ANB, sobremordida e ponto A-OLp; e no subgrupo que recebeu coroas edgewise foram detectadas mudanças significantes somente na distância Pg-OLp. As limitações desta metanálise foram: número limitado de estudos de elevada qualidade, como ECRs (ensaios clínicos randomizados), ausência de resultados de tratamento a longo prazo e ausência do controle das magnificações cefalométricas. Os autores comentaram que devido ao baixo nível de qualidade de evidência e viés das publicações, os resultados deveriam ser interpretados com cautela. Os autores concluíram que o aparelho de Herbst foi eficaz na melhora da discrepância dentária sagital e melhorou as posições intermaxilares de pacientes Classe II no período de tratamento ativo. São necessários mais estudos para analisar aos efeitos a longo prazo.

Desde 2009, tem sido sugerido o uso de ancoragem esquelética associada aos aparelhos funcionais fixos para potencializar as mudanças esqueléticas e reduzir o principal efeito colateral: a projeção dos incisivos inferiores. A metanálise mais recente sobre este tópico, de Elkordy et al.⁷ (2015) comparou os efeitos esqueléticos e dentoalveolares do uso de propulsores mandibulares fixos com e sem ancoragem esquelética (mini-implantes ou mini-placas). Foram incluídos ensaios clínicos controlados prospectivos randomizados e não-randomizados que compararam diretamente o uso de aparelhos funcionais fixos com e sem ancoragem esquelética no tratamento de pacientes portadores de má oclusão Classe II em crescimento. Dos 862 artigos identificados, somente cinco trabalhos foram incluídos: dois ensaios clínicos randomizados e três estudos clínicos controlados, que analisaram os dados cefalométricos de 157 indivíduos Classe II (77 tratados com ancoragem esquelética associada ao aparelho e 80 tratados exclusivamente com o aparelho funcional). Destes, apenas um estudo utilizou tomografias de feixe cônico; os restantes utilizaram cefalometria

convencional. Os estudos incluíram ancoragem com mini-implantes ou mini-placas. As mini-placas foram utilizadas para ancoragem direta, enquanto os mini-implantes foram usados para ancoragem indireta, amarrados aos dentes inferiores. Os estudos utilizaram os aparelhos Forsus, Twin Force Bite Corrector e Herbst. O comprimento mandibular foi avaliado em dois estudos, pela medida entre os pontos Articular (Ar) e Pogônio (Pog); e em um terceiro estudo, através da medida entre Condílio (Co) e Gnátio (Gn). Não foram detectadas diferenças significantes no comprimento mandibular (1,22 mm) e nas mudanças dos ângulos SNA ($-0,25^\circ$), SNB ($+0,64^\circ$) e ANB ($-0,88^\circ$) quando a ancoragem esquelética foi associada aos aparelhos funcionais. Foi observada elevada heterogeneidade ($I^2 = 89\%$) na mudança do ângulo SNB relatada pelos estudos (SMD = 1,20; 95% CI - 0,37 a 2,77). Não foi observada uma superioridade no uso de ancoragem esquelética associado aos aparelhos funcionais na obtenção de efeitos esqueléticos adicionais. Todavia, o nível de evidência dos estudos incluídos variou de baixo a muito baixo, o que indica incerteza na estimativa do efeito. A metanálise mostrou que quando a ancoragem esquelética foi utilizada ocorreu uma redução significativa da projeção dos incisivos inferiores ($-8,93^\circ$) e aumento na inclinação dos incisivos superiores ($-4,72^\circ$). O uso de mini-placas resultou em maior redução da projeção de incisivos inferiores do que os mini-implantes. Este resultado foi importante, porque reflete a perda de ancoragem do arco inferior, o maior fator limitante para a obtenção de efeitos esqueléticos pela terapia com aparelhos funcionais fixos. Estudos anteriores relataram que nenhum dos aparelhos funcionais fixos ou removíveis conseguiu contornar este problema de perda de ancoragem. As diferenças entre os subgrupos foram altamente significantes na maioria dos resultados. Os efeitos a longo prazo não foram relatados nos estudos selecionados, o que impediu a análise da estabilidade nesta revisão. Os autores concluíram que a evidência sobre os efeitos do uso da ancoragem esquelética associada aos aparelhos funcionais fixos é fraca e foi inconclusiva. O baixo nível de evidência disponível sugere que a associação da ancoragem esquelética não induziu alterações esqueléticas adicionais na correção da Classe II, porém foi capaz de reduzir a projeção de incisivos inferiores e aumentou a retroinclinação dos incisivos superiores. Uma limitação desta metanálise foi a representação de resultados por “SMD”, de acordo com as recomendações da Cochrane para combinar dados de estudos com cefalogramas laterais com tomografias de feixe cônico. Conseqüentemente, os dados podem ter sofrido um alto risco de erros e maior dificuldade na interpretação dos resultados. Outra importante limitação foi a omissão de dados sobre gênero e estágio de maturação esquelética dos pacientes tratados nos estudos incluídos. São necessários novos ensaios clínicos com desenho adequado que utilizem metodologia 3D.

1.4 Evolução da imagiologia em Ortodontia: do 2D ao 3D

1.4.1 Histórico da cefalometria 2D

A imagem craniofacial é utilizada pelos ortodontistas para analisar o tamanho e a forma das estruturas esqueléticas, dentárias e de tecido mole importantes para o diagnóstico, plano de tratamento e aferição de resultados obtidos nos pacientes. A cefalometria (do grego: “medidas da cabeça”) foi originalmente desenvolvida como uma técnica antropológica para analisar a forma e o tamanho do crânio. A descoberta dos raios X pelo físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen, em 1895, revolucionou a Medicina e a Odontologia. Enquanto estudava o efeito de descargas elétricas em tubos de gás, deparou-se com um tipo de radiação capaz de atravessar tecidos e sensibilizar o filme fotográfico, radiografando-os. Desde então, foram desenvolvidas diversas aplicações clínicas, técnicas de tomadas radiográficas de todas as regiões anatômicas do corpo humano e redução da dose de radiação utilizada.⁶⁵

Em 1931, o ortodontista norte-americano Birdsall Holly Broadbent iniciou a fase científica da Ortodontia ao idealizar o cefalostato (dispositivo que permitia colocar a cabeça do paciente sempre na mesma posição), apresentar uma técnica de padronização da tomada radiográfica da região craniofacial e introduzir a análise cefalométrica bidimensional (ou cefalometria roentgenográfica).⁹⁸ Desde aquela época, os cefalogramas tornaram-se rotineiramente utilizados como ferramenta de clínica e pesquisa para o estudo do crescimento, desenvolvimento craniofacial e dos efeitos dos tratamentos ortodôntico e ortocirúrgico⁶⁵.

No entanto, devido às limitações inerentes à tradicional cefalometria bidimensional, a utilização deste método como fonte de informação para o planejamento ortodôntico tem sido questionada. Abaixo, foram listadas as principais limitações:

a) A radiografia cefalométrica convencional é uma representação bidimensional de uma estrutura tridimensional. Quando um objeto tridimensional é representado em duas dimensões, as estruturas da imagem são deslocadas vertical e horizontalmente, de forma proporcional à distância entre a estrutura anatômica e a película radiográfica⁹⁹;

b) As análises cefalométricas são baseadas na premissa de uma sobreposição perfeita entre os lados esquerdo e direito sobre o plano sagital mediano. Todavia, como a simetria facial é muito rara, ocorre um deslocamento relativo de imagens entre os lados esquerdo e

direito. Este fenômeno dificulta a avaliação precisa das anomalias craniofaciais, principalmente das assimetrias faciais⁶⁵;

c) A geometria de projeção divergente impede a capacidade de aquisição de informações dimensionais precisas, alinhadas na direção do feixe de raios X⁶⁵;

d) Diversos erros de projeção radiográfica estão associados à aquisição da imagem, tais como: distorção de ampliação, erros no posicionamento do paciente e distorções de projeção inerentes à relação geométrica foco-paciente-filme⁶⁵;

e) A coleta manual de dados e o processamento das análises cefalométricas têm demonstrado baixa acurácia e precisão⁶⁵;

f) Erro associado à dificuldade de visualização e localização dos pontos anatômicos, devido à sobreposição de estruturas, deficiência de algumas características anatômicas bem definidas (contornos, bordas ósseas, sombras) e possíveis variações no posicionamento do paciente. A localização incorreta dos pontos anatômicos é considerada a maior fonte de erros cefalométricos ^{65,99}.

Desde a década de 1980, os estudos têm destacado a falta de validade das análises cefalométricas como instrumento de diagnóstico, pois as conclusões obtidas a partir de cefalogramas podem variar significativamente, dependendo da análise utilizada^{21,23,99,100}. Em 2002, Hatcher¹⁰¹ categorizou as fontes de erro inerentes à cefalometria tradicional. O **erro de orientação interna** refere-se ao relacionamento tridimensional do paciente em relação ao feixe central de raios-X ou ao dispositivo de imagem, e ocorre quando não é realizado um posicionamento específico e consistente de cabeça. O **erro de orientação externa** ocorre no relacionamento espacial tridimensional entre o dispositivo de imagem, a estabilização do paciente em relação ao dispositivo e à captura de imagem; este erro é mínimo quando a distância da fonte de raios X ao centro do cefalostato é de 60 cm. O **erro geométrico** alude à ampliação diferencial determinada pela divergência dos raios X ao longo da distância entre o emissor de radiação, o captador da imagem e o objeto tridimensional irradiado. Por fim, o **erro de associação** refere-se à dificuldade em identificar o mesmo ponto anatômico em duas ou mais projeções adquiridas de diferentes tomadas, que é proporcional à magnitude da mudança ocorrida no ângulo de divergência entre as tomadas.

O uso dos computadores auxiliou na redução de tais erros. Todavia, também podem inserir novos, devido ao tamanho do *pixel*, à perda de informação de cor e contraste, e a erros de calibração da máquina de raios X. Todavia, persistem as variações na identificação de um mesmo ponto em diferentes cefalogramas, além das diferentes ampliações obtidas em duas tomadas radiográficas distintas ⁶⁵.

1.4.2 Histórico da tomografia computadorizada convencional e de feixe cônico

Com o objetivo de minimizar os erros radiográficos e obter uma representação tridimensional precisa da anatomia humana, houve o advento da tomografia computadorizada. Tomografia é um termo geral utilizado para uma técnica radiográfica que forneça a imagem de uma camada ou plano de um tecido, que pode ser orientado de acordo com a região anatômica estudada⁶⁵.

A tomografia computadorizada (TC) é um método de diagnóstico por imagem que utiliza a radiação X e permite obter a reprodução de secções do corpo humano nos três planos do espaço: axial, coronal e sagital (Figura 2). Este exame permite visualizar todas as estruturas em camadas, principalmente os tecidos mineralizados (como ossos e dentes), e delimitar irregularidades tridimensionalmente¹⁰².

Figura 2 – Imagens de cortes de tomografia computadorizada de um crânio humano nos planos coronal, axial e sagital.



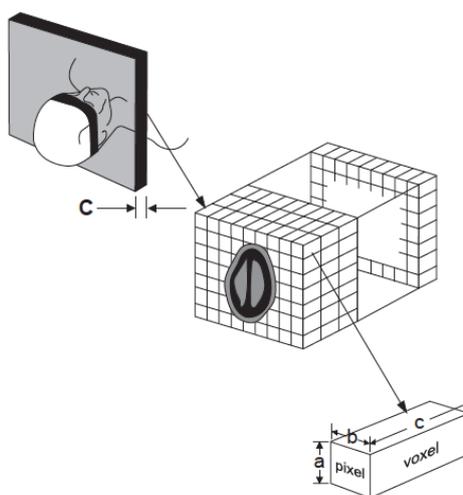
Fonte: Garib et al.¹⁰²

Esta modalidade de exame foi desenvolvida no início da década de 1970 pelo engenheiro inglês Godfrey Hounsfield e pelo físico sul africano Allan Cormack, os quais foram recompensados pela descoberta com o prêmio Nobel de Medicina de 1979. O primeiro tomógrafo acomodava somente a cabeça do paciente e necessitava de 4,5 minutos para escanear um corte e mais 1,5 minutos para reconstruir a imagem no computador. Nas quatro décadas seguintes, a evolução tecnológica reduziu o tempo de aquisição e a dose de radiação, e melhorou a qualidade das imagens.

A imagem tomográfica é composta unitariamente por *pixels*. Cada *pixel* apresenta um número que traduz a densidade tecidual ou o seu poder de atenuação da radiação, que na escala de Hounsfield varia de -1000 (densidade do ar) até +1000 (densidade da cortical

óssea), no qual o zero representa a densidade da água. Os tecidos de maior densidade que são decodificados com um número positivo pelo tomógrafo são denominados hiperdensos, enquanto os tecidos com densidade inferior à água recebem um número negativo e são denominados hipodensos. A imagem de TC ainda apresenta uma terceira dimensão, o *voxel*, a menor unidade da imagem na espessura do corte (Figura 3), a qual pode variar de 0,5 a 2,0 mm, dependendo da região anatômica e da qualidade da imagem desejada.

Figura 3 – Representação esquemática das unidades que compõem a imagem da tomografia computadorizada tradicional: *pixel* e *voxel*.



Fonte: Garib et al.¹⁰²

Todavia, as doses elevadas de radiação, o alto custo financeiro da tomografia tradicional e a evolução tecnológica levaram ao advento da tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC). A versatilidade dessa técnica tornou a tomografia altamente desejável quando o objetivo é a obtenção de imagens precisas da região craniofacial (ATMs, maxila e mandíbula). Esta nova tecnologia permitiu à Odontologia obter a reprodução da imagem tridimensional dos tecidos dentofaciais, com menor custo financeiro, mínima distorção e dose de radiação reduzida¹⁰².

Os primeiros relatos sobre a utilização da tomografia computadorizada de feixe cônico em Odontologia datam do final da década de 1990. Em 1998, um grupo de italianos liderados por Mozzo, da Universidade de Verona, apresentaram os resultados preliminares do NewTom-9000: um novo aparelho de TC volumétrica para imagens odontológicas com elevada acurácia baseado na técnica do feixe em forma de cone (*cone-beam technique*), com uma dose de radiação de 1/6 em relação à TC tradicional¹⁰¹. A técnica do feixe cônico já tinha

sido previamente utilizada para radioterapia, imaginologia vascular e microtomografia de pequenos espécimes, com aplicabilidade biomédica ou industrial¹⁰².

Em 1999, um grupo de professores de radiologia odontológica japoneses e finlandeses apresentou um novo aparelho com tecnologia e recursos muito similares ao NewTom-9000: o Ortho-CT, um tomógrafo que consistia no aparelho convencional de radiografia panorâmica finlandês Scanora, com a película radiográfica substituída por um intensificador de imagem¹⁰².

Desde 2000, o tomógrafo computadorizado odontológico tornou-se mundialmente disponível. O aparelho de TC de feixe cônico é compacto e assemelha-se ao aparelho de radiografia panorâmica, no qual o paciente pode ficar sentado ou deitado. Apresenta dois componentes principais: o tubo de raios X, que emite um feixe em forma de cone, e um detector de raios X. O sistema tubo-detector realiza um giro de 360 graus em torno da cabeça do paciente. A cada grau, o aparelho obtém uma imagem base da cabeça do paciente. Ao término do exame, essa sequência de imagens (*raw data*) é reconstituída para gerar a imagem volumétrica em 3D no computador acoplado ao tomógrafo. Embora o tempo de exame possa variar de 10 a 70 segundos, o tempo de exposição efetiva à radiação é de aproximadamente 3 segundos¹⁰².

Os exames de TC e TCFC são armazenados na linguagem *Digital Imaging and Communication In Medicine* (DICOM). Os programas de TCFC permitem a reconstrução multiplanar do volume escaneado, ou seja, a visualização de imagens axiais, coronais, sagitais e oblíquas, assim como a reconstrução em 3D. Uma grande vantagem da manipulação de imagens DICOM de tomografias é que os programas de computador disponíveis podem ser instalados em computadores convencionais e permitem gerar imagens bidimensionais a partir da TCFC, com cortes similares à radiografia panorâmica e às telerradiografias em norma lateral e frontal¹⁰².

A partir do corte axial, obtêm-se as reconstruções secundárias, incluindo as reconstruções coronais, sagitais, os cortes perpendiculares ao contorno dos arcos dentários (ortorradiais ou trans-axiais), as reconstruções em 3D e as imagens convencionais bidimensionais. Sobre todas essas imagens, é possível efetuar mensurações digitais lineares e angulares e destacar com cores as estruturas de interesse.¹⁰²

O volume total da área escaneada apresenta um formato cilíndrico, de tamanho variável, de acordo com o aparelho: o FOV, e a menor unidade de uma tomografia é o *voxel* (*volume element* / elemento volumétrico). Na TCFC, o *voxel* é chamado de isométrico: apresenta altura, largura e profundidade de iguais dimensões. Cada lado do *voxel* apresenta dimensão

submilimétrica (de 0,119 a 0,4 mm) e, portanto, a imagem de TC apresenta excelente resolução. As análises qualitativas e quantitativas feitas com TCFCs mostram elevada acurácia da imagem, que permite distinguir as camadas de esmalte, dentina, cavidade pulpar e cortical alveolar em Odontologia.¹⁰²

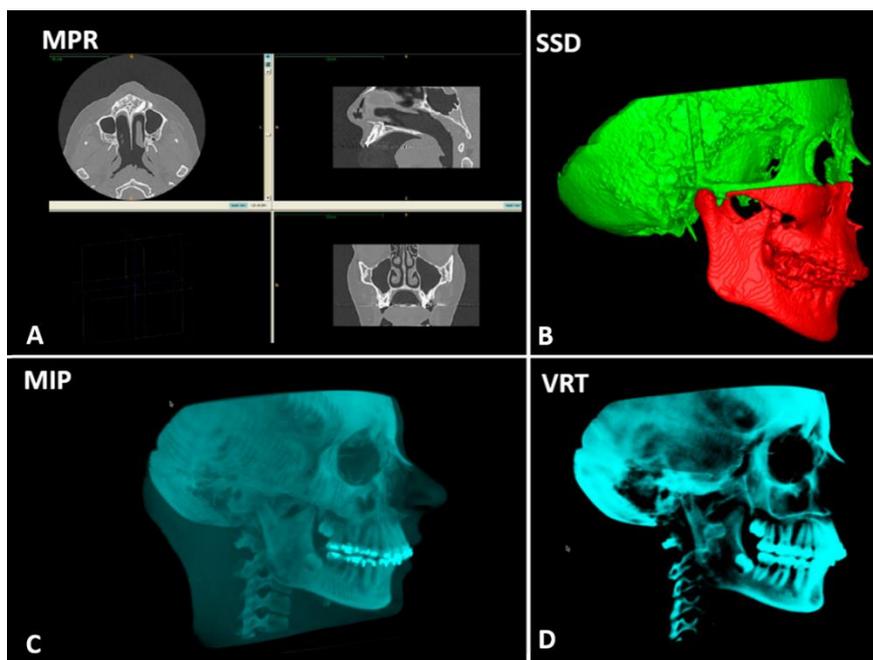
Especificamente na Ortodontia, a TCFC tem ampla aplicabilidade clínica, e dentre outras possibilidades, permite avaliar: (1) o posicionamento tridimensional e o diâmetro mésiodistal de dentes permanentes não irrompidos; 2) as espessuras das corticais ósseas vestibulares e linguais, para avaliar possibilidade de instalação de mini-implantes ou de movimentação dentária; 3) as dimensões das vias aéreas superiores; 4) defeitos e enxertos ósseos na região de fissuras lábio-palatais; 5) dados cefalométricos; 6) a análise tridimensional dos tecidos moles e duros dos pacientes antes, durante e depois do tratamento.¹⁰²

1.4.3 Pós processamento das imagens de CBCT e CT: visualização e construção de modelos 3D

A ferramenta de reconstrução multiplanar (MPR - *multiplanar reformats*) permite a obtenção de cortes em outros planos a partir dos cortes transaxiais. Todavia, a visualização isolada de cada corte do MPR é incapaz de representar tridimensionalmente a estrutura anatômica avaliada (Figura 4-A)¹⁰³.

O desenvolvimento de algoritmos de pós processamento 3D permitiu a geração de diferentes tipos de imagens 3D a partir das tomografias (Figura 4): (1) a visualização por superfície sombreada (SSD - *surface shaded display*); (2) os modelos tridimensionais de projeções de máxima intensidade (MIP - *maximum intensity projections*), e (3) técnica de representação de volume (VRT - *volume rendering technique*)¹⁰³.

Figura 4 – Exemplos das opções de pós processamento das imagens.



Legenda: A) MPR; B) SSD; C) MIP; D) VRT.

As visualizações MIP e VRT são úteis quando é necessário apenas visualizar o modelo 3D do paciente, sem qualquer tipo de mensuração. Já as visualizações SSD são as únicas que geram uma superfície composta de diversos pontos conectados, que permite a análise quantitativa de medidas lineares, angulares e volumétricas dos modelos, e também a superposição de diferentes tempos por meio da técnica de melhor ajuste (“*best fit*”). Os modelos SSD podem ter uma ou mais camadas, e a técnica de isolamento e reconstrução de regiões anatômicas é denominada segmentação de estruturas¹⁰⁴.

Este processo de segmentação das estruturas para construção de modelos 3D pode ser manual, automático ou semiautomático. No processo automático e semiautomático, o programa recebe a informação do usuário de qual a amplitude de valores de intensidade dos *voxels* que devem ser reproduzidos no modelo e qual a diferença esperada de contraste entre estes. Dessa forma, os algoritmos matemáticos auxiliam a escolha de elementos de volume adjacentes à área inicial de criação do modelo, automatizando o processo¹⁰⁵. Nesta visualização, também é possível controlar o limiar de intensidade dos *voxels* (*threshold*) que serão incluídos na reformatação, para selecionar quais regiões anatômicas serão incluídas no modelo 3D gerado¹⁰³.

O *threshold* especifica os valores inferior e superior de um certo intervalo de intensidade, classificando um *voxel* dependendo apenas de sua intensidade. O intervalo de valores

apropriado de *threshold* deve ser selecionado para a TCFC de cada paciente e região anatômica, porque a densidade dos tecidos varia entre os indivíduos¹⁰⁶.

A principal limitação do *threshold* isolado é sua propensão a artefatos. Esses artefatos são criados porque um *voxel* é representado por apenas um número na escala de cinza, calculado a partir da média das diferentes densidades dentro deste *voxel*. Portanto, os números que representam estruturas de CBCT com paredes ósseas finas possuem uma tendência a ficarem inferiores à faixa *threshold* que representa o osso. Isso ocorre porque a densidade dessas estruturas será calculada em média com a do ar circundante. Este efeito provoca cavidades nas reconstruções 3D dos côndilos e áreas de osso cortical fino, como a face interna do ramo mandibular e grande parte da maxila¹⁰⁷.

Para controlar este problema, foram desenvolvidas ferramentas de segmentação avançadas que permitem o controle individualizado de regiões menores do volume a ser reconstruído e que permitam também a utilização de outros parâmetros que não só a intensidade dos *voxels*, como o programa ITK-SNAP. O software SNAP foi resultado de 6 anos de desenvolvimento e é o aplicativo mais utilizado que utiliza o *Insight Toolkit* (ITK), uma renomada base de dados de algoritmos de análises de imagem fundada pelo *Visible Human Project* na *U.S. National Library of Medicine*. Desta forma, podem ser criados modelos 3D fidedignos e mensuráveis¹⁰⁵.

1.4.4 Superposição de imagens 3D

A superposição de tomografias de feixe cônico em estruturas estáveis de referência possibilitou a avaliação das mudanças tridimensionais ocorridas em pacientes em crescimento e sem crescimento³². A avaliação dos resultados pelo uso de imagens 3D de TCFC tem o potencial de revelar as interações entre os componentes dentários, esqueléticos e de tecido mole que representam a resposta ao tratamento¹⁰⁸. Embora ainda não seja possível diferenciar as mudanças dentofaciais causadas pelo tratamento das induzidas pelo crescimento, tanto pelos métodos de superposição 2D quanto pelos 3D^{71,109,110}, as superposições 3D revelam áreas de deslocamento e remodelação ósseas^{28,111}.

O objetivo da superposição 3D de imagens seriadas é compreender como as mudanças em tamanho e forma e os deslocamentos de posição relativos dos componentes esqueléticos e de tecido mole da face contribuem para as mudanças obtidas pelo tratamento ortodôntico, ortopédico ou cirúrgico. Tal compreensão tem o potencial de aprimorar a interpretação das variações da resposta individual do paciente ao tratamento. Antes que a aplicação da

tecnologia TCFC possa ser utilizada para uma melhor avaliação dos resultados do tratamento, é necessário compreender os processos de registro e superposição 3D.

A primeira etapa no processo de registro consiste em determinar quais estruturas serão usadas como uma referência estável. O deslocamento, mudança de forma ou tamanho serão avaliados em relação a essas estruturas. Na cefalometria 2D, a base do crânio costuma ser usada para superposições, pois apresenta alterações mínimas após a conclusão do crescimento neural. Na análise de imagem 3D, o registro pode ser determinado pela escolha de superfícies estáveis ou pontos de referência³².

A **sobreposição baseada em pontos de referência** é efetuada pela determinação da posição destes pontos na área a ser sobreposta. Os pontos são registrados no sistema de coordenadas cartesiano, com os valores de X, Y e Z da posição nos três planos do espaço (sagital, coronal e axial) para guiar a realocação entre os modelos 3D¹¹². A principal desvantagem deste método consiste na dificuldade em identificar de forma precisa e reproduzível os pontos de referência¹¹³.

A **sobreposição baseada em superfície** é realizada pela orientação dos volumes tomográficos através de pontos de referência estáveis nas duas imagens, para corrigir rotações e permitir a aproximação das superfícies. As imagens digitais em DICOM são convertidas para o formato STL¹¹⁴. As superfícies que serão superpostas são submetidas a um processo automático de melhor adaptação (*best fit*) guiada por um algoritmo de repetição de pontos mais próximos (ICP - *Iterative Closest Point*) para reduzir ao mínimo a distância entre elas¹¹⁵. A tecnologia ICP utiliza a medida das distâncias mais próximas entre modelos de superfície pareados. Todavia, esta técnica frequentemente produz uma correspondência incorreta entre pontos anatômicos, e falha na quantificação apropriada das alterações morfológicas.

Embora a localização dos pontos de referência em tecidos duros e moles em 2D seja dificultada pela sobreposição das estruturas, determinar pontos de referência 3D em estruturas curvas complexas é um processo ainda mais difícil. Isto ocorre quando não existem definições operacionais adequadas para pontos de referência craniofaciais nos três planos de espaço (coronal, sagital e axial)^{116,117}. No contexto das alterações faciais, a superposição não pode ser baseada na identificação de pontos de referência, nem técnicas de *best-fit* em estruturas que podem ter sido alteradas entre os momentos dos exames.

Em 2011, Cevidanes et al.³² descreveu detalhadamente uma **técnica de registro rígido baseado em voxel** totalmente automatizado na base craniana e a aplicação de métodos de superposição 3D para avaliar alterações dentárias, esqueléticas e de tecidos moles obtidas com

o crescimento e o tratamento, e para contribuir para a criação de bancos de dados normativos e algoritmos preditivos. A principal qualidade desse método de sobreposição, validado desde 2005²⁸, é que o registro não depende da precisão dos modelos de superfície 3D. Os modelos de base craniana são usados apenas para mascarar estruturas anatômicas que mudam com o crescimento e o tratamento. O procedimento de registro compara *voxel* por *voxel* o nível de cinza das imagens de TCFCs, contendo apenas a base do crânio, e calcula os parâmetros de rotação e translação entre as imagens de dois pontos no tempo.

Cevidanés et al.³² descreveu as etapas para efetuar o registro de superfície na base craniana. Inicialmente, após a aquisição da imagem da TCFC, as imagens devem ser reformatadas para obter um tamanho de *voxel* uniforme de 0,5 mm e então, recortadas para facilitar a análise²⁹. A análise de imagens seriais de TCFC para avaliar alterações longitudinais incluiu quatro etapas:

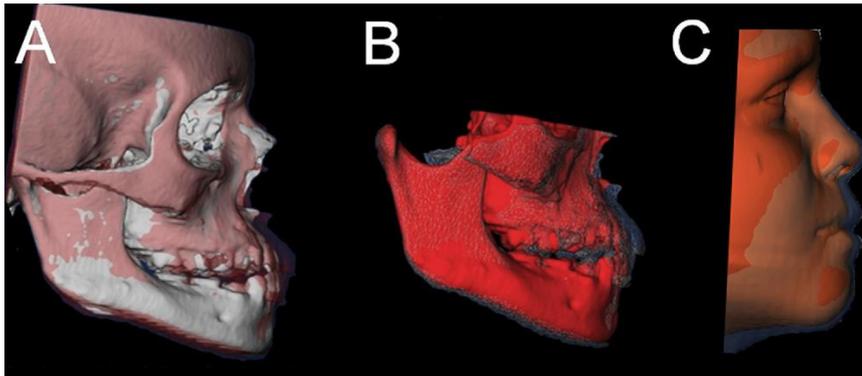
(1) **Construção de modelos virtuais de superfície 3D**, pelo uso do programa de acesso livre ITK-SNAP¹⁰⁵;

(2) **Registro da imagem**. De acordo com a transformação aplicada às imagens, os procedimentos de registro podem ser classificados em **rígido** (inclui translação e rotação) e **não rígido** (inclui translação, rotação, escala e propriedades afins). Por exemplo, seria necessário um registro não rígido para criar um composto de várias formas diferentes de mandíbula, para orientar a construção de modelos de superfície 3D padrão. As desvantagens do registro não rígido são o elevado custo computacional e as dificuldades de quantificação, à medida que os modelos 3D são deformados. Para avaliar alterações longitudinais, o registro rígido é aceitável. Foi utilizado um registro totalmente automatizado de modelos de superfície 3D que utilizou o software Imagine para mascarar estruturas anatômicas alteradas com o crescimento e o tratamento. O software Imagine calculou o registro rígido que alinha os conjuntos de dados de TCFC pré e pós-tratamento nos níveis de cinza da região da base craniana, com a precisão do *subvoxel*. Para a sobreposição de exames de TCFC de indivíduos com crescimento completo, o registro de modelos virtuais de superfície 3D utilizou toda a superfície da base craniana. Para a sobreposição de exames de TCFC em indivíduos em crescimento, somente as fossas cranianas anteriores e as superfícies ósseas etmoides foram usadas no procedimento de registro, pois o crescimento dessas estruturas é concluído na primeira infância¹¹⁸. Depois que as duas TCFCs de diferentes momentos são registradas, elas passam a compartilhar o mesmo sistema de coordenadas;

(3) **Sobreposição de transparência**. A sobreposição das superfícies dos modelos 3D registrados foi efetuada com o software CMF. Diferentes graus de transparência foram

utilizados para permitir a análise visual dos limites das estruturas maxilomandibulares sobrepostas. A localização, magnitude e direção dos deslocamentos dentários, ósseos e de tecidos moles puderam ser claramente identificadas (Figura 5).

Figura 5 – Diferentes formas de visualização das alterações do tratamento com sobreposição de modelos de superfície 3D registrados.



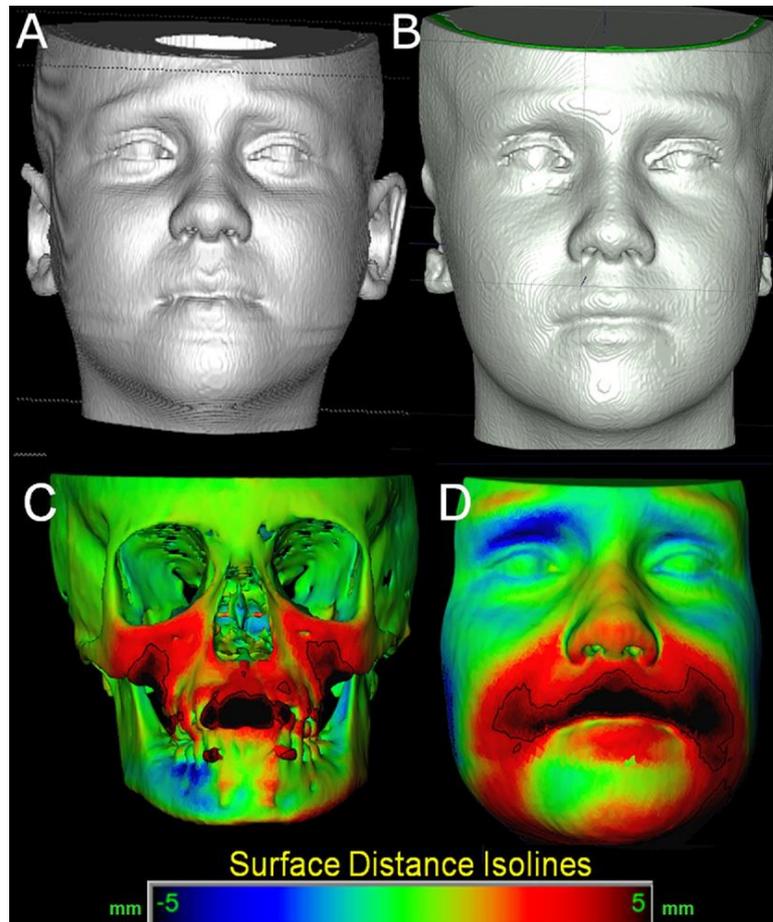
Legenda: (A) Modelo pré-tratamento (branco) e pós-tratamento (vermelho);
 (B) Pré-tratamento (vermelho) e pós-tratamento (malha triangular branca);
 (C) Alterações dos tecidos moles.

Fonte: Cevidanes et al.³².

(4) **Medição quantitativa.** O programa CMF também foi usado para medir as alterações faciais verticais, transversais e anteroposteriores que acompanham o crescimento e a resposta ao tratamento¹¹⁹. As medições baseadas em pontos de referência apresentam erros relacionados à identificação destes pontos. Andresen e cols.¹²⁰ e Mitteroecker e cols.¹²¹ propuseram o uso de “semi-referências”, que são pontos de referência somados a vetores e planos tangentes que definem sua localização, mas também são incluídas informações de todas as curvas e superfícies. Gerig e cols.¹²² propuseram o uso de mapas coloridos que codificam as distâncias mais próximas entre as superfícies. O programa CMF calculou milhares de distâncias em milímetros entre os triângulos das superfícies dos modelos 3D sobrepostos, as quais são codificadas por cores. *Isolines* (ferramentas de linha de contorno) foram utilizadas para delinear alterações de superfície para regiões anatômicas de interesse. Nariz, bochechas, lábios, mento, maxila, fossa articular, dentes, côndilos, ramo e corpo mandibular podem ser selecionados e analisados. As mudanças no resultado do tratamento foram descritas como deslocamentos em relação à base do crânio. As mudanças quantitativas foram visualizadas pelo uso de mapas de cores. Os mapas de cores indicam deslocamento

interno (azul) ou externo (vermelho) entre estruturas sobrepostas (Figura 6). A ausência de alterações foi indicada pela cor verde.

Figura 6 – Exemplo de quantificação de mudanças pelo método dos mapas coloridos.



Legenda: (A) Modelos 3D pré-tratamento e (B) pós-tratamento.

(C) Mapas coloridos das alterações regionais dos tecidos duros e (D) moles. O deslocamento ou remodelação para anterior é mostrado em vermelho e para posterior, em azul.

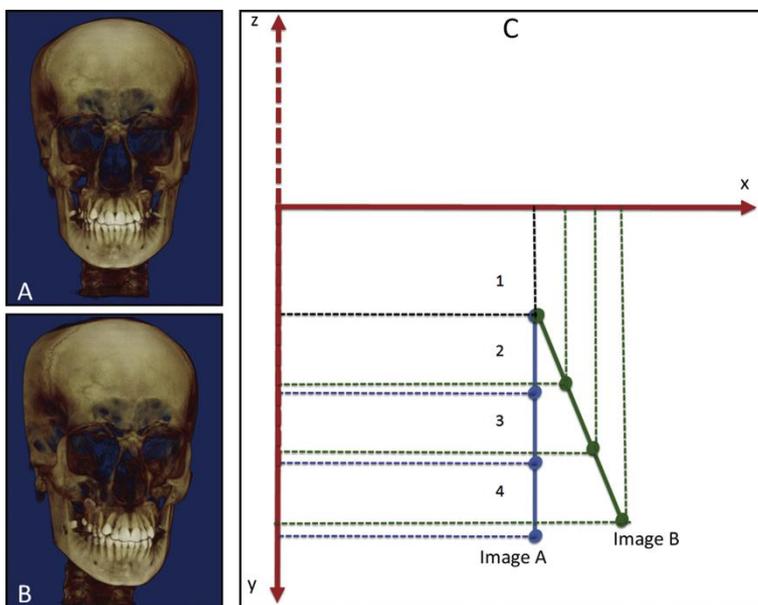
Fonte: Cevidanes et al.³²

Em 2015, Gkantidis et al.¹¹³ compararam cinco técnicas diferentes de superposição de tomografias para identificar uma maneira simples, eficiente e precisa de detectar, visualizar e quantificar as diferenças esqueléticas através de imagens 3D. As técnicas comparadas foram: registro em 3 pontos; base anterior do crânio; base anterior do crânio com o forame magno; dois arcos zigomáticos; e apenas um arco zigomático. Observou-se que a sobreposição na base do crânio associada ao forame magno foi a mais precisa, considerada padrão-ouro,

devido à estabilidade da forma anatômica¹²³. Em ordem decrescente de acurácia, seguiram-se a técnica de sobreposição da base anterior do crânio, a dos dois arcos zigomáticos, registro em 3 pontos e a técnica que sobrepôs apenas um arco zigomático¹¹³.

Em 2016, Ruellas et al.³⁴ demonstraram como a orientação da cabeça interfere na aferição da mudança direcional no espaço 3D e propuseram um método para obter um sistema de coordenadas comum usando modelos de superfície 3D. Ficou evidente que a quantidade de diferenças direcionais (diferenças dos componentes 3D) em 1 ponto no tempo pode ser mal interpretada, dependendo do posicionamento da cabeça, principalmente para avaliações de assimetria, caracterizações de amostras ou comparações transversais entre diferentes populações. Além disso, se as mesmas medições forem realizadas em um estudo de acompanhamento longitudinal com modelos 3D sem registro, as comparações de alterações direcionais entre dois pontos no tempo podem ser influenciadas pela falta de uma orientação comum da cabeça, tanto para cada paciente como em todos os pacientes em uma amostra de estudo. Dependendo da orientação da cabeça durante a aquisição da imagem, medições em uma direção podem ser mais afetadas do que em outra direção (Figura 7).

Figura 7 – Exemplo do efeito da mudança da posição da cabeça no deslocamento de um ponto. Fonte: Ruellas et al.³⁴.



Legenda: A e B) Imagens com diferentes posições de cabeça; C) simulação das diferenças nas distâncias lineares entre as coordenadas x, y e z de quatro pontos de referência.

A orientação da cabeça deve ser salva para que a imagem de cada indivíduo tenha os mesmos planos de referência. No estudo de Ruellas et al³⁴, os modelos de superfície 3D foram orientados usando a representação da superfície do tecido duro 3D, de modo que o plano transporiônico, o plano horizontal de Frankfurt e o plano médio-sagital coincidissem com os eixos x, y e z, respectivamente. Esta orientação é a mais próxima da posição natural da cabeça, a posição mais reprodutível dos pacientes. O meato auditivo externo esquerdo e direito e o forame magno foram selecionados com base em suas posições e formação precoce no crescimento esquelético. A maior parte do crescimento da base craniana (85%) ocorre em primeiros 5 anos de vida, com pequenas alterações após essa idade.

Para orientar a cabeça do paciente na TCFC, efetuar as superposições dos exames e utilizar um sistema de coordenadas comum, Ruellas e colaboradores³⁴ propuseram um nova sequência de metodologia:

- (1) Construção de modelos 3D (segmentação) de T1 e T2 com o programa ITK-SNAP;
- (2) Colocação de pontos de referência nos modelos 3D em T1 e T2, no programa ITK-SNAP. Um examinador inseriu uma camada com cor diferente dos mapas volumétricos para identificar pontos de referência: (1) espinha nasal anterior, (2) espinha nasal posterior, (3) primeiro molar superior direito, (4) primeiro molar superior esquerdo, (5) condílio direito, (6) condílio esquerdo e (7) pogônio. As referências foram demarcadas em 2 cortes consecutivos nos cortes sagitais, axiais e coronais.
- (3) Orientação da cabeça da TCFC de T1. Todos os modelos de superfície T1 foram orientados usando a ferramenta de transformações no programa Slicer. Foram movimentados para que o planos horizontal de Frankfurt, médio-sagital e transporiônico coincidissem com os planos axial, sagital e coronal, do sistema de coordenadas 3D comum do Slicer. O plano médio-sagital foi definido pelos pontos glabella, crista galli e bázio. O plano horizontal de Frankfurt foi definido bilateralmente pelos pórios direito e esquerdo e pelos orbitais direito e esquerdo. O plano transporiônico foi definido bilateralmente pelo pório, perpendicular ao plano horizontal de Frankfurt.
- (4) O procedimento de registro rígido baseado em *voxel* na base do crânio totalmente automatizado dos modelos 3D marcados foi realizado com o programa Slicer. Os modelos T1 e T2 registrados foram salvos como arquivos de malha de superfície (arquivos *.stl);

- (5) Avaliações quantitativas baseadas em referências no software VAM. Os modelos 3D com pontos de referência pré-marcados foram acessados no programa VAM, e foram geradas as coordenadas (x, y e z) para cada ponto de referência nos modelos de superfície T1 e T2 registrados. As distâncias entre as coordenadas dos pontos de referência (por exemplo, espinha nasal anterior em T1 e T2) corresponderam aos deslocamentos transversal (eixo x), anteroposterior (eixo y) e vertical (eixo z).

Em 2019, Teixeira³⁵ utilizou uma nova metodologia de análise 3D de TCFC para avaliar a acurácia do planejamento cirúrgico virtual realizado pelo programa Dolphin Imaging[®]. A comparação dos deslocamentos das estruturas anatômicas maxilomandibulares planejados no programa, aos resultados clínicos efetivamente obtidos após a cirurgia ortognática, foi analisada através de pontos determinados de forma automatizada: os centroides. No programa Dolphin Imaging[®] foram efetuadas a padronização da orientação da cabeça, a criação de um Modelo de Transferência de Coordenadas (MTC) e o planejamento cirúrgico virtual nas TCFC pré-tratamento de 10 pacientes. Os planejamentos foram transferidos para o momento da cirurgia, através de uma goteira interoclusal obtida por prototipagem. Após a cirurgia, foram obtidas novas TCFCs. Foram construídos modelos 3D das regiões anatômicas de interesse (maxila e mandíbula) das tomografias pré e pós tratamento com o software ITK-SNAP[®]. No programa Geomagic Qualify[®], os modelos 3D pré-cirúrgicos foram alinhados à simulação cirúrgica gerada pelo Dolphin Imaging[®]. A seguir, foram comparados os modelos 3D do planejamento virtual em relação aos modelos 3D pós-cirúrgicos, para avaliar a acurácia do planejamento. Para cada estrutura anatômica avaliada (maxila e mandíbula simuladas e finais) foi criado automaticamente um ponto centroide pelo Geomagic Qualify[®]. O MTC gerado no Dolphin Imaging foi utilizado para criar um sistema de coordenadas cartesianas orientado aos eixos axial, sagital e coronal de estruturas craniofaciais no Geomagic Qualify[®]. Através dos deslocamentos ocorridos nas coordenadas x, y e z dos centroides das estruturas simuladas em relação às estruturas iniciais, pôde-se observar as movimentações ocorridas. Os dados da diferença de posicionamento entre os centroides foram calculados pelo teste t pareado e complementados pelo método de *Altman-Bland* e por gráficos de Concordância-sobrevivência. Foi demonstrado que o planejamento cirúrgico virtual realizado pelo módulo cirúrgico do *Dolphin Imaging*[®] apresentou boa acurácia para determinar o posicionamento dos segmentos da maxila, ramos e corpo mandibular. Não foi observada adequada acurácia somente para o posicionamento do mento, porque não foi utilizado um posicionador específico.

As grandes vantagens deste método de análise 3D foram: a orientação da cabeça nas tomografias, o estabelecimento de um sistema de coordenadas cartesianas e a determinação automática do ponto centroide, que dispensou a marcação de pontos de referência anatômicos por um examinador. Estas novas tecnologias de superposição 3D ainda não foram utilizadas para comparar os efeitos de diferentes tipos de propulsores em pacientes Classe II de Angle em crescimento.

1.5 Mudanças dento-esqueléticas associadas aos aparelhos ortopédicos funcionais Twin Block e de Herbst por estudos com metodologia 3D

1.5.1 Estudos com metodologia 3D sobre os efeitos esqueléticos e dentários do tratamento com aparelho Twin Block

Em 2014, o estudo retrospectivo de Yildirim et al⁴⁰ utilizou tomografias computadorizadas de feixe cônico para avaliar as alterações condilares ocorridas em pacientes tratados com aparelho funcional Twin Block. Os pacientes selecionados apresentavam má oclusão Classe II de Angle 1ª divisão, retrognatismo mandibular, padrão de crescimento horizontal ou normal, *overjet* aumentado e apinhamento nulo ou mínimo nos arcos dentários. Todos os pacientes foram tratados com aparelho funcional Twin Block até obter a relação de molares e caninos em Classe I e redução do *overjet*. A duração do tratamento funcional foi de 7,4 meses, em média. A resposta condilar à terapia funcional foi avaliada em imagens de TCFC pré (T0) e pós-tratamento (T1) de 30 pacientes tratados com o aparelho Twin Block (16 meninos, 14 meninas; média de idade de $12,5 \pm 1,23$ anos). Os arquivos DICOM foram reconstruídos pelo software de processamento de imagem SimPlant Master Crystal v13 (Materialize Dental, Leuven, Bélgica). Todas as identificações e medições de pontos de referência foram feitas através deste programa. As medidas angulares de SNA, SNB e ANB e as medições lineares de Co-A, Co-Gn e CoR-CoL foram efetuadas nas imagens T0 e T1 através da função cefalométrica 3D, que estava sob o módulo OMS do software. Todas as medidas foram realizadas controlando a localização dos pontos de referência em todas as dimensões nos modelos 3D reconstruídos. As mandíbulas foram segmentadas para a construção de modelos 3D e superpostas. Foram comparados os volumes condilares pré e pós-

tratamento (T0 e T1). Para estabelecer uma segmentação uniforme, foram utilizados valores automáticos de limiar ósseo no software SimPlant (mínimo 500, máximo 3071 unidade Hounsfield). A sobreposição de imagens mandibulares em 3D de pré-tratamento e pós-tratamento foi executada pela função "superposição" do módulo OMS do programa. Essa sobreposição efetua um registro rígido de corpo, baseado na adaptação dos pontos de referência. O forame mental direito e esquerdo e o ponto superior e posterior do entalhe antegoníaco direito e esquerdo foram utilizados para a sobreposição. A função de osteotomia planar personalizada da função "planejar cirurgia" do software foi utilizada para constituir um plano de 0,1 mm, passando tangente à inclinação distal do processo coronóide para cortar o côndilo direito e esquerdo das imagens sobrepostas. Após o corte das imagens dos côndilos sobrepostos, o volume condilar foi calculado automaticamente em milímetros nas fases pré-tratamento e pós-tratamento. Esse processo foi aplicado para os côndilos direito e esquerdo, de cada paciente. Todas as identificações e medições de pontos de referência foram efetuadas por um autor. O ângulo SNA, o ângulo SNB, o ângulo ANB, o comprimento médio-facial (Co-A), o comprimento mandibular (Co-Gn), e as distâncias entre os condílios direito e esquerdo (CoR-CoL) também foram aferidas em imagens tridimensionais. As diferenças foram analisadas com os testes de Wilcoxon e os testes U de Mann-Whitney foram usados para comparar os escores dos participantes de gênero masculino e feminino. Neste estudo, foram observadas uma diminuição no SNA e ANB ($P < 0,05$ e $P < 0,01$, respectivamente) e aumento no SNB ($P < 0,01$). Além disso, o CoR-CoL, Co-Gn e o volume condilar aumentaram em ambos os lados esquerdo e direito ($P < 0,01$). No entanto, o aumento na Co-A não foi estatisticamente significativo ($P < .05$). A comparação das diferenças por gênero não foi significativa para todas as medidas ($p > 0,05$). Ficou demonstrado que a TCFC pode ser usada com sucesso para avaliar a resposta condilar ao aparelho funcional. Os autores concluíram que o aparelho Twin Block aumenta o SNB, reduz SNA e ANB, aumenta o volume condilar, o comprimento mandibular e a distância intercondilar, estimulando o crescimento do côndilo em direção superior e posterior.

Em 2018, Elfeky et al.³⁹ analisaram as alterações 3D esqueléticas, dentárias e da articulação temporomandibular (ATM) ocorridas em pacientes tratados com o aparelho funcional de Twin Block em comparação a indivíduos não tratados. O grupo tratado (Twin Block) incluiu 22 meninas portadoras de Classe II esquelética com retrognatismo mandibular. O grupo controle consistiu em 18 meninas Classe II esqueléticas não tratadas. As alterações esqueléticas, dentárias e da ATM foram avaliadas por imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico pré e pós-tratamento. As mudanças do tratamento foram

comparadas às mudanças do crescimento observadas no grupo controle por testes t independentes. Comparados às alterações induzidas pelo crescimento normal, foi detectado no grupo tratado o aumento no comprimento mandibular (3,19 mm), nos ramos mandibulares (3,47) e no comprimento do corpo mandibular (2,69 mm), de forma estatisticamente significativa ($P < 0,001$). A inclinação dos incisivos superiores foi reduzida e a dos inferiores foi aumentada ($P < 0,001$). Os 1^{os} molares superiores foram intruídos por 1 mm e distalizados em 0,36 mm; enquanto os 1^{os} molares inferiores foram intruídos por 0,59 mm e se moveram mesialmente 2,18 mm. Houve uma mudança significativa nas dimensões dos côndilos esquerdo e direito, com aumento no comprimento (direito = 1,28 mm; esquerdo = 1,60 mm), largura (direito = 0,88 mm; esquerdo = 0,53) e altura (direito = 1,59 mm; esquerdo = 1,10 mm). Houve posicionamento anterior significativo dos côndilos direito e esquerdo de 1,5 e 1,3 mm, respectivamente. Os autores concluíram que o tratamento com o aparelho funcional Twin Block resulta em alterações significativas esqueléticas, dentoalveolares e condilares, tanto nas dimensões, quanto nas posições. A terapia com aparelho Twin Block aumenta as dimensões do côndilo mandibular nos três planos do espaço, o qual adota uma posição mais anterior. O aumento dos espaços articulares anterior e superior e a diminuição da articulação anterior e medial são outra indicação do posicionamento anterior e inferior do côndilo. Ocorreu melhora significativa anteroposterior e vertical do perfil esquelético. A maioria das alterações ocorreu devido a um aumento nos comprimentos efetivos da mandíbula, ramo e corpo e aumento da altura facial posterior, respectivamente. A retroinclinação dos incisivos superiores, a projeção dos incisivos inferiores, a perda de ancoragem dos 1^{os} molares inferiores e a distalização dos molares superiores foram responsáveis pela correção da sobressaliência e da relação molar.

1.5.2 Estudos com metodologia 3D sobre os efeitos esqueléticos e dentários do tratamento com aparelho de Herbst

Até setembro de 2019, foram localizados somente três estudos que utilizaram sobreposição 3D de TCFC para analisar os efeitos do aparelho de Herbst, os quais foram descritos em ordem cronológica.

Em 2013, o estudo piloto de LeCornu et al.³⁸ foi pioneiro em comparar as alterações esqueléticas 3D de 7 pacientes Classe II tratados com o aparelho Herbst a um grupo controle

de 7 pacientes Classe II tratados com elásticos de Classe II. Todos os pacientes possuíam Classe II esquelética ($ANB \geq 4^\circ$), relação molar de Classe II de Angle e estavam próximos ao pico do surto de crescimento puberal (determinado pelos estágios 3 e 4 do método de maturação das vértebras cervicais). Os pacientes de ambos os grupos foram pareados em relação à idade, ANB (Herbst: $5,29^\circ$; controle: $6,10^\circ$) e angulações dos incisivos. O modelo de aparelho de Herbst utilizado incluía tubos telescópicos com um cantilever a partir dos primeiros molares inferiores e apoios oclusais nos segundos molares e nos primeiros pré-molares. Na primeira ativação, o aparelho foi avançado para obter uma posição de molar Classe I. Aparelhos fixos foram instalados nos incisivos e caninos superiores e inferiores, os quais foram amarrados aos molares depois de obtido o alinhamento. O aparelho de Herbst foi avançado em incrementos de 2 mm até obter uma posição anteroposterior sobrecorrigida (overjet de 0 a -1 mm). A duração do avanço foi de 6 a 9 meses, com um período adicional de contenção de 3 a 4 meses, para permitir maturação óssea e obter a um resultado mais estável. O grupo controle obteve um tempo de observação mais longo ($18,42 \pm 3,05$ meses) do que os pacientes tratados com Herbst ($13 \pm 0,57$ meses). A média do tempo de tratamento com Herbst neste estudo foi maior do que o período de 6 a 8 meses relatados por outros autores. Foram obtidas TCFCs em duas etapas: (T1) antes do início do tratamento de todos os pacientes e; (T2) após a remoção do Herbst no grupo tratado, ou no pós-tratamento para o grupo controle. As TCFCs dos pacientes tratados com Herbst foram obtidas no tomógrafo New Tom 3G; as do grupo controle, no tomógrafo i-Cat. Foram gerados modelos tridimensionais virtuais a partir das imagens das TCFC através do software ITK SNAP. Os exames de T1 e T2 foram registrados na fossa craniana anterior, através de uma técnica de registro totalmente automatizada em *voxel*, descrita por Cevidanes et al³². Os limites para o registro da base craniana anterior foram definidos anteriormente pela camada cortical interna do osso frontal, posteriormente pela parede anterior da sela, incluindo lateralmente as asas inferiores do osso esfenoidal e incluindo superiormente o osso frontal. Essa região incluiu a placa cribiforme e o aspecto superior do osso etmoide, cujo crescimento completa-se aos 7 anos de idade e, portanto, são consideradas marcos estáveis. Os modelos 3D registrados foram analisados através do programa *Vectra Analysis Model*. As avaliações quantitativas da resposta de crescimento e tratamento foram calculadas por (1) um método de ponto iterativo mais próximo com ferramentas de mapa de cores e (2) identificação de ponto a ponto. Os resultados mostraram que nos pacientes tratados com Herbst ocorreu uma translação anterior da fossa glenóide e dos côndilos (fossa anterior direita, $1,69 \pm 0,62$ mm; fossa anterior esquerda, $1,43 \pm 0,71$ mm; côndilo anterior direito, $1,20 \pm 0,41$ mm; côndilo anterior

esquerdo, $1,29 \pm 0,57$ mm), enquanto o deslocamento posterior predominou no grupo controle (fossa anterior direita, $-1,51 \pm 0,68$ mm; fossa anterior esquerda, $-1,31 \pm 0,61$ mm; côndilo anterior direito, $-1,20 \pm 0,41$ mm; côndilo anterior esquerdo, $-1,29 \pm 0,57$ mm; $P < 0,001$). Houve maior projeção anterior do ponto B nos pacientes de Herbst ($2,62 \pm 1,08$ mm versus $1,49 \pm 0,79$ mm; $P < 0,05$). Quase todos os pacientes tratados com Herbst, exceto por um, demonstraram restrição maxilar. O deslocamento anterior do ponto A foi mais predominante nos controles quando comparado aos pacientes de Herbst ($1,20 \pm 0,53$ mm versus $-1,22 \pm 0,43$ mm; $P < 0,001$). Em geral, os pacientes de Herbst mostraram deslocamento dos côndilos no sentido anterior, enquanto os indivíduos do grupo controle tiveram deslocamento posterior. As técnicas tridimensionais de imagem e superposição permitiram aos autores concluir que o tratamento com aparelho de Herbst produziu deslocamento anterior dos côndilos com remodelação adaptativa da fossa glenóide, enquanto os controles de Classe II exibiram deslocamento distal do complexo da articulação temporomandibular. O grupo Herbst apresentou restrição do crescimento maxilar em comparação com os controles. Não foram observadas diferenças significativas no corpo mandibular e no crescimento ramal, flexão condilar ou alteração do ângulo goníaco entre os dois grupos. Variações consideráveis na resposta ao tratamento foram observadas nos dois grupos. São necessários tamanhos de amostra maiores para verificar esses resultados.

Em 2016, o estudo observacional retrospectivo de Cheib et al.¹²⁴ testou duas possíveis hipóteses sobre as consequências imediatas da inserção do aparelho de Herbst: (1) se ocorre uma rotação mandibular significativa no sentido horário e (2) se o deslocamento dos côndilos corresponde à mesma magnitude das mudanças de overjet e sobremordida. A amostra deste estudo analisou 25 adolescentes (12 homens e 13 mulheres; idade 12-16 anos; média 13,8 anos) portadores de má oclusão de Classe II tratados com o aparelho de Herbst na clínica de Ortodontia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (Belo Horizonte, Brasil). Em T0, todos os pacientes apresentaram dentição permanente completa e uma relação interincisal que permitiu uma ativação mandibular de uma etapa para corrigir completamente a Classe II dentária. A quantidade de ativação sagital e vertical variou entre os pacientes, de acordo com a quantidade de correção necessária de sobremordida e overjet, com a ativação em uma etapa. Modelos virtuais de superfície 3D de 25 pacientes foram gerados a partir de tomografias computadorizadas de feixe cônico tomadas antes do tratamento e imediatamente após a inserção do aparelho de Herbst. As TCFCs foram registradas na base do crânio e analisadas usando medições ponto a ponto, mapas coloridos e sobreposições semitransparentes. A análise de imagens CBCT seriais para avaliar alterações entre T0 e T1 incluiu procedimentos

de análise 3D através dos programas ITK-SNAP, SLICER, *Vectra Analysis Model* versão 3.7.6 e ImageJ. Os procedimentos de análise de imagem 3D incluíram: aproximação dos exames T0 e T1, construção de modelos 3D de superfície virtual da base craniana, registro de TCFCs baseado em *voxel* e construção de modelos 3D virtuais da mandíbula. Avaliações quantitativas das alterações posicionais entre os modelos de superfície 3D da mandíbula foram realizadas usando medições ponto a ponto e análises virtuais. Foram identificados três pontos de referência: o ponto Menton (MeP) e os pontos condilares (CoP) esquerdo e direito. A CoP foi definida como o aspecto médio-superior dos côndilos direito e esquerdo, enquanto a MeP foi definida como o ponto médio-sagital mais inferior na borda inferior do Mento. Alterações nas coordenadas cartesianas de CoP e MeP entre T0 e T1 foram usadas para avaliar o deslocamento condilar 3D (distância entre CoP em T0 e T1, medido bilateralmente), o deslocamento condilar linear projetado em 2D e rotação mandibular. Os deslocamentos lineares pósterio-anterior (PA) e ínfero-superior (IS) 2D (ΔY e ΔZ , respectivamente) da CoP de T0 a T1 foram medidos no plano sagital (YZ). O deslocamento linear projetado para a esquerda (LR) 2D (ΔX), foi medido no plano axial (XY). A rotação mandibular foi medida como inclinação, rotação e deslocamento. Os testes estatísticos incluíram correlação e análise de regressão simples. A rotação de pitch variou de $-2,2^\circ$ a $2,2^\circ$ (média $0,2^\circ$) e foi observada no sentido horário e anti-horário. O deslocamento sagital condilar apresentou correlação positiva com as alterações no *overjet*. Cada milímetro de correção do *overjet* resultou em um deslocamento condilar anterior de aproximadamente 0,95 mm. O deslocamento condilar vertical correlacionou-se com as alterações do *overbite* e variou principalmente entre 2 mm e 4,5 mm. Os autores concluíram que imediatamente após a inserção do aparelho de Herbst, não foi observada rotação mandibular significativa no sentido horário. Os côndilos foram deslocados anterior e inferiormente. O deslocamento anterior condilar e a correção do *overjet* apresentaram uma relação próxima a 1: 1. O deslocamento vertical dos côndilos não seguiu a mesma magnitude das alterações da *sobremordida*. Não foram observadas diferenças significativas entre os deslocamentos condilares direito e esquerdo. Os deslocamentos condilares sagitais e verticais 2D e 3D dentro da fossa condilar foram correlacionados positivamente com as alterações no *overjet*.

Em 2017, o estudo de caso-controle retrospectivo de Souki et al.³⁷ comparou as alterações mandibulares tridimensionais de 25 pacientes em puberdade tratados com o aparelho de Herbst (HAG) a um grupo controle de 25 pacientes Classe II pareados que não receberam tratamento ortopédico (GC). Todos os pacientes foram tratados na clínica de Ortodontia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (Brasil) e foram considerados

elegíveis para este estudo, quando possuíam TCFC pré-tratamento (T0) e pós-tratamento (T1) para fins de diagnóstico e planejamento do tratamento ortodôntico ou odontológico. Todos os exames foram obtidos no tomógrafo iCat, com varredura de 40 segundos, FOV de 23×17 cm e tamanho de voxel de 0,3 mm; e os pacientes foram instruídos a ocluir em relação cêntrica durante a aquisição do exame. No HAG, os exames foram realizados antes da instalação do Herbst (T0) e após $7,9 \pm 0,4$ meses de tratamento (T1). No GC, os exames foram realizados em dois momentos: no início (T0) e no final do tratamento ortodôntico ou protético, durante o acompanhamento do tratamento canino impactado ou após a marsupialização do cisto maxilar. O tempo médio entre os exames do GC foi de $8,4 \pm 1,3$ meses. Todos os pacientes em T0 possuíam as seguintes características: dentição permanente; idade entre 12 e 16 anos; no período de crescimento puberal, determinado pelo método de maturação das vértebras cervicais; má oclusão Classe II de Angle, 1ª divisão, caracterizada por relação molar completa de Classe II, e caninos que apresentavam discrepância sagital de no mínimo 4 mm para atingir uma relação Classe I; e um perfil facial que melhorava com o avanço mandibular. Os pacientes do grupo HAG foram tratados com Herbst em cantilever e receberam avanço mandibular em única etapa para obter uma relação de caninos de Classe I. Os pacientes do grupo GC necessitaram de outros tratamentos dentários, ou nivelamento e alinhamento ortodôntico dos dentes maxilares, sem efeitos de ortopedia dentofacial. Em T0, não foram detectadas diferenças significativas nas características cefalométricas dos pacientes dos grupos HAG e GC ($P > 0,05$). Os pacientes de Herbst apresentaram médias de ANB de $6,4^\circ$, SNB de $72,4^\circ$ e SNGoGn de $32,1^\circ$. Os pacientes do grupo de comparação apresentaram ANB de $5,9^\circ$, SNB de $73,0^\circ$ e SNGoGn de $32,0^\circ$. Os dois grupos foram pareados por gênero (HAG, 11 homens; GC, 15 homens; qui-quadrado $P > 0,05$), idade cronológica (HAG, $13,7 \pm 1,8$ anos; GC, $13,9 \pm 1,2$ anos), estágio de desenvolvimento dentário, estágio de maturação esquelética (88% em CS3 ou CS4) e por período de observação (8 meses). Em cada grupo, dois pacientes estavam no estágio CS2 e um paciente estava no estágio CS5. Os procedimentos de análise de imagem 3D seguiram o seguinte protocolo: (1) foram construídos modelos de superfície 3D a partir de tomografias pré e pós-tratamento; (2) os modelos 3D foram orientados nos planos cartesianos; (3) foi efetuada a superposição 3D na base anterior do crânio para a análise do deslocamento mandibular; (4) superposição regional mandibular 3D (aproximação manual e registro automatizado no corpo da mandíbula) para a análise do crescimento mandibular; (5) avaliações qualitativas que utilizaram modelos de superfície de malha 3D; (6) medições quantitativas usando as ferramentas SPHARM, Pick-n'-Paint e Q3DC do 3D Slicer. O registro volumétrico na base do crânio foi utilizado para avaliar o

deslocamento mandibular; o registro regional volumétrico foi realizado para avaliar o crescimento mandibular. Foram obtidas medidas quantitativas das alterações euclidianas X, Y, Z e 3D e a visualização qualitativa por mapeamento de cores e sobreposições semitransparentes. As alterações de crescimento dos côndilos e ramos no lado direito e esquerdo foram simétricas em ambos os grupos. Foi observado um significativo maior deslocamento anterior (eixo y) da mandíbula no HAG (2,2 mm) do que no GC (0,5 mm), com uma diferença média de 1,7 mm. Embora o deslocamento inferior (eixo z) da mandíbula tenha obtido valores maiores no HAG (2,4 mm) do que no GC (1,5 mm), esta diferença não foi significativa. O crescimento líquido 3D dos côndilos em todas as superfícies foi significativamente maior no HAG (superior, 1,4 mm; lateral 1,1 mm; medial, 0,5 mm; anterior 1,3 mm; posterior, 1,2 mm), com a exceção do pólo medial. O HAG apresentou maior crescimento condilar superior e posterior em 3D que o GC (3,5 mm e 2,0 mm, respectivamente), com exceção do crescimento vertical do pólo condilar medial; e maior crescimento posterior do ramo. O curto período de observação na investigação atual pode explicar as alterações esqueléticas relativamente pequenas. Os autores sugeriram que o crescimento dos côndilos e ramos foi modificado pelo tratamento com o aparelho de Herbst e que os componentes 3D da remodelação óssea não foram uniformes em toda a superfície condilar. Os autores concluíram que imediatamente após a terapia com Herbst, foi obtido um deslocamento mandibular para frente significativo, devido ao aumento da remodelação óssea dos côndilos e ramos em comparação a um grupo de comparação.

Em 2018, o estudo coorte retrospectivo de Atresh et al.³⁶ foi pioneiro em avaliar as alterações esqueléticas 3D ocorridas em adolescentes Classe II com diferentes padrões faciais verticais tratados com o aparelho de Herbst e aparelho fixo completo. Estas mudanças foram comparadas a um grupo controle pareado de pacientes Classe II tratados com elásticos. Todos os pacientes incluídos foram tratados próximo ao pico do surto de crescimento puberal, conforme determinado pela avaliação da maturação das vértebras cervicais (estágios 3 e 4). Todos os indivíduos apresentavam relações Classe II esqueléticas ($ANB > 4^\circ$) e dentárias (relação molar bilateral Classe II). O cálculo amostral mostrou que 8 indivíduos em cada grupo forneceriam 80% de poder estatístico para detectar uma diferença de 2 mm no comprimento mandibular (considerada como limiar de relevância clínica) entre os grupos tratados e controle, assumindo um desvio padrão de 1,99 mm e significância de $P < 0,05$. Dezesesseis pacientes tratados com o aparelho de Herbst foram divididos em dois grupos, de acordo com o padrão facial vertical, de acordo com o ângulo do plano mandibular de Frankfurt: o grupo Herbst braquifacial possuía ângulos inferiores a 22° (4 meninas e 4

meninos); e o grupo Herbst mesofacial apresentava ângulos de 23° a 29° (7 meninas e 1 menino). Ambos os grupos possuíam três TCFC: (1) pré-tratamento, (2) 8 semanas após a remoção do aparelho de Herbst e (3) após a remoção do aparelho fixo completo. O aparelho de Herbst utilizado possuía coroas de aço inoxidável adaptadas aos 1º molares permanentes superiores e inferiores com um cantilever que se estendia do 1º molar inferior até o 1º pré-molar inferior. Um arco lingual de aço inoxidável de 0,040 polegadas bem adaptado conectou os molares inferiores esquerdo e direito, e foi incorporado um apoio oclusal no 1º pré-molar inferior ou no 2º molar decíduo. Um disjuntor de Hyrax foi incorporado em todos os casos para expandir o arco maxilar, para acomodar a posição avançada do arco mandibular. A mandíbula foi inicialmente avançada em 5 mm, e depois progressivamente avançada em incrementos de 2 mm, para atingir uma posição sobrecorrigida de incisivos em topo. O tempo médio de tratamento com Herbst em ambos os grupos foi de 7,6 meses, o que correspondeu aos protocolos de outros autores. Quando a relação dos incisivos não permitiu o avanço necessário, como nos indivíduos Classe II 2ª divisão, foram colocados aparelhos fixos superiores para projetar os incisivos superiores antes da instalação do aparelho Herbst. O grupo controle consistiu em 11 pacientes Classe II tratados somente com aparelho fixo e elásticos que obtiveram duas TCFCs, nas etapas pré e pós-tratamento. Nenhum paciente do grupo controle foi tratado com extrações nem aparelho extra-oral. Todas as TCFCs foram obtidas no tomógrafo iCat. Os pacientes foram instruídos a ocluir em máxima intercuspidação durante o exame. Todos os exames foram avaliados para assegurar que os côndilos estavam situados no centro da fossa; os indivíduos foram excluídos se os côndilos estivessem deslocados. O programa ITK-SNAP foi usado para construir modelos virtuais tridimensionais a partir das TCFCs. Os exames de T1, T2 e T3 foram registrados na base craniana anterior, usando uma técnica de registro em *voxel* totalmente automatizada. Foi utilizada uma orientação padronizada da cabeça dos modelos 3D registrados para obter um sistema de coordenadas comum, que permitiu a avaliação adequada das alterações anteroposteriores e verticais. As avaliações qualitativas e quantitativas da resposta ao tratamento e crescimento foram calculadas por mapas coloridos e semi-transparências em 3D e identificação de distâncias entre pontos de referências na maxila, mandíbula e fossa condilar. As medidas 3D utilizadas neste estudo foram lineares (eixos anteroposterior e súpero-inferior do ponto A, da espinha nasal anterior, do pogônio, dos condílios, das fossas e do centro geométrico dos côndilos; comprimento mandibular esquerdo e direito; alturas dos ramos mandibulares) e angulares (ângulo espinha nasal anterior-espinha nasal posterior, ângulo do plano mandibular de Frankfurt e ângulo goníaco). As medições ponto a ponto foram relatadas como uma

distância 3D, dividida em coordenadas laterais (x), anteroposteriores (y) e verticais (z) para localizar a quantidade de mudanças em cada direção. Para o eixo y, valores positivos indicaram deslocamento anterior e valores negativos indicaram deslocamento posterior. Para o eixo z, valores positivos indicaram deslocamento superior e valores negativos indicaram deslocamento inferior. As medidas do eixo lateral (x) não foram relatadas, porque não foram consideradas de significância clínica neste estudo. Os resultados mostraram que houve diferenças mínimas na resposta ao tratamento entre os 2 grupos Herbst em todos os parâmetros esqueléticos avaliados. Todos os pacientes tratados com aparelho de Herbst mostraram um maior deslocamento inferior da espinha nasal anterior em comparação ao grupo controle de Classe II (Herbst braquifacial, -1,44 mm; Herbst mesofacial, -1,95 mm), e outras alterações maxilares clinicamente insignificantes. Os pacientes tratados com Herbst mostraram maior deslocamento inferior do ponto B em comparação ao grupo controle (Herbst braquifacial, -2,59 mm; Herbst mesofacial, -2,75 mm). Não houve diferenças significantes nas médias das medidas mandibulares lineares. Todos os grupos mostraram uma tendência ao deslocamento posterior dos côndilos e das fossas condilares do início ao fim do tratamento, sem diferenças significativas entre os três grupos. Houve diferenças mínimas nas mudanças no ângulo goníaco e no ângulo do plano mandibular de Frankfurt em todos os grupos. Os autores concluíram que não foram observadas diferenças significativas na resposta ao tratamento com Herbst entre indivíduos braquifaciais e mesofaciais. O tratamento de Herbst em indivíduos com diferentes padrões faciais verticais mostrou o mesmo padrão de deslocamento posterior da fossa glenóide e dos côndilos que o grupo controle de Classe II. O tratamento com Herbst em indivíduos com diferentes padrões faciais verticais não mostrou restrição clinicamente significativa do crescimento maxilar em comparação com os controles da Classe II. Não houve diferenças clinicamente significativas nas alterações no plano mandibular e nos ângulos goníacos nos indivíduos de Herbst em comparação ao grupo controle. Houve variações individuais consideráveis nas alterações do comprimento mandibular nos dois grupos de Herbst, mas isso não se traduziu necessariamente no aumento na projeção anteroposterior do pogônio. São necessárias amostras maiores para verificar esses resultados. Dois anos após o tratamento com Herbst, os pacientes com diferentes padrões faciais verticais tratados com este aparelho mostraram padrões similares de mudança esquelética quando comparados ao grupo controle de Classe II tratados com elásticos.

Não foram localizados estudos que utilizaram metodologia 3D que comparassem os efeitos esqueléticos e dentários de propulsores mandibulares removíveis, fixos e associados à ancoragem esquelética no tratamento de pacientes Classe II de Angle.

2 PROPOSIÇÃO

Este estudo possui como proposição os objetivos apresentados a seguir.

Objetivo geral: comparar os efeitos dentoesqueléticos dos aparelhos funcionais de Twin Block, de Herbst com ancoragem dentária e Herbst associado a mini-implantes na correção dos componentes esqueléticos e dentários da má oclusão Classe II de Angle, através da superposição tridimensional de tomografias de feixe cônico pré e pós tratamento.

Objetivos específicos:

- a) Aferir os efeitos do tratamento com os três tipos de propulsores mandibulares nas seguintes estruturas anatômicas:
 - maxila,
 - mandíbula (côndilos e mento),
 - incisivos centrais superiores e inferiores,
 - 1^{os} molares superiores e inferiores.
- b) Determinar se há diferenças entre os efeitos dentoesqueléticos obtidos pelas três modalidades de tratamento na redução do *overjet* e na correção da relação molar;
- c) Avaliar se a movimentação envolvida na correção da relação molar e do *overjet* é predominantemente esquelética ou dentária.

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 Aspectos éticos

O projeto desta pesquisa foi submetido à Plataforma Brasil (CAAE: 46731015.6.0000.5259). A coleta de dados deste estudo foi iniciada após a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário Pedro Ernesto (CEP/HUPE), da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), que emitiu parecer consubstanciado número 1.154.150, em 08 de julho de 2015 (Anexo). Somente os pacientes cujos responsáveis concederam autorização por escrito, sob a forma de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido Pós-Infirmação (Apêndice A), foram incluídos na amostra.

3.2 Tipo de estudo

Este estudo foi um ensaio clínico randomizado de grupos paralelos de centro único que avaliou os efeitos tridimensionais esqueléticos e dentários decorrentes do uso de propulsores mandibulares removíveis, fixos e fixos associados à ancoragem esquelética no tratamento de pacientes Classe II, 1ª divisão, no pico do surto de crescimento puberal. Este ensaio clínico foi registrado no ClinicalTrials.gov em 08 de abril de 2015, sob o protocolo identificador NCT02411812. Foram seguidas as normas do *CONSORT Statement*¹²⁵.

Para a alocação dos sujeitos foi utilizada a randomização em blocos em lista randomizada (gerada pelo site www.randomization.com) com cegamento para a análise dos resultados. A sequência de alocação foi oculta em envelopes opacos numerados contendo o procedimento a ser realizado. A implementação da randomização foi executada por uma funcionária da FOUERJ, que ficou responsável pelo armazenamento da lista randomizada e pela distribuição dos tipos de tratamento nos envelopes.

Todos os pacientes foram tratados na Clínica de Ortodontia da Faculdade de Odontologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Os pacientes da amostra foram divididos em três grupos, de acordo com o tipo de aparelho propulsor mandibular utilizado no

tratamento da Classe II: Twin Block (TB), Herbst com ancoragem dentária (HAD) e Herbst com ancoragem esquelética (HAE).

A amostra foi composta por indivíduos portadores de má oclusão de Classe II, 1ª divisão, que buscaram tratamento na Clínica de Especialização em Ortodontia da Faculdade de Odontologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (FOUERJ) ou que estudavam em três escolas públicas na cidade do Rio de Janeiro: o Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira (CAP-UERJ), a Escola Municipal República Argentina e a Escola Municipal Equador.

3.3 Sujeitos da pesquisa

Foi realizado um cálculo amostral para estimar o número de indivíduos necessário para que a amostra fosse capaz de detectar diferenças entre as três diferentes modalidades de tratamento. Como a literatura demonstrou que o principal efeito indesejado dos propulsores mandibulares foi a projeção de incisivos inferiores, o estudo foi idealizado para avaliar se a ancoragem esquelética em um dos grupos testados seria capaz de controlar tal projeção. Por isso, a projeção dos incisivos foi a principal variável selecionada para o cálculo amostral. Como referência, foram considerados os valores relatados na literatura por Martin e Pancherz¹²⁶, que enfocaram as mudanças na projeção de incisivo inferior em pacientes tratados com o mesmo design de aparelho de Herbst utilizado em dois grupos deste estudo. Baseado no desvio padrão de 1,31 mm relatado por Martin e Pancherz¹²⁶, com nível alfa de significância de 5% e poder de 80% para detectar mudanças de 2 mm, foi calculado um tamanho amostral de 19 pacientes para cada grupo (total de 57 pacientes).

O universo amostral originou-se de 1039 crianças e adolescentes recrutados em três escolas públicas (59 alunos do Colégio de Aplicação da UERJ, 147 alunos da Escola Municipal Equador e 224 alunos da Escola Municipal República Argentina) e na Clínica de Ortodontia da Faculdade de Odontologia da UERJ (638 pacientes), no período de abril de 2015 a dezembro de 2018, independente do gênero e etnia. As escolas participantes consultaram os responsáveis dos alunos e concederam autorização prévia aos exames clínicos. Foram examinados todos os indivíduos de 10 a 14 anos, devido à possibilidade de estarem no pico do surto de crescimento puberal. Somente os indivíduos que apresentaram as características clínicas adequadas efetuaram radiografias cefalométricas (para confirmar a

Classe II esquelética e avaliar a maturação das vértebras cervicais¹²⁷) e de mão e punho (para avaliar o índice carpal de maturação esquelética¹²⁸).

Em seguida foram utilizados os seguintes critérios de inclusão e exclusão:

3.3.1 Crítérios de inclusão

3.3.1.1 Grupos TB, HAD e HAE

Para que os pacientes fossem incluídos como participantes da pesquisa, deveriam atender aos seguintes critérios:

- a) ter idade de 10 a 14 anos;
- b) apresentar uma má oclusão de Classe II de Angle, 1ª divisão;
- c) possuir relação de Classe II esquelética (ângulo ANB maior do que 4°);
- d) exibir dentição permanente completa, exceto pelos 3^{os} molares;
- e) ter perfil convexo;
- f) sobressaliência ≥ 6 mm;
- g) possuir maturação esquelética no pico do surto de crescimento puberal pelos índices vertebral¹²⁷ (estágios CS3-CS4) e carpal¹²⁸ (estágios FPcap e FMcap);
- h) ter autorização por escrito dos responsáveis para a participação no estudo pela assinatura o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido Pós-informação (Apêndice A);
- i) ter se apresentado para exame inicial, em busca de tratamento na Clínica de Especialização em Ortodontia da FOUERJ ou estar matriculado no Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira (CAP-UERJ), na Escola Municipal República Argentina ou na Escola Municipal Equador, no período de recrutamento do estudo.

3.3.2 CrITÉRIOS de exclusão

3.3.2.1 Grupos TB, HAD e HAE

Os pacientes seriam excluídos se apresentassem as seguintes características:

- a) ter iniciado qualquer tipo de tratamento ortodôntico prévio ao exame;
- b) ser portador de fissuras labiopalatais, síndromes ou patologias;
- c) apresentar agenesias dentárias;
- d) apresentar dentes supranumerários;
- e) apresentar sinais e sintomas de disfunção temporomandibular.

3.3.3 Distribuição randomizada dos pacientes nos grupos

Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, a amostra foi composta por 34 pacientes Classe II, 1ª divisão, os quais foram distribuídos de forma randomizada em três grupos: 13 pacientes no grupo tratado pelo aparelho funcional removível Twin Block (TB), 11 pacientes no grupo tratado pelo propulsor mandibular fixo de Herbst com ancoragem dentária (HAD) e 10 pacientes no grupo tratado pelo aparelho de Herbst associado à ancoragem esquelética (HAE). Todos os pacientes foram tratados com os propulsores mandibulares por 12 meses. Ao longo do estudo, ocorreram desistências de quatro pacientes do grupo TB (não colaboraram com o uso do aparelho e depois deixaram de comparecer às consultas), um paciente do grupo HAD (logo após a instalação do aparelho de Herbst, solicitou a remoção e desistiu do tratamento) e três pacientes do grupo HAE (desistiram do tratamento por recusarem a instalação dos mini-implantes). No presente estudo, foi realizada uma análise por protocolo (PP): foram analisados os resultados apenas dos participantes que completaram o tratamento, e foram excluídos aqueles que desistiram ou não quiseram iniciar o estudo.

3.4 Documentação ortodôntica pré e pós-tratamento e intervenções efetuadas

Após selecionados e distribuídos de forma randomizada nos três grupos, todos os pacientes efetuaram documentação ortodôntica inicial completa, constituída por: tomografias computadorizadas de feixe cônico; modelos de estudo zocalados de gesso dos arcos superior e inferior; fotografias faciais de frente (repouso e sorriso) e de perfil; e fotografias intraorais (frontal, laterais esquerda e direita, oclusais superior e inferior). Todos os modelos e fotografias foram obtidos e armazenados na Clínica de Especialização em Ortodontia da Faculdade de Odontologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. A documentação completa, incluindo as tomografias computadorizadas de feixe cônico, foi obtida em dois momentos: antes do início do tratamento (T1) e após doze meses de tratamento (T2). Os três grupos foram tratados exclusivamente com os propulsores mandibulares avaliados pelo período de 12 meses. Este período foi estipulado para utilizar terapia funcional nos pacientes até o final do pico do surto de crescimento puberal, para potencializar os resultados esqueléticos, como descrito na literatura^{21,23}.

3.4.1 Intervenções efetuadas no Grupo TB

Todos os pacientes do grupo TB foram tratados com o aparelho funcional removível Twin Block similar ao preconizado por Clark^{17,18}, cuja técnica de confecção laboratorial foi descrita detalhadamente por Brunharo e Quintão¹²⁹. Este dispositivo foi constituído por dois blocos de mordida de resina acrílica (superior e inferior, que ocluem em um ângulo de 70°) e grampos de retenção (interproximais, Hawley superior e de Adams). Na Figura 8, podem ser observadas as fotografias do Twin Block utilizado neste grupo. A parte superior do aparelho possuiu um parafuso expensor na linha média, o qual não foi ativado neste estudo, para isolar o efeito do propulsor mandibular (Figura 8-A). Na parte inferior (Figura 8-B), a flange lingual de resina acrílica se estendeu até a região de molares, mas não obstruiu a erupção destes elementos (desejável em casos de sobremordida profunda). Os blocos de resina posteriores inferiores afinaram-se na região de caninos, para dar espaço à língua na região de incisivos, o que permite maior conforto na fala do paciente (Figura 8 - C, D e E). Os planos inclinados foram confeccionados mesialmente aos 1^{os} molares inferiores e 2^{os} pré-molares superiores. O

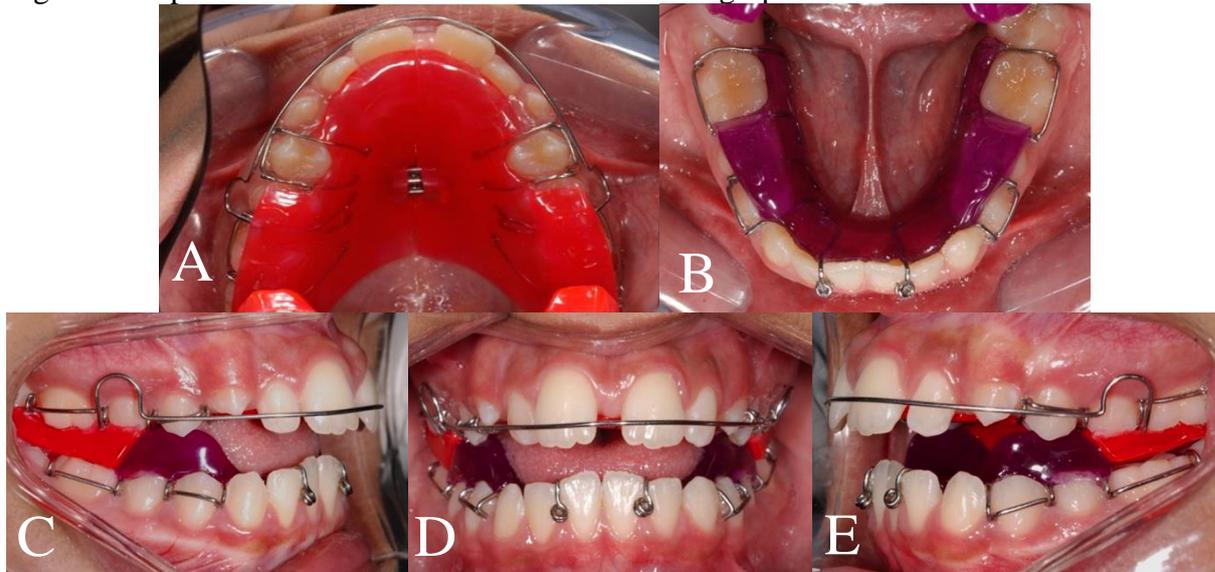
bloco superior cobriu os 2^{os} pré-molares, 1^{os} e 2^{os} molares. O bloco inferior cobriu 1^{os} e 2^{os} pré-molares, afunilando até a região de caninos (Figura 8 - C, D e E). Todos os aparelhos Twin Block utilizados foram confeccionados pelo mesmo protético, com o mesmo desenho.

Para a confecção do aparelho Twin Block, na primeira consulta foram efetuadas moldagens em material hidrocolóide irreversível (alginato tipo I, Cavex Color Change®, Cavex, Haarlem, Holanda) dos arcos superior e inferior dos pacientes, de acordo com as recomendações do fabricante quanto à proporção de pó e líquido, e tempos de manipulação e de presa. Estas moldagens foram imediatamente vazadas em modelos de trabalho de gesso pedra melhorado (Durone IV®, Dentsply Sirona, Rio de Janeiro, Brasil). Também foi confeccionado o registro oclusal da mordida construtiva em lâminas de cera 7 (NewWax, TechNew, Rio de Janeiro, Brasil). Os pacientes foram treinados a avançar a mandíbula e ocluir com incisivos em posição de topo e linhas médias coincidentes, com auxílio de um espelho. Nesta posição, foi confeccionada a mordida construtiva, deixando um espaço interincisal de 2 mm de altura¹³⁰ e avanço mandibular inicial de até 4 mm¹³¹ (dependendo do *overjet* inicial do paciente). Os modelos de trabalho e as mordidas construtivas foram enviados ao protético. Após 15 dias de confecção laboratorial, os aparelhos foram entregues.

Na segunda consulta, foram realizados os ajustes (checagem da retenção dos grampos e desgastes na resina acrílica para que o aparelho ficasse confortável e com forças oclusais bem distribuídas) e a instalação do aparelho, com orientações quanto à higiene e uso. Durante o período de acompanhamento da pesquisa (12 meses), os pacientes foram instruídos a utilizá-lo em período integral, exceto durante os horários de alimentação, escovação e prática de esportes, quando deveriam remover o aparelho pelo mínimo de tempo possível, conforme preconizado por Clark^{17,18}.

Neste período, os pacientes foram acompanhados durante consultas clínicas agendadas a cada 3 semanas, nas quais foram registradas as alterações observadas na sobressaliência, relações de molares e caninos; o grau de cooperação do paciente; e reforço de motivação quanto ao uso e higiene. Os contatos oclusais entre os blocos de resina superiores e molares inferiores foram progressivamente desgastados, a partir da segunda consulta, para permitir a erupção dos molares inferiores. Após três meses de uso do dispositivo, foram confeccionados novos aparelhos com o avanço mandibular adicional necessário para corrigir o *overjet* acentuado do paciente (de até 4 mm adicionais). Todos os pacientes foram atendidos por alunos da Clínica de Especialização em Ortodontia da FOUERJ, sob orientação da pesquisadora e dos demais coordenadores da pesquisa.

Figura 8 – Aparelho funcional Twin Block utilizado no grupo TB.



Legenda: A) Vista oclusal superior; B) Vista oclusal inferior; C) Vista lateral direita; D) Vista anterior; E) Vista lateral esquerda.

3.4.2 Intervenções efetuadas no Grupo HAD

Os pacientes do grupo HAD utilizaram o aparelho de Herbst fundido cimentado, cujo *design* apresenta a maior ancoragem dentária disponível para este dispositivo. Este propulsor mandibular fixo foi composto por quatro armações metálicas (uma em cada hemi-arcada) fundidas em cromo-cobalto, cimentadas a pré-molares e molares, associadas a um mecanismo telescópico (constituído por tubo e pistão), de acordo com o protocolo da Universidade de *Giessen*, na Alemanha¹³² (Figura 9). No arco superior, as duas armações de hemiarcadas foram unidas por uma barra transpalatina nos 1^{os} molares (Figura 9 - A). No arco inferior, as duas armações de hemiforam unidas por uma barra lingual soldada nas faces linguais dos caninos (Figura 9 - B). O mecanismo telescópico (Herbst I set[®], Dentaaurum, Ispringen, Alemanha) que avançou a mandíbula foi suportado por acessórios soldados às faces vestibulares dos 1^{os} pré-molares inferiores e 1^{os} molares superiores (Figura 9 – C, D e E). Todos os aparelhos de Herbst foram confeccionados sob a mesma técnica de fundição e solda.

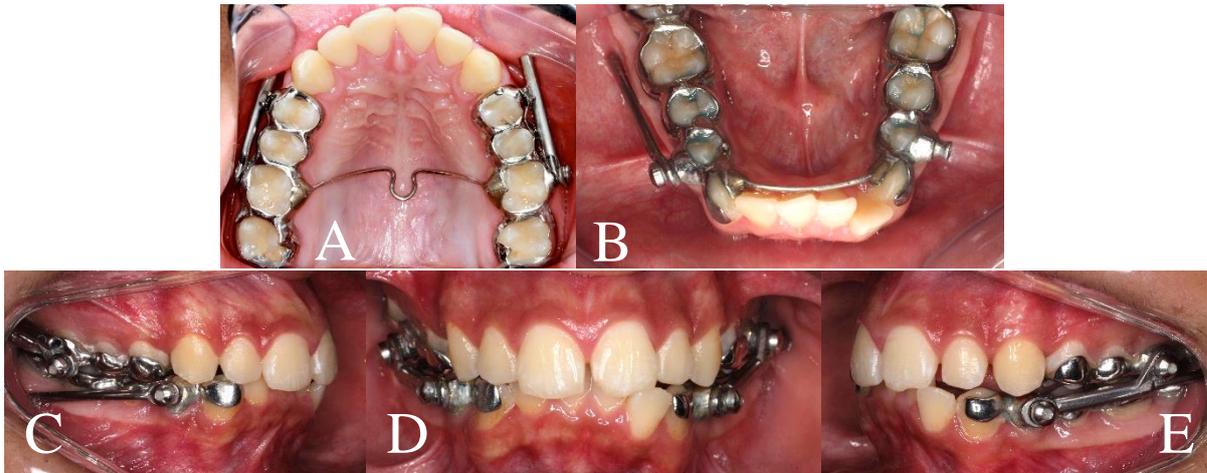
Para a confecção e instalação do aparelho de Herbst, foram necessárias duas consultas. Na primeira, foram efetuadas moldagens em material hidrocolóide irreversível (alginato tipo I, Cavex Color Change[®], Cavex, Haarlem, Holanda) dos arcos superior e inferior dos pacientes, de acordo com as recomendações do fabricante quanto à proporção de pó e líquido

e tempos de manipulação e de presa. Estas moldagens foram imediatamente vazadas em modelos de trabalho de gesso pedra melhorado (Durone IV[®], Dentsply Sirona, Rio de Janeiro, Brasil). Os pacientes foram treinados a avançar a mandíbula e a ocluir com incisivos em posição de topo e linhas médias coincidentes, com auxílio de um espelho. Nesta posição, foi confeccionada a mordida construtiva em lâminas de cera 7 (NewWax[®], TechNew, Rio de Janeiro, Brasil). Os modelos de trabalho com os desenhos desejados das estruturas e as mordidas construtivas foram enviados ao protético. Após 15 dias de confecção laboratorial, os aparelhos foram instalados.

Na segunda consulta, foram executados os seguintes procedimentos: (1) profilaxia; (2) isolamento relativo; (3) cimentação das armações metálicas com cimento de ionômero de vidro ortodôntico (*Multi-Cure Glass Ionomer Band Cement*[®], 3M Unitek, Monrovia, EUA), de acordo com as orientações do fabricante; (4) instalação dos tubos telescópicos (*Herbst I set*[®], Dentaurem, Ispringen, Alemanha) para estabilizar o avanço mandibular; (5) orientações sobre cuidados de higiene e cuidados com o aparelho, como restrições a alimentos duros e aderentes, e a movimentos mandibulares muito amplos durante a mastigação e abertura bucal.

Durante os 12 meses de tratamento, os pacientes foram acompanhados durante consultas clínicas agendadas a cada 3 semanas, quando o profissional responsável avaliou a adaptação e estabilidade do aparelho e o grau de higiene do paciente. Sempre que necessário, foram efetuadas profilaxia e raspagem supragengival. Em casos de falha da cimentação, as estruturas eram removidas, jateadas com óxido de alumínio para completa remoção de resíduos e novamente cimentadas. Em casos de fraturas da solda, foram confeccionadas e cimentadas novas armações no hemiarco afetado. A cada 3 meses, durante a consulta clínica, o profissional responsável removia os tubos telescópicos e registrava a sobressaliência, relações de molares e caninos. Quando necessário, o aumento de avanço mandibular foi efetuado progressivamente, adicionando-se anéis de 1, 2 ou 3 mm de largura aos tubos telescópicos, até atingir a sobrecorreção da relação molar em Classe III e *overjet* nulo. Quando foram completados os 12 meses de tratamento, todos os aparelhos de Herbst foram removidos antes da aquisição das tomografias T2, para evitar artefatos metálicos nas imagens.

Figura 9 – Aparelho de Herbst utilizado no grupo HAD.



Legenda: A) Vista oclusal superior; B) Vista oclusal inferior; C) Vista lateral direita; D) Vista anterior; E) Vista lateral esquerda.

3.4.3 Intervenções efetuadas no Grupo HAE

Os pacientes do grupo Herbst (HB) utilizaram o mesmo aparelho de Herbst fundido cimentado utilizado no grupo HAD (Figura 10). Logo, os pacientes foram submetidos aos mesmos processos de moldagem, confecção de mordida construtiva e cimentação das estruturas metálicas que o grupo HAD.

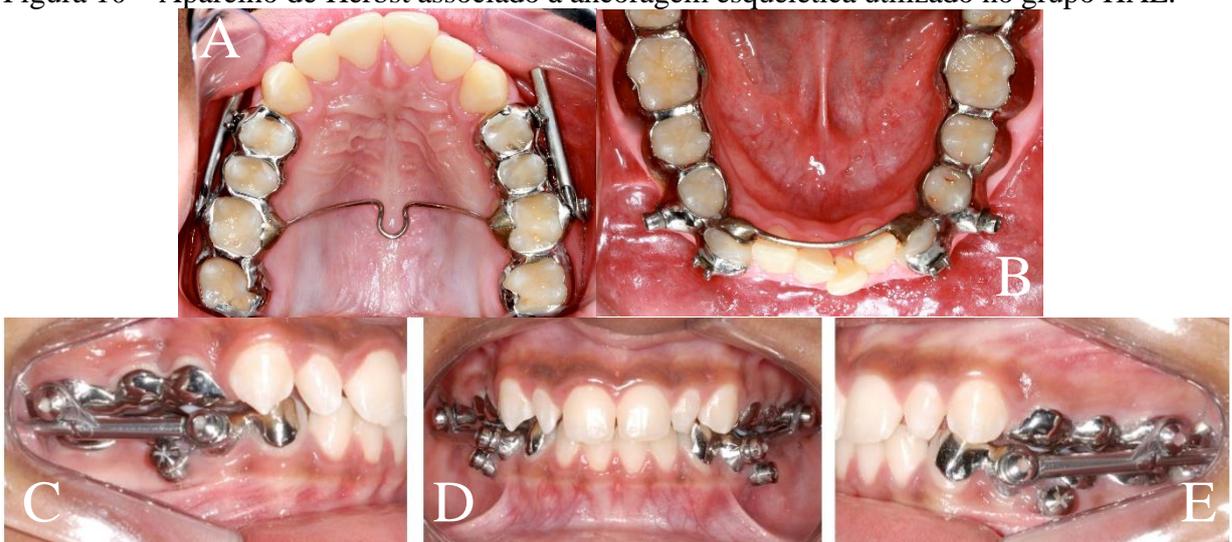
Adicionalmente, no arco inferior, foram instalados dois mini-implantes ortodônticos de 2 mm de diâmetro e 10 mm de comprimento (Neodent[®], Curitiba, Brasil) na região da crista óssea alveolar, entre as raízes dos 1^{os} e 2^{os} pré-molares inferiores dos lados esquerdo e direito, devido à boa disponibilidade óssea neste local. Previamente à instalação, foram analisados cortes panorâmicos das TCFC para o estudo dos locais de inserção. Para a inserção, foram utilizados micromotor e contra-ângulo com controle de torque e uma broca tronco-cônica com diâmetro de 1,3 mm (Neodent, Curitiba, Brasil) para a perfuração guia. A perfuração guia atingiu as corticais ósseas vestibular e lingual, para que os mini-implantes obtivessem ancoragem bicortical. Os mini-implantes foram inseridos com a chave de torque presa ao torquímetro calibrado, para não exceder 15 N.cm. Somente as cabeças dos mini-implantes ficaram expostas. Ao final da colocação, radiografias periapicais foram obtidas para a conferência do correto posicionamento dos mini-implantes.

Na primeira consulta, foram realizadas as moldagens em alginato das arcadas, o registro da mordida construtiva em cera 7 e a instalação dos mini-implantes, como descrito

acima. Na segunda consulta, foram executados os seguintes procedimentos: (1) profilaxia; (2) isolamento relativo; (3) cimentação das armações metálicas com cimento de ionômero de vidro ortodôntico (*Multi-Cure Glass Ionomer Band Cement*[®], 3M Unitek, Monrovia, EUA), de acordo com as orientações do fabricante; (4) instalação dos tubos telescópicos (*Herbst I set*[®], Dentauro, Ispringen, Alemanha) para estabilizar o avanço mandibular; (5) instalação de amarrilhos metálicos de aço .012” amarrados em *tie-together* entre as cabeças dos mini-implantes e as armações metálicas inferiores, com auxílio de uma pinça *mathieu* e alicate de corte de amarrilho; (6) orientações sobre cuidados de higiene e restrições de movimentos mandibulares durante mastigação e abertura bucal.

Durante os 12 meses de tratamento, os pacientes foram acompanhados da mesma forma descrita para o grupo HAD. Neste período, eventualmente ocorreram alguns eventos de complicações: aftas nas regiões da mucosa jugal em contato com os tubos telescópicos, falha de cimentação das estruturas metálicas e fratura da solda dos tubos telescópicos às armações metálicas. Para evitar as aftas, foram arredondados os tubos telescópicos na parte distal (com brocas de corte cruzado e peça reta). Em caso de descimentação, as estruturas foram removidas, higienizadas e recimentadas. Em caso de fratura da solda, as estruturas foram enviadas ao laboratório e ressoldadas a laser. Quando foi completado o período de tratamento, todos os mini-implantes e aparelhos de Herbst foram removidos antes da aquisição das tomografias T2, para evitar artefatos metálicos nas imagens.

Figura 10 – Aparelho de Herbst associado à ancoragem esquelética utilizado no grupo HAE.



Legenda: A) Vista oclusal superior; B) Vista oclusal inferior; C) Vista lateral direita; D) Vista anterior; E) Vista lateral esquerda.

3.5 Protocolo de aquisição das imagens tomográficas

Todas as tomografias computadorizadas de feixe cônico foram obtidas com o mesmo tomógrafo *Classic iCAT*[®] (Image Sciences, Hatfield, PA, USA) (Figura 11, legenda A), com os seguintes parâmetros: dimensão do *voxel* de 0,3 mm (isométrico), exposição de 40 segundos, o paciente sentado com os dentes ocluídos em relação cêntrica (RC) e campo de visão (FOV – *Field Of View*) estendido, de 17 cm de altura por 23 cm de diâmetro. Previamente à aquisição das TCFCs, os pacientes foram manipulados em relação cêntrica e treinados a reproduzir esta oclusão durante o exame.

Figura 11 – Fotografia do tomógrafo utilizado para aquisição das tomografias.



Legenda: Tomógrafo iCAT.

Os arquivos das imagens das TCFCs pré e pós-tratamento foram exportados pelo programa do tomógrafo no formato DICOM *multifile*, universal para imagens de diagnóstico tomográfico médico-odontológico e salvos em discos rígidos, para efetuar a análise 3D.

3.6 Análise 3D das imagens tomográficas

3.6.1 Construção de modelos de superfície 3D no programa ITK-SNAP

Segmentação é o processo de reconstrução tridimensional dos cortes tomográficos. O programa de acesso livre ITK-SNAP (<http://www.itksnap.org>) foi desenvolvido para possibilitar aos pesquisadores clínicos a segmentação de estruturas anatômicas individuais de forma manual, automática e semi-automática. Os radiologistas e neurologistas que desenvolveram este programa comprovaram sua eficiência e confiabilidade na segmentação precisa e detalhada de estruturas anatômicas¹⁰⁵.

Para iniciar a análise das tomografias deste estudo, a primeira etapa consistiu em importar todos os arquivos em formato DICOM *multi-file* para o programa ITK-SNAP, e convertê-los para cópias em formato *.gipl* (*Guys Image Processing Lab*). Os arquivos das TCFCs em formato *.gipl* foram utilizados exclusivamente neste programa, durante o processo de segmentação das estruturas anatômicas de interesse: incisivos centrais inferiores e superiores, 1^{os} molares superiores e inferiores, mandíbula e maxila.

Na segunda etapa, as ferramentas de segmentação 3D do ITK-SNAP foram utilizadas para construir modelos virtuais 3D separados de todas as estruturas anatômicas de interesse, nas tomografias T1 e T2, de todos os pacientes que concluíram os 12 meses de tratamento com propulsores mandibulares. Foi utilizado o método de segmentação semiautomático, que permitiu ao operador construir os modelos 3D de forma mais rápida e precisa do que pelo método manual. Incisivos centrais inferiores e superiores, 1^{os} molares inferiores e superiores, mandíbula e maxila foram segmentados em camadas separadas nesta sequência, com a opção de modo de pré-segmentação do tipo “*Thresholding*”, excelente para definir limites de estruturas mais densas e mineralizadas (Figura 12). Os modelos 3D foram refinados de forma automatizada com o modo de pré-segmentação do tipo “*Edge Attraction*” (indicado para segmentar estruturas menos mineralizadas), nas regiões de côndilos (Figura 13) e ramos mandibulares e também para o preenchimento de espaços vazios nas câmaras pulpares dos dentes e nas trabéculas ósseas da mandíbula. Logo, todos os modelos 3D (Figuras 14 e 15) eram sólidos, sem espaços vazios internos. Os arquivos das segmentações também foram salvos em formato *.gipl* (um para cada tomografia).

Figura 12 – Imagem da interface do programa ITK-SNAP para ajuste do *Thresholding* durante a segmentação dos incisivos centrais inferiores, como exemplo.

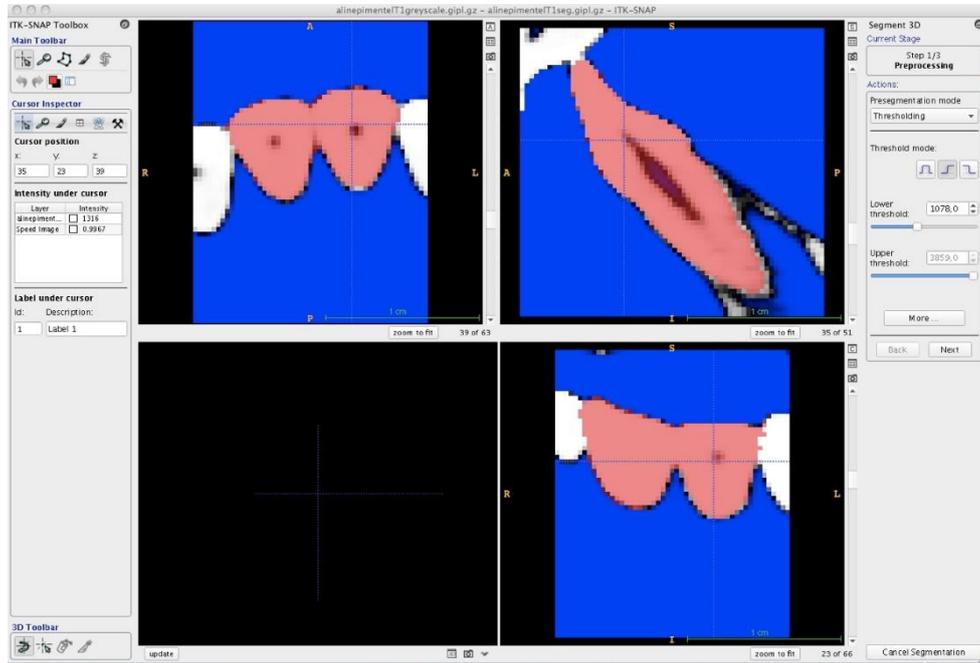


Figura 13 - Imagem da interface do programa ITK-SNAP para ajuste do *Edge Attraction* durante a segmentação dos côndilos.

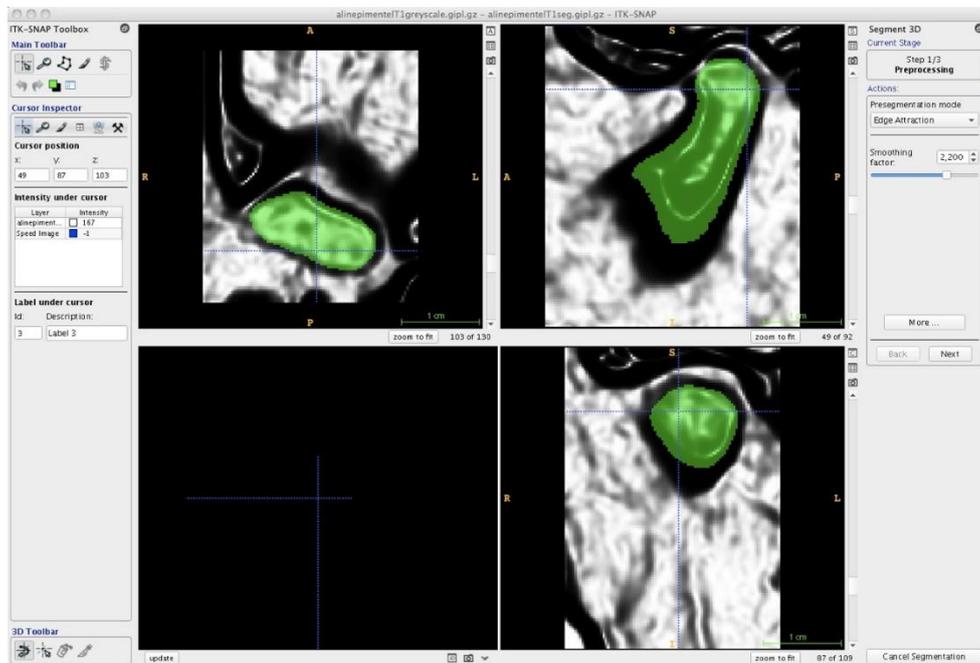


Figura 14 - Imagem da interface do programa ITK-SNAP exibindo os modelos 3D.

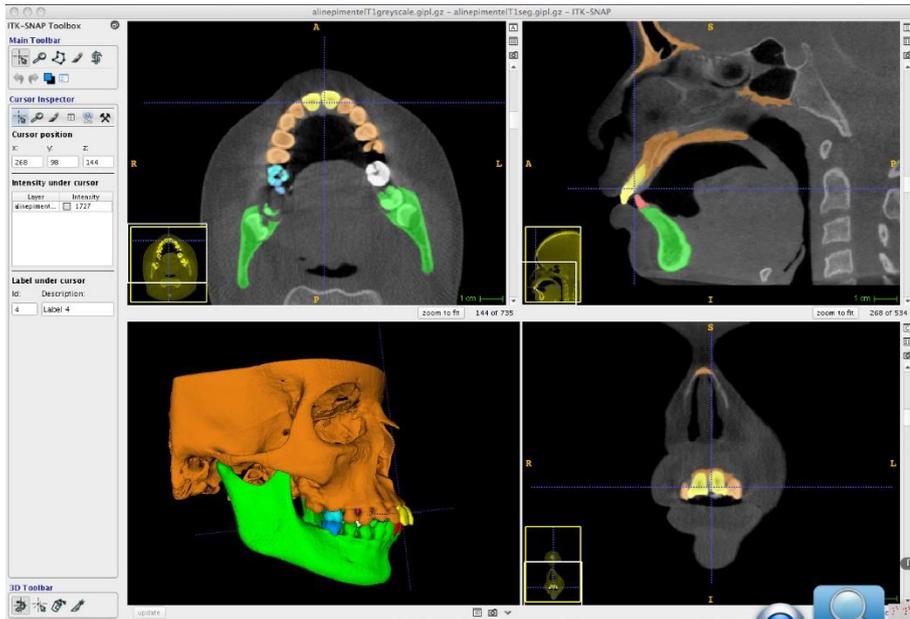
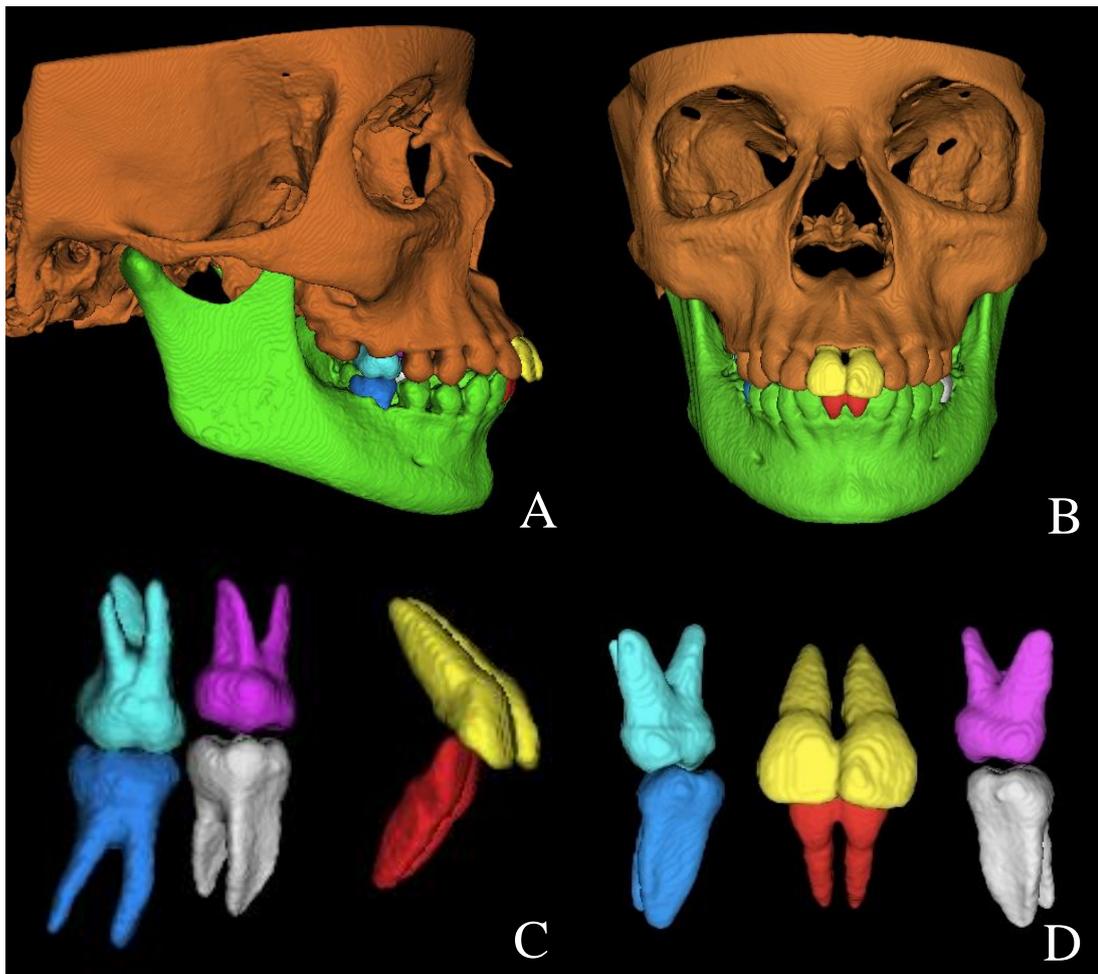


Figura 15 - Modelos 3D construídos no ITK-SNAP a partir das tomografias.

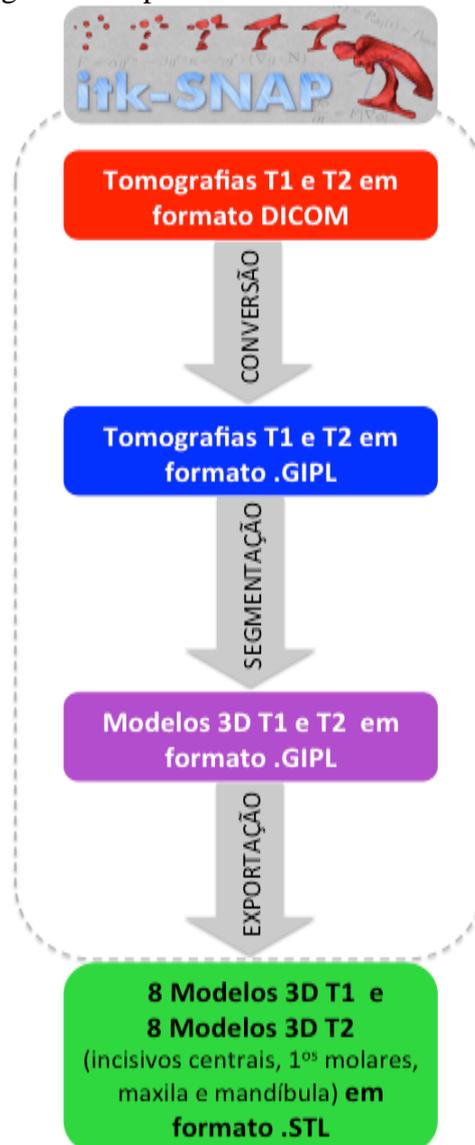


Legenda: Vistas lateral (A, C) e frontal (B, D) dos modelos 3D totais e dos dentes.

Finalizada a construção dos modelos 3D, a terceira etapa consistiu em utilizar a ferramenta “*Export as surface mesh*” do ITK-SNAP para exportar individualmente todos os modelos de superfície 3D para o formato .stl (*STereoLithography*). Foram gerados 8 arquivos .stl para cada tempo (T1 e T2): (1) incisivos centrais inferiores; (2) incisivos centrais superiores; (3) elemento dentário 16; (4) elemento dentário 26; (5) elemento dentário 36; (6) elemento dentário 46; (7) mandíbula e (8) maxila.

Desta forma, foram construídos modelos de superfície precisos, de excelente qualidade para permitir a comparação das estruturas pré e pós-tratamento. O fluxograma da Figura 16 sintetiza a sequência de procedimentos efetuados no programa ITK-SNAP. No Apêndice B, foi incluído um guia detalhado da sequência de comandos utilizados em todas as etapas neste programa.

Figura 16 – Fluxograma dos procedimentos efetuados no programa ITK-SNAP.



3.6.2 Etapas metodológicas efetuadas no programa Dolphin Imaging®

A seguir, o programa comercial Dolphin Imaging® foi utilizado para compactar as tomografias, orientar a cabeça dos pacientes na tomografia T1, efetuar a superposição das TCFCs com registro na base anterior do crânio e criar um Modelo de Transferência das Coordenadas dos planos cartesianos para cada paciente. As representações de tecido duro e mole obtidas ao final foram utilizadas para orientar os modelos 3D precisos construídos no ITK-SNAP nos planos cartesianos.

O Dolphin Imaging® é um programa pioneiro no processamento dos arquivos DICOM das tomografias para uso odontológico. Desde a década de 1980, é comercializado pela empresa *Dolphin Imaging and Management Solutions* (Chatsworth, Califórnia, EUA). É especialmente útil para o diagnóstico e planejamento de ortodontistas e cirurgias bucomaxilofaciais, pois permite efetuar mensurações precisas 2D (como o traçado cefalométrico) e 3D (como superposições e simulações cirúrgicas no complexo craniofacial). Também efetua segmentação automática, porém os modelos 3D resultantes não possuem o mesmo grau de detalhamento de superfície dos modelos gerados pelo programa ITK-SNAP.

No Dolphin Imaging®, a primeira etapa consistiu em importar todos os arquivos DICOM das tomografias (T1 e T2) e compactá-los em 30% (recomendado), para reduzir a demanda computacional e aumentar a eficiência do processamento. Desta forma, os *voxels* das tomografias foram redimensionados de 0,3mm para 0,4 mm, sem perda relevante de qualidade da imagem das TCFCs.

3.6.2.1 Orientação da cabeça nas tomografias T1

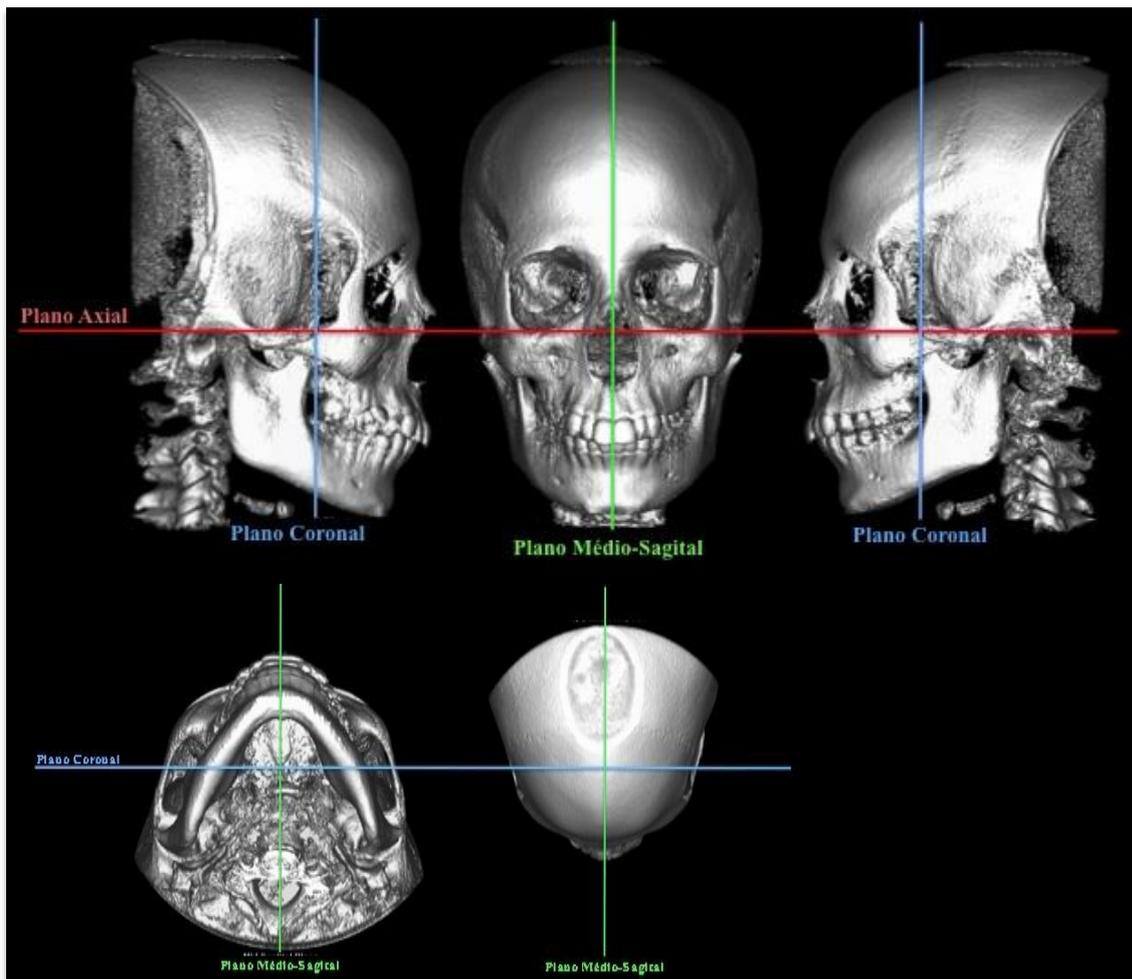
Após a compactação dos arquivos DICOM, a ferramenta “*Orientation*” foi utilizada para orientar a posição da cabeça dos pacientes nos arquivos das tomografias T1. Na janela “*Orientation calibration*”, foi selecionado visualizar o volume sólido dos tecidos duros. Foi utilizada a ferramenta “*Auto alignment tool*” com a opção “*Using line*”, que permitiu escolher dois pontos de referência para alinhamento: o programa reorientou a tomografia para que a linha determinada entre os pontos selecionados se tornasse horizontal ou vertical. Como referência, foram utilizados o plano orbital, o plano horizontal de Frankfurt e o plano médio-sagital. Esta orientação foi utilizada porque é próxima à posição natural da cabeça, a posição mais reprodutível dos pacientes.

Na vista frontal das tomografias, foram selecionados os pontos mais inferiores dos orbitais direito e esquerdo e acionado o comando “*Make horizontal*”: o programa reorientou a tomografia para que o plano orbital se tornasse horizontal.

A seguir, na vista sagital direita, foram selecionados o pório direito e o orbital direito, e utilizado o comando “*Make horizontal*”: o programa reorientou a tomografia para que o plano horizontal de Frankfurt do lado direito se tornasse horizontal. Na sequência, na vista sagital esquerda, foram selecionados o pório esquerdo e o orbital esquerdo. Foi utilizado o comando “*Make horizontal*”: o programa reorientou a tomografia para que o plano horizontal de Frankfurt esquerdo se tornasse horizontal.

A vista frontal foi retomada, e o cursor do plano médio sagital foi arrastado para coincidir com a glabella. O comando “*Save*” da ferramenta “*Database save/restore*” foi utilizado para salvar esta orientação de cabeça na base de dados do Dolphin Imaging®.

Figura 17 – Orientação da cabeça efetuada nas tomografias T1 dos pacientes.



Legenda: Vistas lateral direita, frontal, lateral esquerda, inferior e superior da tomografia T1 orientada, com os planos axial, coronal e médio-sagital.

3.6.2.2 Registro rígido das tomografias T1 e T2 baseados em *voxel* na base anterior do crânio

Após a orientação da cabeça da tomografia T1, foi efetuada a superposição das tomografias pré e pós tratamento. A superposição de TCFCs em estruturas estáveis de referência permite a avaliação das mudanças 3D dentárias, esqueléticas e de tecido mole de pacientes em crescimento³². Neste estudo, foi utilizado um método totalmente automático de registro, baseado em *voxel*, que dispensa a necessidade de localizar pontos que seriam influenciados pelo operador e pela superposição de estruturas, e independe da precisão dos modelos de superfície 3D.

Para a sobreposição de TCFCs obtidas em diferentes momentos de indivíduos em crescimento, foram utilizadas as fossas cranianas anteriores e as superfícies ósseas etmóides no registro, pois o crescimento dessas estruturas foi concluído na primeira infância. Neste estudo, o registro usou como referência as estruturas da base craniana anterior cujo crescimento completa-se aos 7 anos de idade¹¹⁸: parede anterior da sela, processos clinóides anteriores, plano esfenoidal, asas menores do esfenóide, aspecto superior do etmóide e da placa cribiforme, cristas corticais das superfícies mediais e superiores do teto das órbitas, e cortical interna do osso frontal³¹.

Neste procedimento de registro, o programa Dolphin Imaging[®] comparou a intensidade da escala de cinza de cada *voxel* das superfícies da base anterior do crânio das duas imagens tomográficas e calculou os parâmetros de rotação e translação entre ambas. A base anterior do crânio pré-tratamento (T1) foi utilizada como referência para a superposição da tomografia pós-tratamento (T2): um método rápido, preciso e confiável⁸⁰.

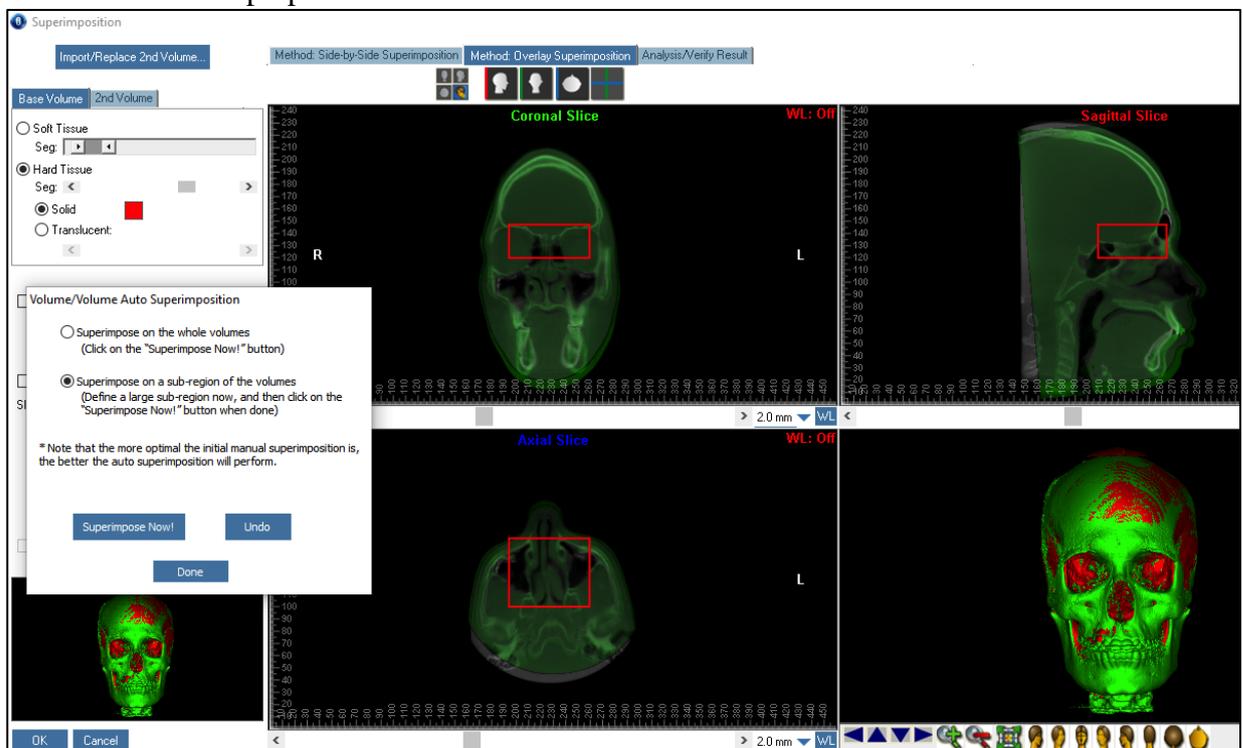
Para iniciar o procedimento de registro, foi aberto o arquivo da tomografia T1 compactada e orientada na interface principal do programa Dolphin Imaging[®] e selecionada a ferramenta “*Superimposition*”. A seguir, foi acessado o arquivo da tomografia T2, para superposição em T1. O processo de superposição e exportação das tomografias neste programa envolveu três etapas, descritas a seguir.

A 1ª etapa “*Method Side-by-Side Superimposition*” consistiu em marcar os mesmos 03 pontos de referência nas tomografias T1 e T2 para efetuar um alinhamento prévio entre ambas, para facilitar ao programa a futura superposição na base do crânio. Esta etapa foi necessária porque quanto mais distantes estiverem as duas superfícies a serem comparadas, maior a demanda computacional. Foi utilizada a visualização sólida dos tecidos duros das tomografias, para efetuar a marcação dos pontos mais superiores da órbitas esquerda (ponto 1) e direita (ponto 2) e a espinha nasal anterior (ponto 3). Foi acionado o comando “*Superimpose*

now!": o programa aproximou os *voxels* dos dois arquivos, com base nos pontos anatômicos selecionados.

A 2ª etapa “*Method: Overlay Superimposition*” consistiu em utilizar a ferramenta de superposição automática do programa, na opção “*Superimpose on a sub-region of the volumes*”, para delimitar a região anatômica das tomografias que contém os *voxels* que devem ser comparados e aproximados. Nesta função, a interface do programa exibiu os cortes coronais, sagitais e axiais e a visualização 3D do tecido duro das tomografias T1 e T2. Em cada plano de corte, uma área retangular de seleção foi modificada até incluir os limites anatômicos desejados: parede anterior da sela, processos clinóides anteriores, plano esfenoidal, asas menores do esfenóide, aspecto superior do etmóide e da placa cribiforme, cristas corticais das superfícies mediais e superiores do teto das órbitas e cortical interna do osso frontal. Acionado o comando de superposição, o programa efetuou movimentos de translação e rotação na tomografia de T2, comparando os *voxels* da região selecionada na base craniana anterior com a tomografia T1, até obter o melhor alinhamento possível (Figura 18).

Figura 18 – Reprodução da interface do programa Dolphin Imaging® que mostra a tomografia T2 superposta na base anterior do crânio de T1.

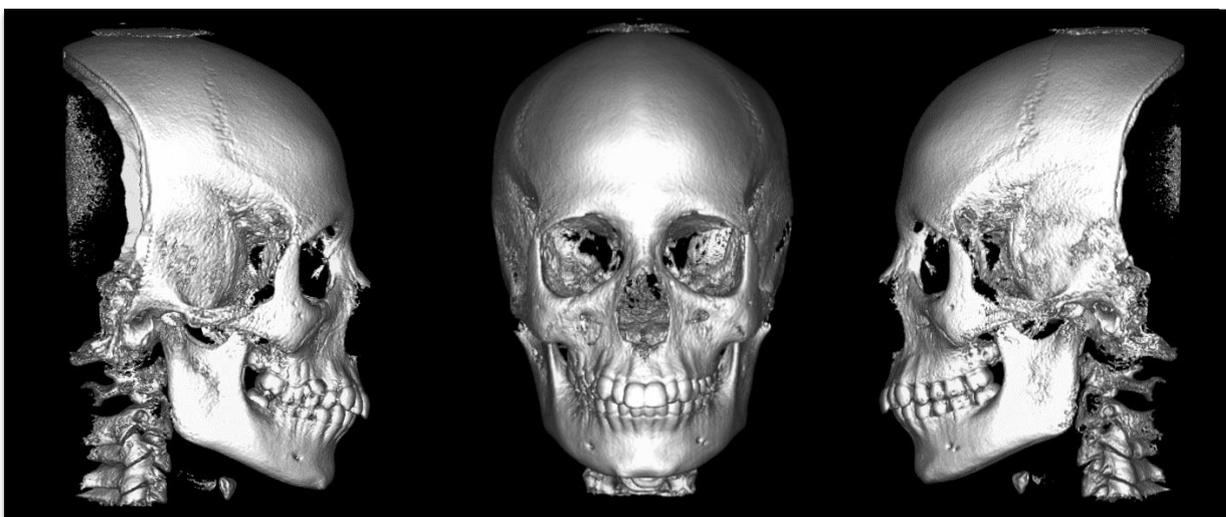


Legenda: O retângulo vermelho nos cortes coronais, sagitais e axiais delimita a região anatômica utilizada para o registro.

A 3ª etapa “*Analysis: Verify result*” consistiu em exportar a visualização 3D do tecido duro da tomografia T2 registrada em relação a T1 em formato .STL, através do comando “*Convert 2nd Volume to STL*”. A visualização 3D do tecido duro da tomografia é um modelo 3D obtido pela segmentação automática do Dolphin Imaging. Na janela “*Create surface from volume*”, o programa permite a opção de ajustar os parâmetros da segmentação automática, os quais foram alterados até que a operadora visualizasse uma imagem de boa qualidade do tecido duro total do paciente. A seguir, foi exportado o modelo 3D do tecido duro de T2 (registrado em T1) para o formato .STL, o qual foi salvo na base de dados do programa.

Encerrada a superposição, foi retomada a visualização do arquivo da tomografia T1 (com cabeça orientada) na interface principal do Dolphin Imaging®. Para exportar a visualização 3D do tecido duro da tomografia T1 orientada, para o formato .STL, foi utilizado o comando “*Add*”, na opção “*Create Soft Tissue Surface (From Volume)...*”. Na janela “*Create surface from volume*”, foram alterados os parâmetros de segmentação automática, até que fosse obtida a visualização de imagem de boa qualidade do tecido duro de T1. Finalmente, foi exportado o modelo 3D do tecido duro de T1 para o formato .STL (Figura 19), o qual foi salvo na base de dados do programa.

Figura 19 – Imagens dos modelos 3D do tecido duro de T1 obtidos no Dolphin Imaging.



A última etapa consistiu em exportar os arquivos de malha de superfície .STL dos modelos 3D dos tecidos duros totais de T1 e T2 (orientados e registrados) da base de dados interna do Dolphin Imaging® para uma pasta de arquivos comum do computador.

Como há somente um ajuste de parâmetros para o conjunto de estruturas anatômicas que possuem graus de mineralização diferentes, os modelos 3D de tecido duro gerados pelo Dolphin Imaging® contêm algumas falhas na superfície de estruturas menos mineralizadas (principalmente na maxila e nos côndilos, como observa-se na Figura 19).

Por isso, houve a necessidade de confeccionar os modelos 3D precisos no ITK-SNAP, com ajustes de parâmetros individualizados para cada estrutura.

3.6.2.3 Criação do Modelo para Transferência das Coordenadas (MTC) dos planos cartesianos

Depois de concluídos os processos de orientação e superposição das tomografias T1 e T2, todos os modelos 3D gerados por segmentação automática a partir destas TCFCs passaram a compartilhar o mesmo sistema de coordenadas no programa Dolphin Imaging®.

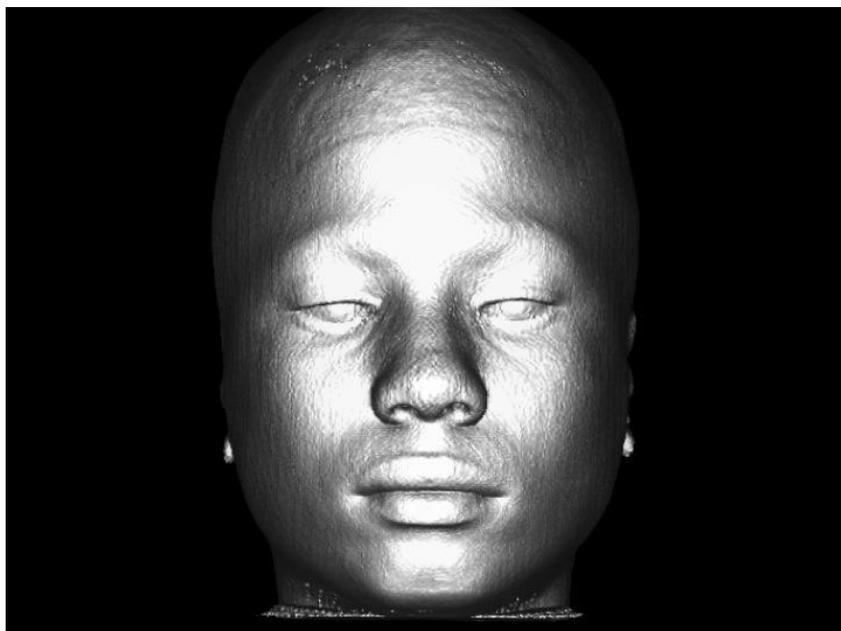
Todo estudo que utiliza tomografias seriadas com diferentes orientações de cabeça para analisar a direção das mudanças maxilomandibulares ocorridas no mesmo paciente, depende do estabelecimento de um sistema de coordenadas comum, para que as projeções direcionais sejam consistentes entre as imagens obtidas³⁴.

Por isso, no presente estudo, o programa Dolphin Imaging® foi utilizado para criar um Modelo de Transferência do Sistema de Coordenadas (MTC) a partir do tecido mole facial da tomografia T1 orientada de cada paciente tratado. O MTC foi gerado com o objetivo de transferir o sistema de coordenadas obtido no Dolphin Imaging® para o programa Geomagic Qualify®.

Posteriormente, no programa Geomagic®, o MTC foi utilizado como guia para a criação do sistema de coordenadas cartesianas utilizado para avaliar as projeções direcionais ocorridas no mesmo paciente, como detalhado no item 3.6.3.2.

A primeira etapa para obter o MTC foi selecionar a ferramenta “3D” na opção “*Edit*”, para obter a visualização 3D do tecido mole de T1 efetuada por segmentação automática do Dolphin Imaging® (Figura 20).

Figura 20 – Visualização do modelo de tecido mole de T1 gerado no programa Dolphin Imaging®.



A seguir, foi utilizada a ferramenta “*Use Volume Sculpting*” para editar o tecido mole de T1. O comando “*Restrict to Within Viewing Slice*” foi utilizado para seccionar a visualização 3D dos tecidos moles nos três planos: axial, coronal e sagital.

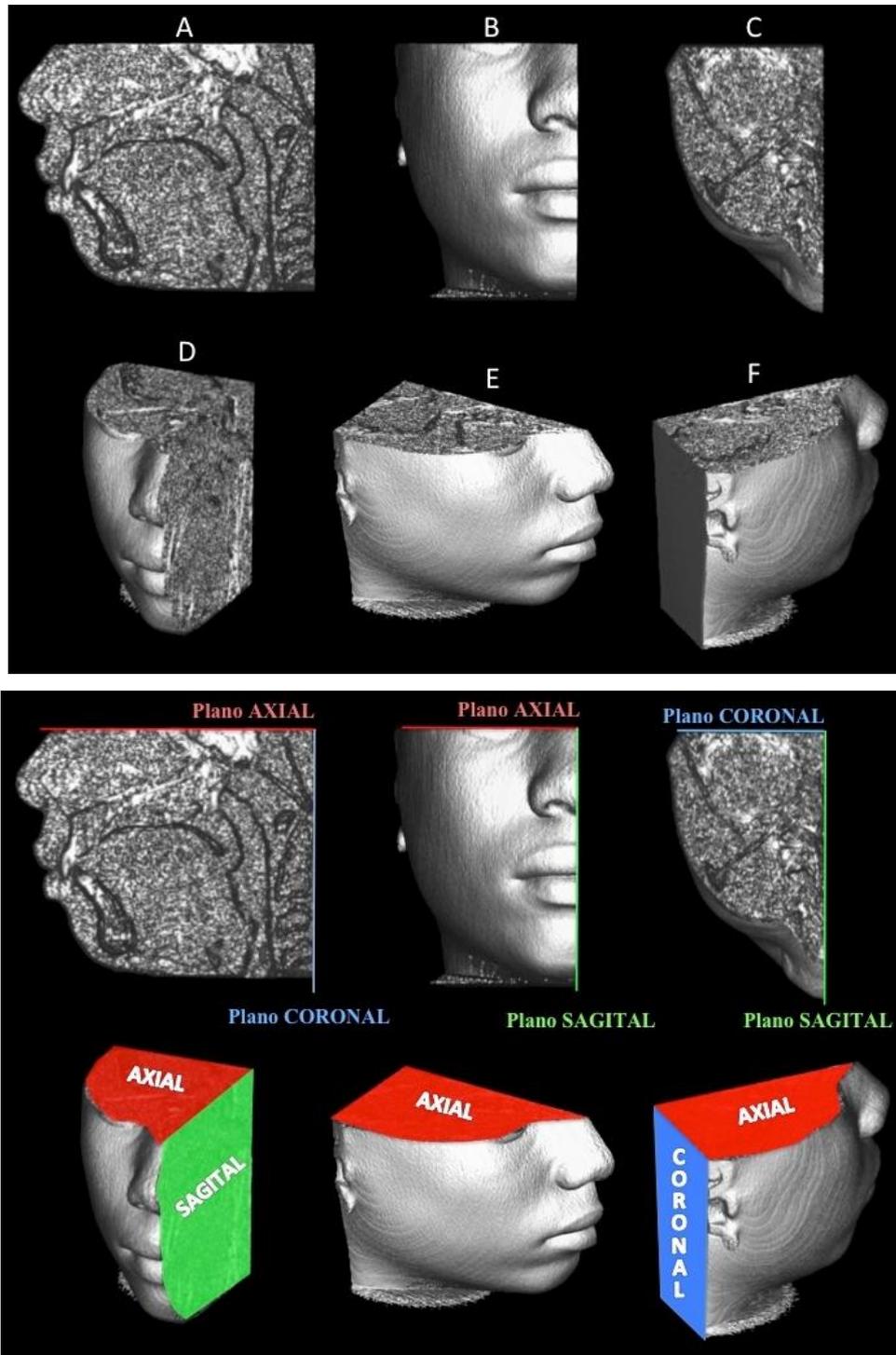
O primeiro recorte foi efetuado no plano sagital. Na vista frontal, um comando do programa seccionou o modelo 3D dos tecidos moles no plano médio-sagital e preservou somente o lado direito da face do paciente. A seguir, foi acionado o comando “*Sculpt out all not shown*”, para apagar do modelo 3D toda a região que não era visualizada (neste caso, o lado esquerdo da face do paciente).

O segundo recorte foi realizado no plano axial. Na vista frontal do modelo, o cursor da barra de controle foi ajustado para localizar o corte axial no limite inferior da pálpebra direita do paciente. Novamente, foi acionado o comando “*Sculpt out all not shown*”, que apagou do modelo 3D somente o volume acima do limite inferior da pálpebra.

O terceiro recorte foi feito no plano coronal. Na vista sagital do modelo, o cursor da barra de controle foi ajustado para localizar o corte coronal coincidente com o básico. O comando “*Sculpt out all not shown*” removeu do modelo 3D o volume posterior ao básico.

Estes locais anatômicos foram selecionados devido à facilidade de visualização destas estruturas, para determinar os planos que seriam utilizados para criação do sistema de coordenadas. Após o recorte dos três planos, o modelo 3D do MTC também foi exportado para o formato .STL (Figura 21).

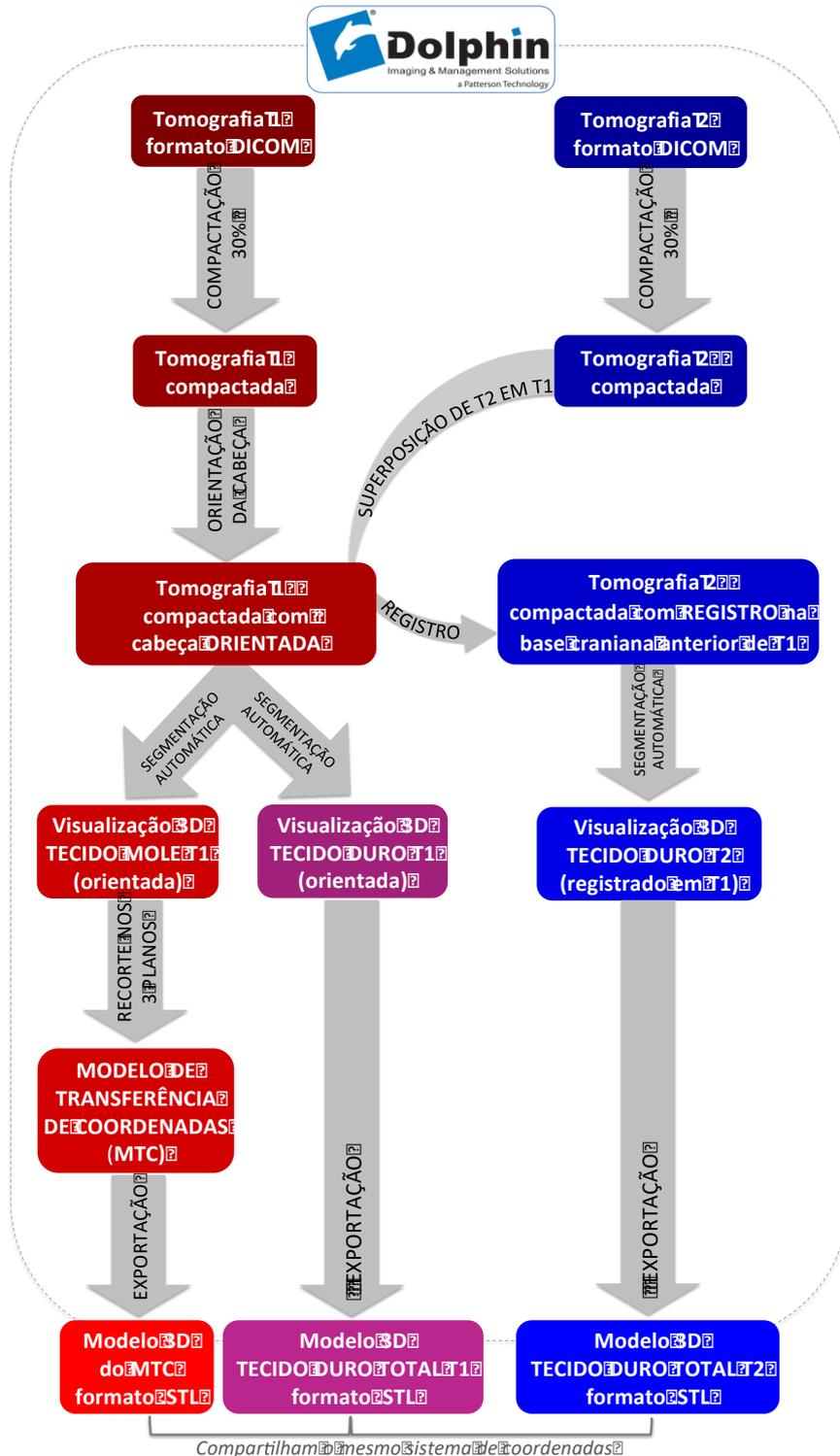
Figura 21 – Planos axial, coronal e sagital do Modelo de Transferência do Sistema de Coordenadas (MTC).



Legenda: A) Vista sagital esquerda. B) Vista frontal. C) Vista axial superior. D) Vista oblíqua esquerda. E) Vista oblíqua direita. F) Vista oblíqua pósterosuperior.

A sequência detalhada dos comandos utilizados durante as etapas de compactação, superposição das tomografias, criação do MTC e exportação dos arquivos efetuadas no programa Dolphin Imaging® foi descrita no Apêndice C. O fluxograma da Figura 22 sintetiza a sequência de procedimentos efetuados neste programa.

Figura 22 – Fluxograma dos procedimentos efetuados no programa Dolphin Imaging®.

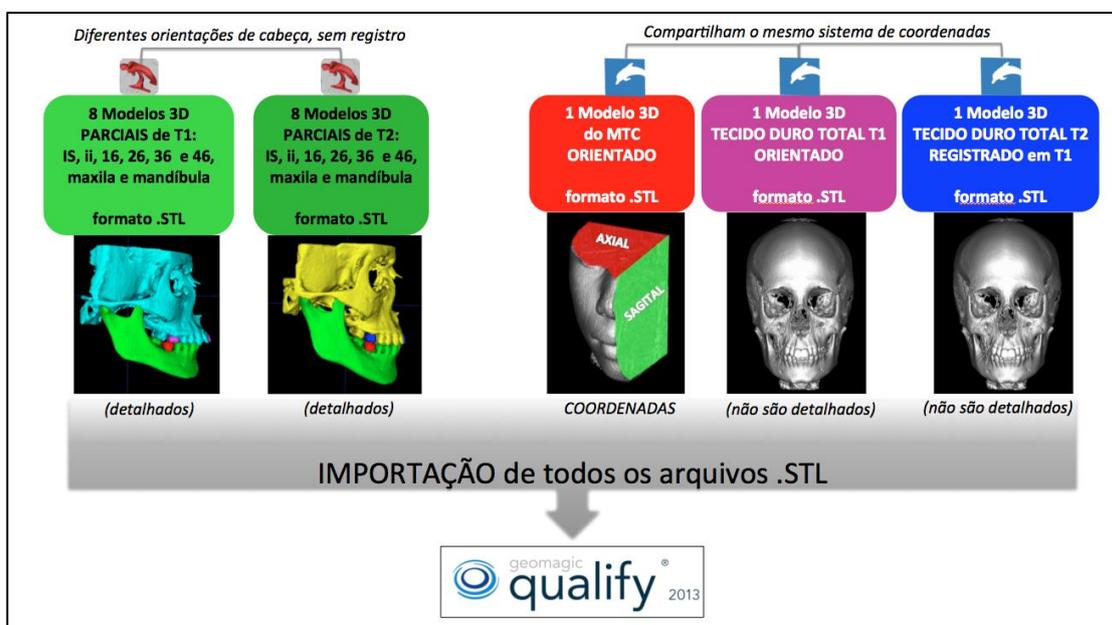


3.6.3 Etapas metodológicas efetuadas no programa Geomagic Qualify®

Os modelos 3D de dentes e ossos maxilares construídos no programa ITK-SNAP eram detalhados, porém foram gerados a partir das tomografias T1 e T2 originais dos pacientes, as quais possuíam orientações de cabeça diferentes entre si. Por isso, o programa Dolphin Imaging® foi utilizado para orientar a cabeça da tomografia T1, efetuar o registro da tomografia de T2 na base craniana anterior de T1 e criar um guia para transferir o sistema de coordenadas. Os modelos 3D de tecido duro totais de T1 e T2 orientados e registrados (exportados do Dolphin Imaging®) foram utilizados para guiar o alinhamento dos modelos 3D detalhados (gerados pelo ITK-SNAP) no Geomagic Qualify®.

Logo, após o alinhamento no Geomagic Qualify®, os modelos 3D detalhados de dentes e ossos maxilares de T1 e T2 tornaram-se orientados e registrados, e compartilharam o mesmo sistema de coordenadas. Neste programa, o modelo 3D do MTC foi utilizado para criar um sistema de coordenadas cartesianas para cada paciente, para que a análise dos deslocamentos das estruturas anatômicas analisadas fosse consistente. As Figuras 23 e 24 sintetizam este processo, que será detalhadamente descrito a seguir.

Figura 23 – Modelos importados para o Geomagic Qualify®.



O Geomagic Qualify® é um programa profissional de engenharia e metrologia, amplamente utilizado em processos industriais de medição, verificação e controle de qualidade, devido à elevada precisão de suas numerosas ferramentas de medição 2D e 3D. Na

Medicina e na Odontologia, este programa tem sido utilizado para avaliação tridimensional de deslocamentos de estruturas anatômicas, os quais podem ser causados por diferentes processos.

A primeira etapa efetuada no Geomagic Qualify® foi importar todos os 19 arquivos .STL dos modelos 3D gerados nos programas ITK-SNAP (8 modelos parciais de T1 e 8 de T2) e Dolphin Imaging® (MTC, tecido duro total de T1, tecido duro total T2), como ilustrado na Figura 23. A Figura 25 reproduziu a interface principal do programa, com a lista de modelos importados na janela “*Model Manager*”.

Para reduzir a demanda computacional (memória e placa de vídeo), foram removidas as regiões que não seriam utilizadas dos modelos 3D de tecido duro total de T1 e T2 (vértebras e parte superior da calota craniana). Pelo mesmo motivo, foi reduzido o número de triângulos da malha da superfície dos modelos detalhados de maxila, de mandíbula e o tecido duro total de T1 e T2.

Figura 24 – Fluxograma das etapas metodológicas efetuadas no Geomagic Qualify.

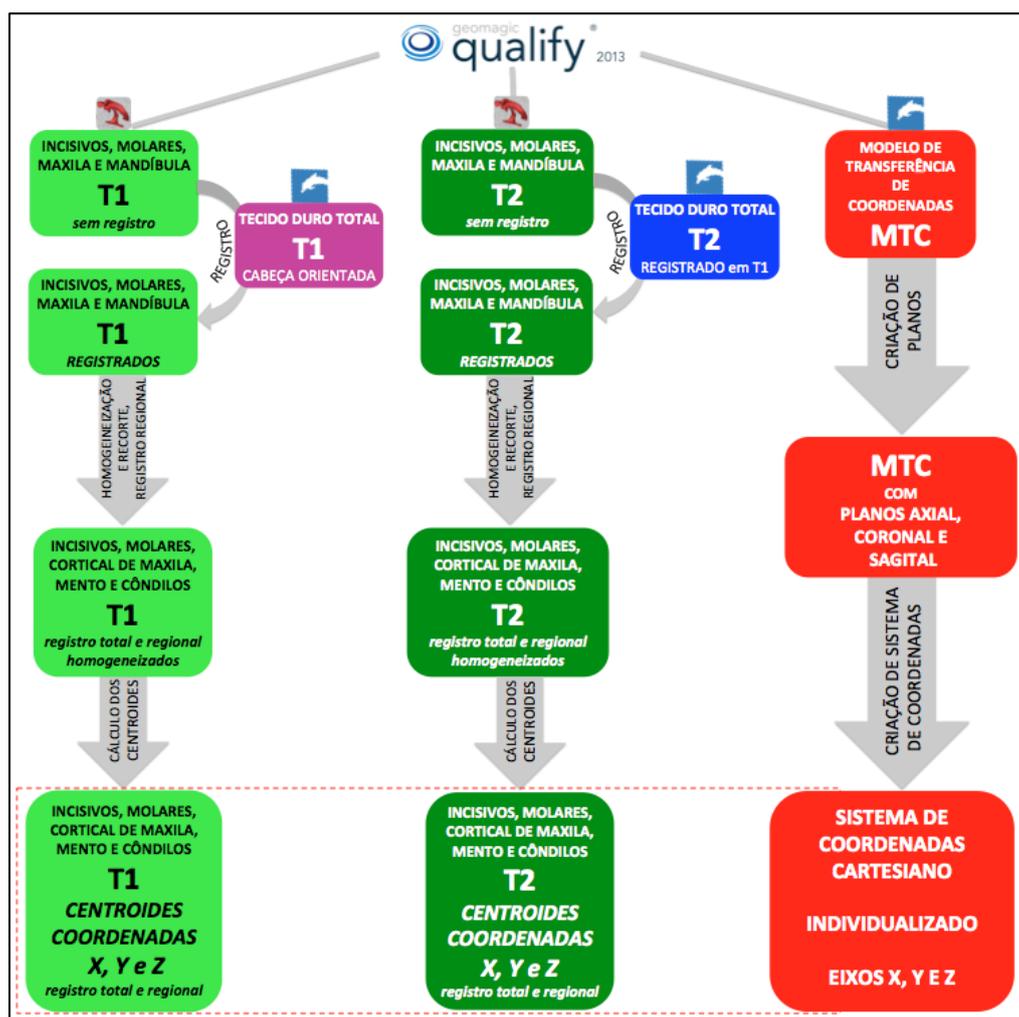
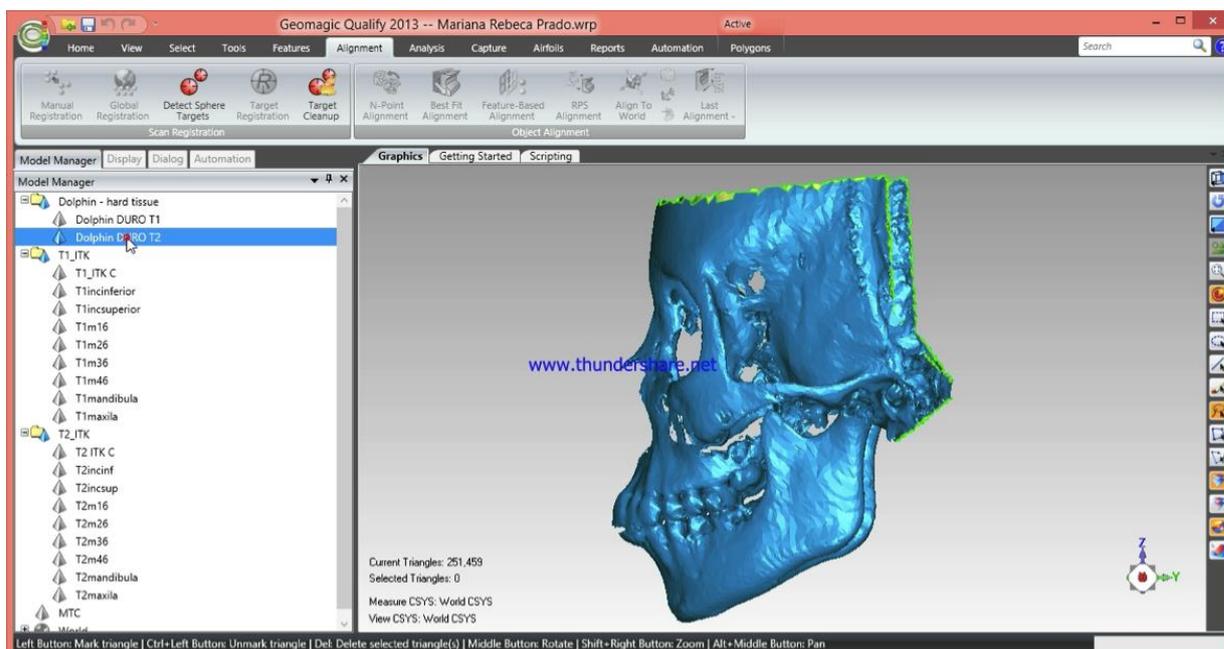


Figura 25 – Reprodução da interface principal do programa Geomagic Qualify® 2013.



Legenda: Na janela “Model Manager”, à esquerda, observa-se a lista de modelos 3D importados. Na janela à direita, visualiza-se o modelo selecionado na lista da esquerda. Neste exemplo, o tecido duro total de T2 (previamente gerado no programa Dolphin).

3.6.3.1 Orientação dos modelos 3D parciais precisos (gerados pelo ITK-SNAP) nos modelos 3D totais orientados e registrados (gerados pelo Dolphin Imaging)

Todos os 8 modelos parciais detalhados de T1 foram selecionados e duplicados. Estas cópias foram agrupadas em um único modelo 3D total: desta forma, foi obtido um modelo total de tecido duro de T1 detalhado (de aspecto similar ao gerado pelo programa Dolphin, porém sem falhas de superfície). O mesmo foi efetuado com os 8 modelos parciais detalhados de T2 (foram selecionados, duplicados e agrupados).

Estes novos modelos totais detalhados do tecido duro de T1 e T2 foram alinhados de forma automática aos modelos de tecido duro totais de T1 e T2 orientados e registrados (gerados pelo Dolphin). Para isso, no menu “Alignment” foi utilizada a ferramenta “Manual registration”. Nesta ferramenta, os modelos totais orientados e registrados foram utilizados como referência para alinhar (registrar) os modelos totais detalhados gerados no Geomagic. Foram marcados 03 pontos anatômicos equivalentes nos dois modelos, somente para obter um alinhamento prévio que facilitou ao programa reduzir a distância entre os modelos. O comando “Register” foi utilizado para o programa buscar de forma automática a máxima aproximação possível entre as superfícies dos dois modelos 3D. Ao final, os modelos totais de

tecido duro precisos gerados pelo Geomagic, obtiveram a mesma orientação espacial dos modelos totais T1 e T2 gerados pelo Dolphin.

Finalmente, todos os modelos parciais precisos de T1 e T2 foram alinhados aos modelos totais precisos e registrados de T1 e T2 (gerados como descrito no último parágrafo). Para isso, no menu “*Alignment*”, novamente foi utilizada a ferramenta “*Manual registration*”. O comando “*Register*” foi utilizado para o programa buscar de forma automática a máxima aproximação possível entre as superfícies dos modelos 3D parciais e totais. Cada estrutura anatômica parcial foi alinhada à total individualmente. Ao final, os modelos parciais precisos de T1 e T2 obtiveram a mesma orientação espacial dos modelos totais T1 e T2 orientados e registrados.

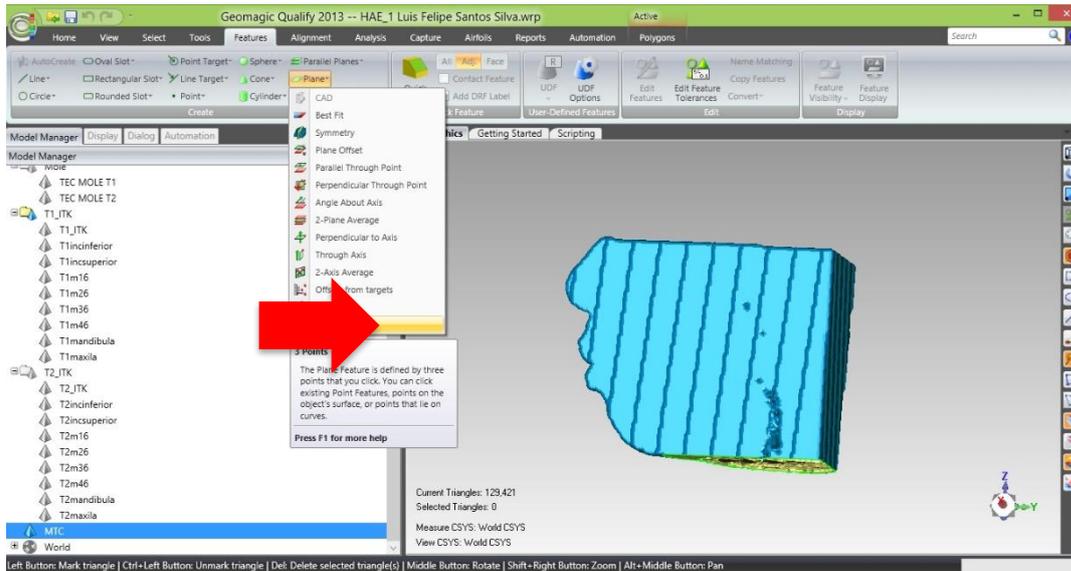
3.6.3.2 Orientação dos modelos 3D nos planos cartesianos: utilização do MTC para criar o Sistema de Coordenadas no Geomagic Qualify®

O programa Geomagic Qualify® possui um sistema de coordenadas cartesianas comum. Todavia, a orientação dos eixos e o ponto de origem das coordenadas não coincidem com as tomografias T1 e T2 dos pacientes. Por isso, foi utilizada a ferramenta deste programa que permite criar sistemas de coordenadas individualizados.

Na interface principal do programa, foi selecionado o arquivo do Modelo de Transferência de Coordenadas (MTC) na lista de modelos. A primeira etapa consistiu em criar os planos axial, coronal e sagital nas faces correspondentes recortadas do MTC. Para tal, foi selecionado no menu “*Features*”, a ferramenta “*Plane*”, na opção “*3 Points*” (Figura 26), que permite criar planos em qualquer superfície plana de um modelo 3D, através da marcação de 3 pontos. Para cada plano, foram marcados 3 pontos na superfície e acionado o comando de criar plano. Ao final, o MTC exibiu os 3 planos criados nas superfícies recortadas (Figura 27).

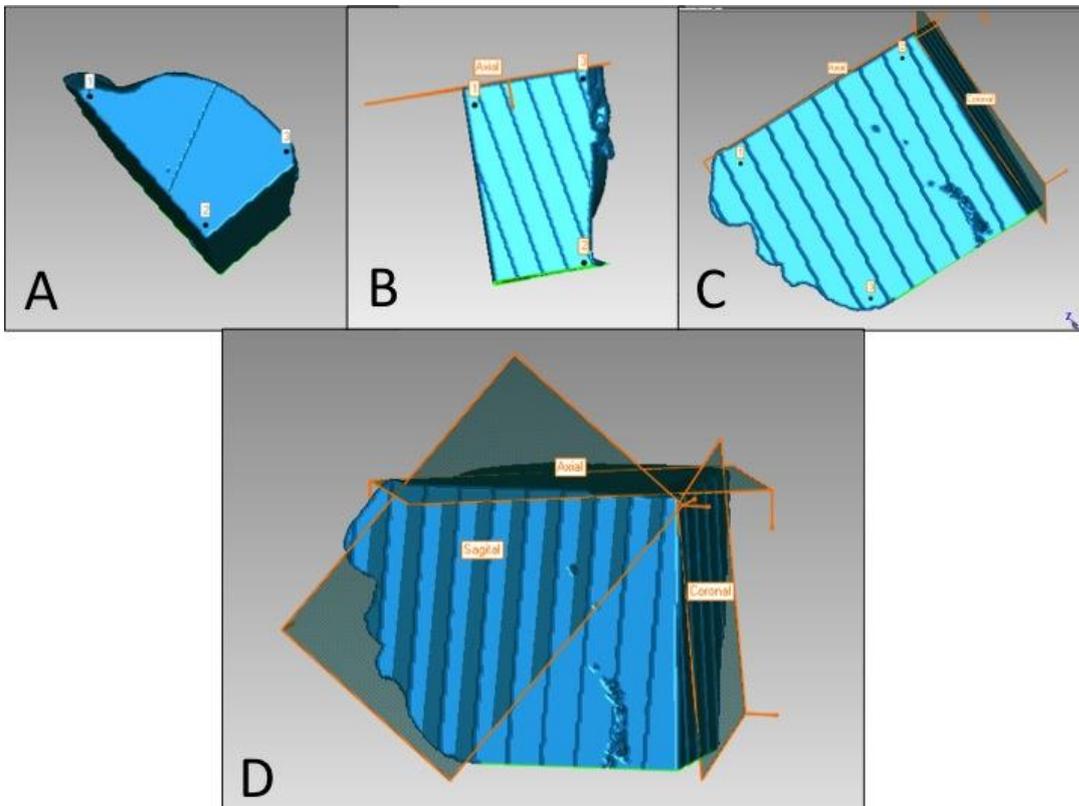
É importante destacar que a variabilidade de posição dos 3 pontos marcados para criar cada plano não influenciava o processo. Quaisquer 3 pontos pertencentes à superfície criariam o mesmo plano, pois o programa utilizava-os somente como referência para localizar automaticamente a superfície desejada.

Figura 26 – Ferramenta utilizada para criar os planos axial, coronal e sagital no MTC.



Legenda: A seta vermelha destaca a localização da ferramenta utilizada.

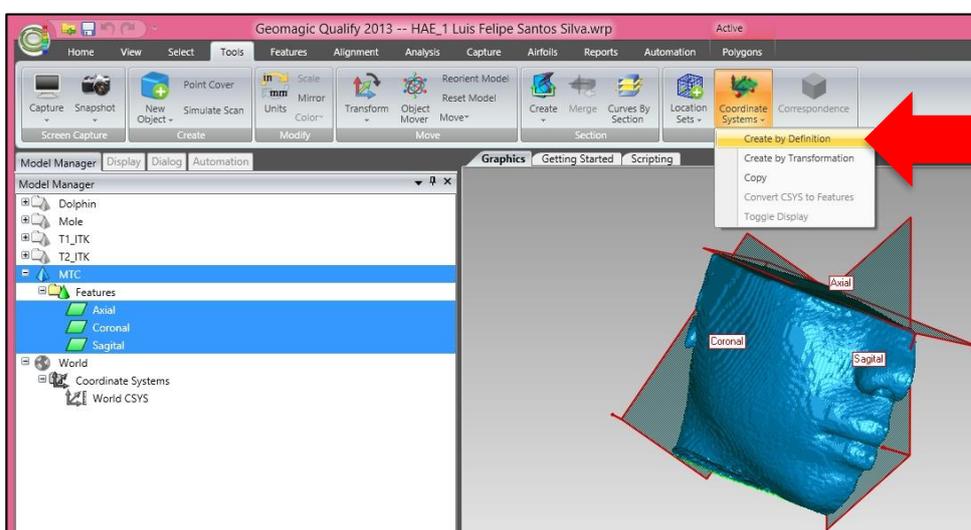
Figura 27 – Marcação dos 3 pontos na superfície para criar os planos axial, coronal e sagital alinhados às superfícies recortadas do MTC.



Legenda: Marcação dos 3 pontos nos planos axial (A), coronal (B) e sagital (C). (D) Imagem do MTC após a criação dos planos axial, coronal e sagital.

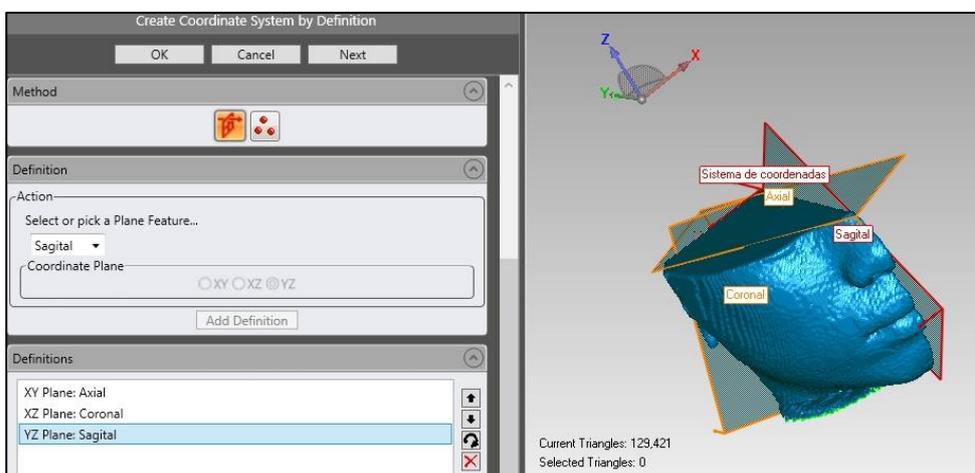
A segunda etapa consistiu em criar um Sistema de Coordenadas individualizado, com eixos x, y e z orientados com base nos planos axial, coronal e sagital do MTC. No menu “Tools”, foi selecionada a ferramenta “Coordinate systems”, na opção “Create by definition” (Figura 28), que permite associar os planos criados no MTC aos eixos das coordenadas do programa. Neste estudo, o plano axial foi relacionado ao plano XY, o plano coronal foi relacionado ao XZ e o sagital ao YZ (Figura 29). Por fim, o Sistema de Coordenadas do paciente foi transformado no sistema de coordenados ativo para todas as mensurações de deslocamento efetuadas no programa.

Figura 28 – Ferramenta utilizada para associar os planos criados no MTC aos eixos das coordenadas do programa Geomagic.



Legenda: A seta vermelha destaca a localização da ferramenta utilizada.

Figura 29 – Interface do programa Geomagic Qualify que mostra os eixos X, Y e Z orientados aos planos axial, coronal e sagital do MTC.



3.6.3.3 Criação automática do ponto centroide dos modelos 3D das estruturas dentárias: incisivos centrais e primeiros molares superiores e inferiores.

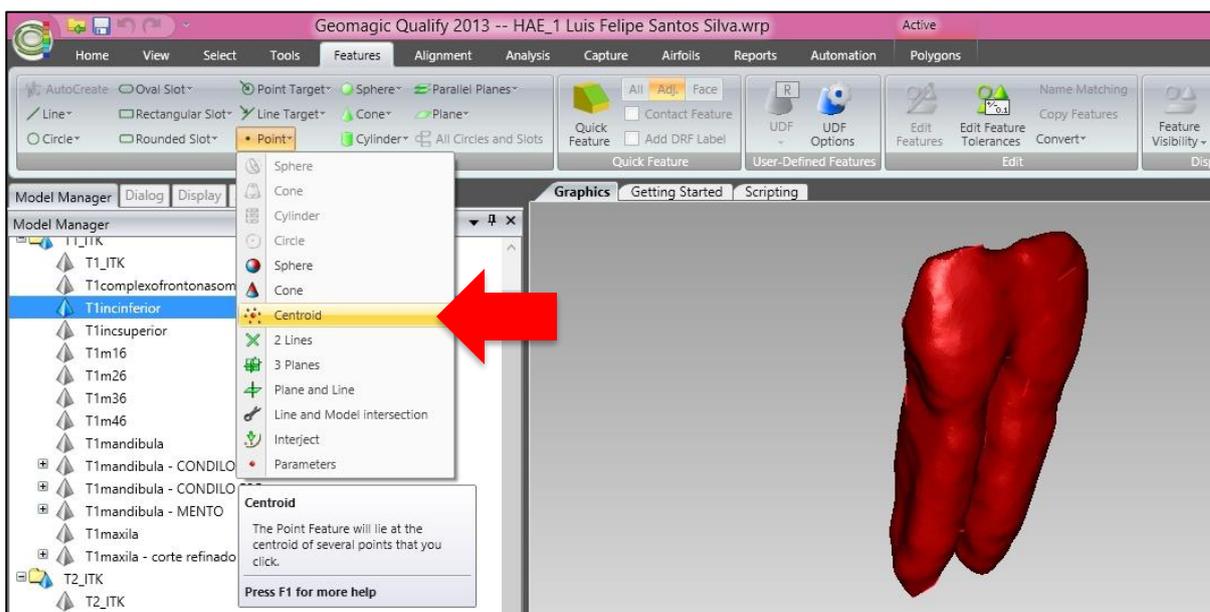
Tradicionalmente, a Ortodontia desenvolveu diversas análises cefalométricas para analisar o crescimento e a influência de diversas modalidades de tratamento das más oclusões. Todavia, as técnicas tradicionais que utilizaram imagens bidimensionais incorporam muitas deficiências, previamente descritas. Por exemplo, na avaliação dos efeitos esqueléticos e dentários dos propulsores mandibulares, é fundamental uma análise detalhada das alterações ocorridas nos côndilos, 1^{os} molares e incisivos superiores e inferiores. Na telerradiografia de perfil, a superposição destas estruturas não permite que o operador identifique com precisão a localização de côndilos, molares e incisivos dos lados esquerdo e direito. Na análise da posição anteroposterior da maxila, a determinação do ponto A incorpora bastante variabilidade, o que destaca outra limitação: a necessidade de marcação de pontos determinados por um examinador. Tornou-se clara a necessidade de uma nova análise 3D em que os pontos que identificam a posição de cada estrutura esquelética e dentária importante para avaliação dos resultados de tratamento sejam determinados de forma automática em programas de computador.

No presente estudo, foi utilizado um ponto geométrico automaticamente determinado pelo Geomagic Qualify, para representar a posição espacial de uma estrutura anatômica de interesse: o centroide. Em geometria, o centroide de um triângulo é o ponto de interseção de suas três medianas. Logo, o ponto centroide de uma estrutura anatômica é o seu centro geométrico; um ponto que possui uma posição espacial média de todos os centroides dos triângulos que compõem o objeto 3D. O programa Geomagic Qualify foi utilizado para determinar os centroides de todos os modelos 3D das estruturas anatômicas avaliadas neste estudo.

Para criar o ponto centroide das estruturas dentárias, a primeira etapa consistiu em homogeneizar o tamanho e o número de triângulos das malhas das superfícies dos objetos 3D de todas as estruturas dentárias. Foi utilizada a ferramenta “*Remesh*” (do menu “*Polygons*”) para regularizar os tamanhos de triângulos dos modelos 3D. A seguir, foram comparados os números de triângulos presentes na malha da mesma estrutura em T1 e T2. A ferramenta “*Decimate*” (do menu “*Polygons*”) foi utilizada para reduzir o número de triângulos do modelo 3D que possuísse maior quantidade. Desta forma, as malhas dos dois modelos 3D (T1 e T2) foram homogeneizadas previamente ao cálculo do centroide.

A seguir, somente um modelo 3D foi selecionado; no menu “*Features*”, foi utilizada a ferramenta “*Point*”, na opção “*Centroid*”, que calcula automaticamente o centro geométrico da estrutura. Esta etapa foi efetuada individualmente para todos os modelos de incisivos centrais e 1^{os} molares, superiores e inferiores, de T1 e T2 (Figuras 30, 31 e 32).

Figura 30 – Reprodução da interface do Geomagic Qualify na seleção da ferramenta utilizada para calcular o ponto centroide das estruturas analisadas.



Legenda: A seta vermelha sinaliza a ferramenta.

Figura 31 – Reprodução da interface do Geomagic Qualify na visualização do centroide criado para os incisivos inferiores.

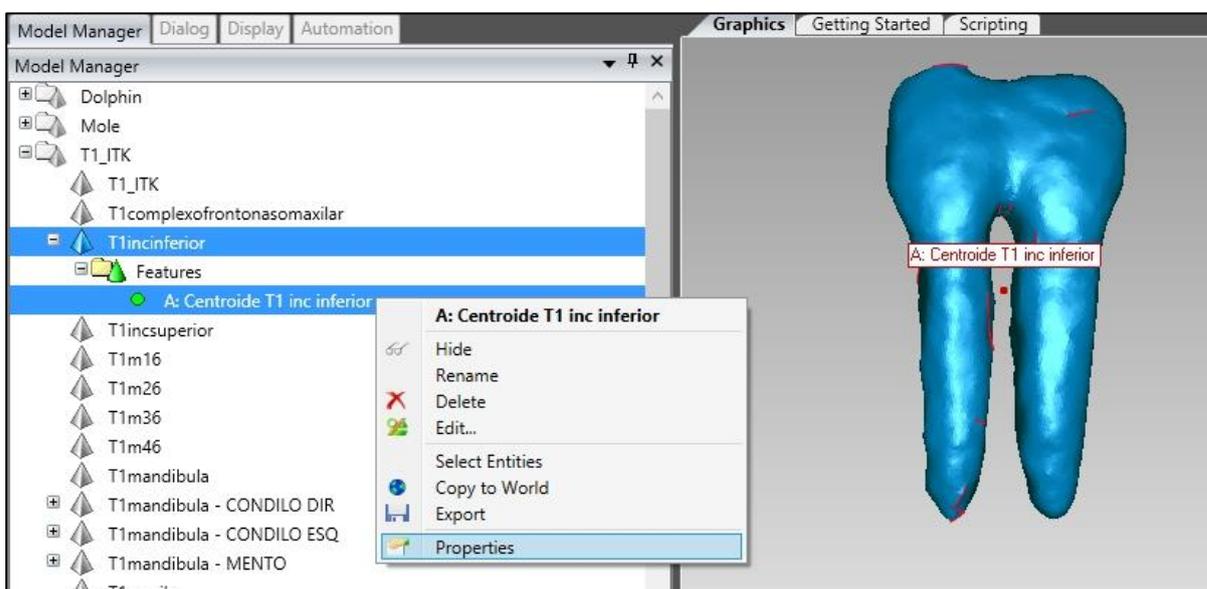
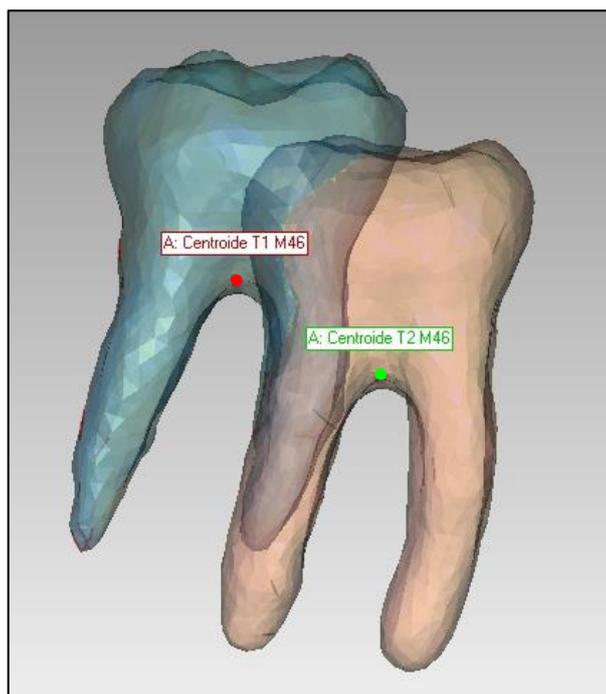


Figura 32 – Visualização dos centroides criados para o 46 em T1 e T2.



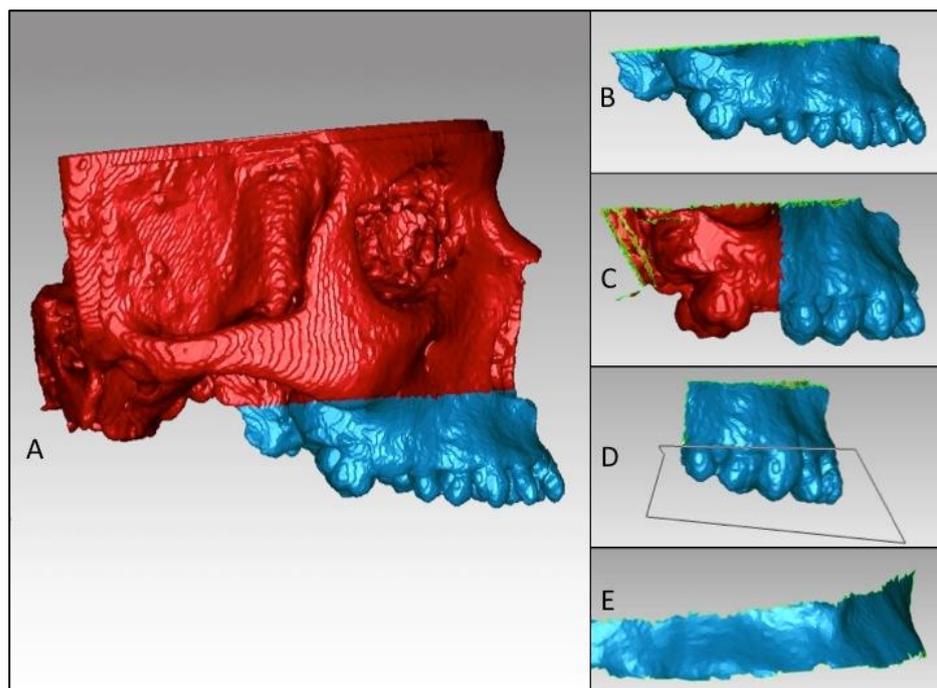
Legenda: O modelo semi-transparente azul corresponde a T1, e o modelo vermelho representa T2. Os pontos vermelho e verde são os centroides de T1 e T2, respectivamente. Esta imagem corresponde ao registro na base do crânio.

3.6.3.4 Recorte e criação automática do ponto centroide da maxila

Durante a segmentação da maxila, foram incluídas regiões anatômicas adjacentes e os incisivos laterais, caninos, pré-molares, 2^{os} e 3^{os} molares. Logo, os modelos 3D de T1 e T2 de maxila continham estas estruturas alheias. Se o ponto centroide fosse calculado neste modelo, o centro geométrico seria influenciado por estas estruturas. Para isolar o cálculo do centroide exclusivamente ao deslocamento da maxila, o modelo 3D desta estrutura foi recortado, e foi mantida somente a cortical externa, entre as mesiais das raízes os elementos 16 e 26.

Para garantir que ambos os modelos T1 e T2 de maxila estivessem recortados igualmente, o modelo de T2 foi previamente registrado no de T1. Foi efetuado o recorte superior da maxila entre a espinha nasal anterior e a espinha nasal posterior. A seguir, foi obtido um registro de melhor adaptação (*best fit*) do modelo de T2 em relação ao de T1, para finalizar o recorte da cortical externa da maxila. Estas etapas garantiram que ambos os modelos possuíssem o mesmo recorte. A sequência do recorte das maxilas pode ser vista na Figura 33. Após o recorte, a maxila de T2 foi reorientada à sua posição original.

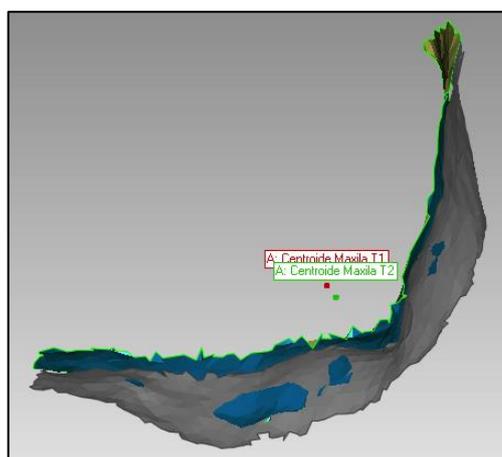
Figura 33 – Sequência de recortes efetuados nos modelos 3D de T1 e T2 da maxila.



Legenda: A) Modelo 3D original da maxila; B) Recorte superior entre ENA e ENP; C) Recorte entre mesiais de 16 e 26; D) Remoção dos dentes; E) Vista oblíqua direita do modelo 3D final recortado da cortical externa da maxila.

Para criar o ponto centroide das maxilas, inicialmente foram homogeneizados o tamanho e o número de triângulos das malhas das superfícies dos modelos 3D de T1 e T2 (igual ao processo efetuado com as estruturas dentárias). A seguir, somente um modelo 3D foi selecionado; no menu “*Features*”, foi utilizada a ferramenta “*Point*”, na opção “*Centroid*”, que calcula automaticamente o centro geométrico da estrutura. Esta etapa foi efetuada individualmente para todos os modelos de maxilas de T1 e T2 (Figura 34).

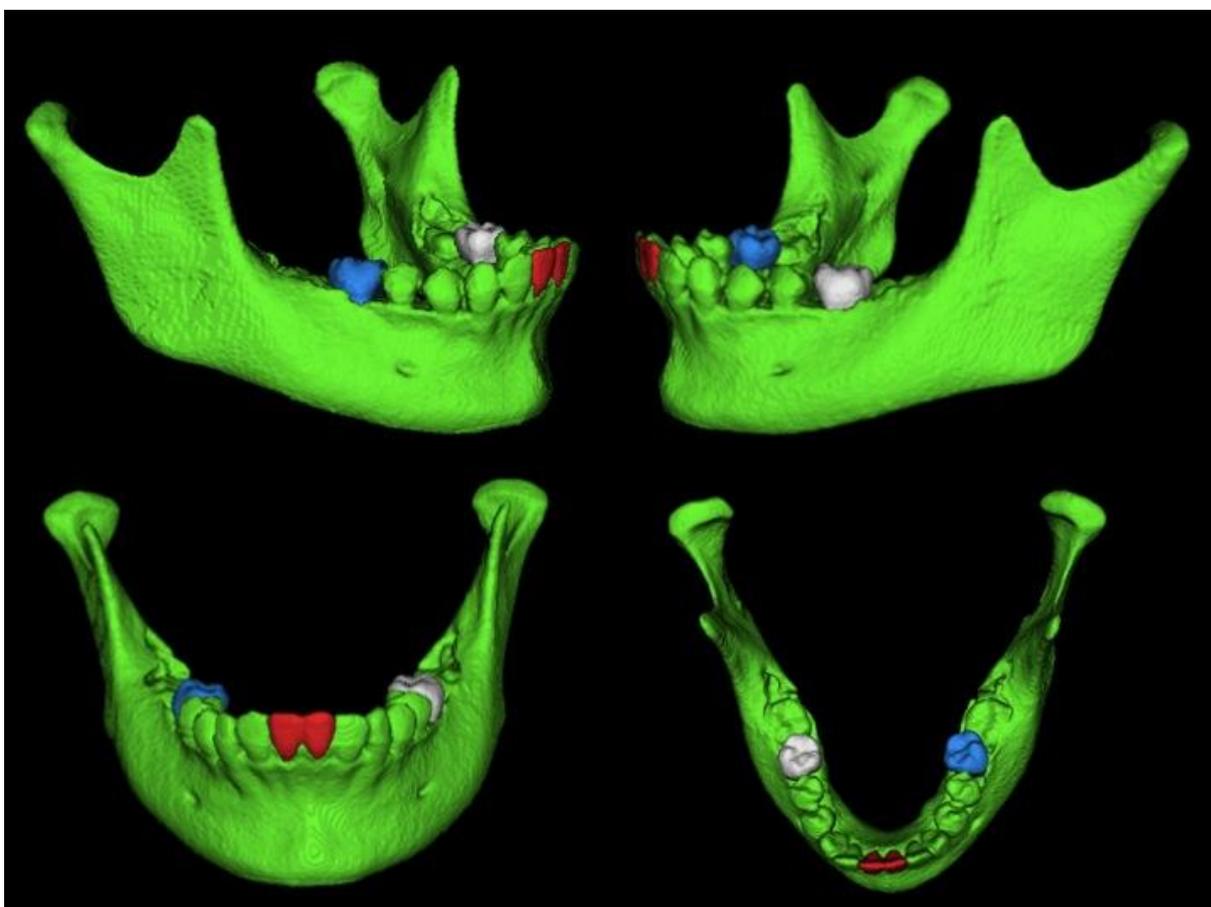
Figura 34 – Corticais externas das maxilas de T1 e T2 com os respectivos centroides.



3.6.3.5 Recorte e criação automática do ponto centroide das regiões mandibulares: mento, côndilo esquerdo e côndilo direito

Os modelos 3D detalhados das mandíbulas de T1 e T2 incluíam todas as regiões mandibulares (Figura 35). Se fosse calculado um único centroide para a mandíbula, não seria possível determinar diferenças entre os deslocamentos de regiões específicas. Neste estudo, foram avaliadas três regiões anatômicas da mandíbula: côndilo direito, côndilo esquerdo e mento.

Figura 35 – Aspecto dos modelos 3D detalhados das mandíbulas.

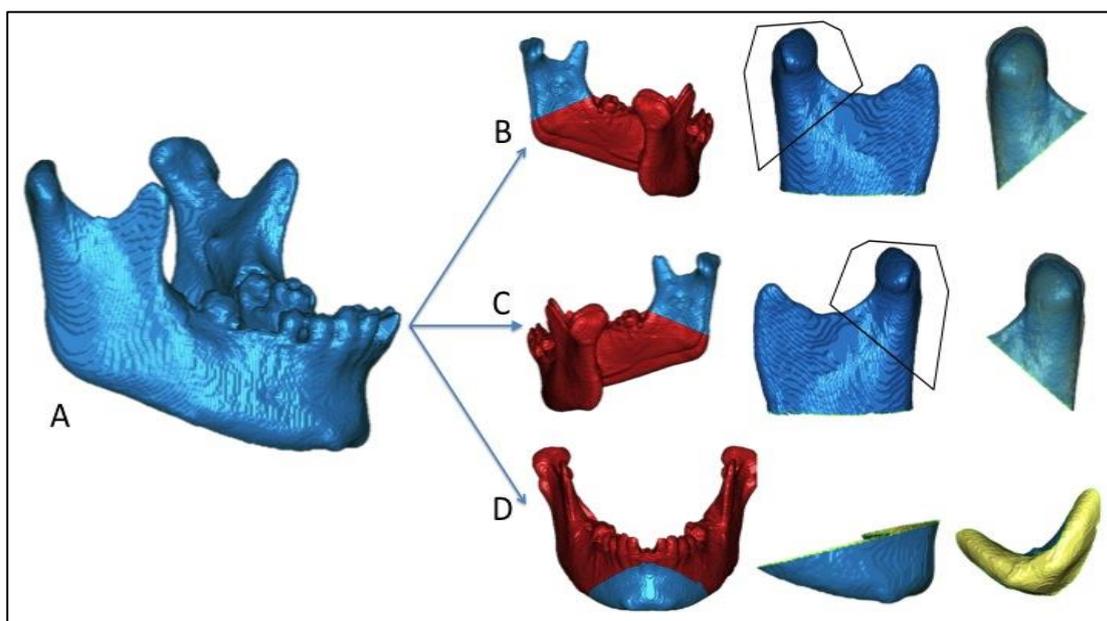


Legenda: Em verde, visualiza-se o modelo da mandíbula. As camadas dos incisivos (vermelho) e 1^{os} molares (branco e azul) foram incluídas para facilitar a compreensão do relacionamento espacial entre as camadas.

Para isolar o cálculo do centroide de cada uma destas regiões, os modelos 3D T1 e T2 das mandíbulas foram duplicados e recortados (Figura 36). A primeira cópia dos modelos manteve somente a região do mento (delimitada superiormente pelo processo alveolar dos

incisivos inferiores e lateralmente pelos forames mentuais esquerdo e direito). A segunda cópia manteve somente a região do côndilo direito (incluiu cabeça, colo e processo condilares e a fôvea pterigoidea; foi delimitada inferiormente pela incisura da mandíbula). A terceira cópia manteve somente a região do côndilo esquerdo (com os mesmos limites do côndilo direito).

Figura 36 – Recortes efetuados na mandíbula: côndilo direito, côndilo direito e mento.

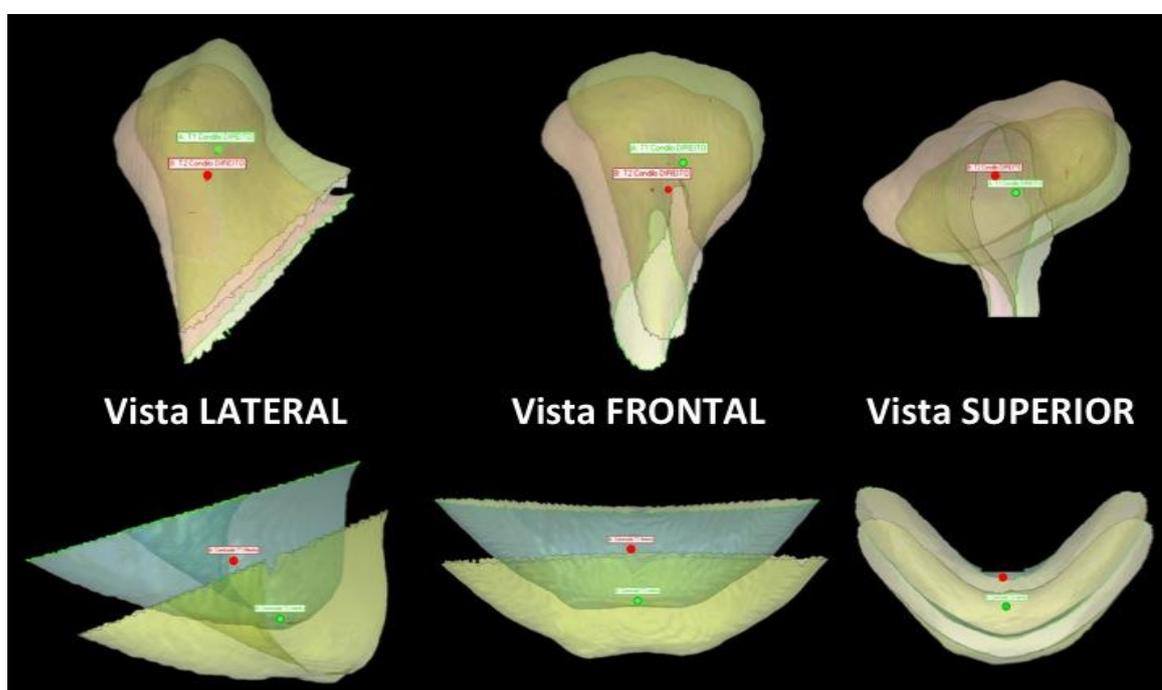


Legenda: A) Modelo mandibular original. B) Sequência de recorte dos modelos superpostos no côndilo esquerdo. C) Sequência de recorte dos modelos superpostos no côndilo direito. D) Sequência de recorte do mento (vistas frontal, sagital e superior).

Para garantir que ambos os modelos T1 e T2 de cada região (côndilo direito, côndilo esquerdo e mento) estivessem recortados igualmente, o modelo de T2 foi previamente registrado no de T1 na região avaliada (pela ferramenta “*Manual registration*”). Foi efetuado um primeiro recorte, com limites mais amplos: nos côndilos, o limite inferior foi a língua da mandíbula; no mento, ligeiramente posterior aos forames mentuais. A seguir, foi obtido um registro de melhor adaptação (*best fit*) do modelo de T2 em relação ao de T1, para finalizar o recorte detalhado das 3 regiões. Estas etapas garantiram que os modelos 3D de T1 e T2 de côndilo direito, de côndilo esquerdo e do mento possuíram o mesmo recorte. O recorte das 3 regiões da mandíbula pode ser visto na Figura 36. Após o recorte, os modelos T2 do côndilo direito, côndilo esquerdo e mento foram reorientados às suas posições originais (com registro na base do crânio anterior de T1, gerado no programa Dolphin).

Para criar o ponto centroide dos cêndilos e do mento, inicialmente foram homogeneizados o tamanho e o número de triângulos das malhas das superfícies dos modelos 3D de T1 e T2 (igual ao processo efetuado com as estruturas dentárias e a maxila). A seguir, somente um modelo 3D foi selecionado; no menu “*Features*”, foi utilizada a ferramenta “*Point*”, na opção “*Centroid*”, que calcula automaticamente o centro geométrico da estrutura. Esta etapa foi efetuada individualmente para todos os modelos dos cêndilos direito e esquerdo e mento de T1 e T2 (Figura 37).

Figura 37 – Modelos T1 e T2 de cêndilo direito e mento com os respectivos centroides.



Legenda: Na parte superior: semi-transparências do cêndilo direito em T1 (verde) e T2 (vermelho).

Na parte inferior: semi-transparências do mento em T1 (azul) e T2 (amarelo).

Os centroides de T1 estão sinalizados em verde e os de T2, em vermelho. Pode-se observar o deslocamento e/ou crescimento das estruturas anatômicas entre T1 e T2 nos sentidos anteroposterior, transverso e vertical.

3.6.3.6 Registro regional de maxila para avaliar movimentação superior estritamente dentária

Até esta etapa, todos os centroides foram calculados a partir de estruturas registradas na base anterior do crânio. Logo, o deslocamento total observado entre os centroides de T1 e T2 dos incisivos e molares superiores foi resultante de alterações esqueléticas (crescimento) e dentárias (retroinclinação de incisivos, distalização de molares) associadas. Para isolar a movimentação exclusivamente dentária ocorrida, foi necessário efetuar um registro entre os

modelos 3D das maxilas de T1 e T2, para remover o deslocamento relacionado ao crescimento.

Inicialmente, os modelos 3D homogeneizados de T2 dos incisivos centrais superiores, 1^{os} molares superiores e das corticais externas da maxila foram duplicados duas vezes. A primeira cópia das 3 estruturas foi combinada em um modelo 3D único de maxila associada aos dentes superiores (pela ferramenta “*Combine*”, do menu “*Polygons*”). Este modelo 3D combinado de T2 foi registrado em relação ao modelo 3D da cortical externa da maxila de T1. Para isso, foi utilizada a ferramenta “*Manual registration*” (do menu “*Alignment*”), na qual, após a marcação inicial de 4 pontos nas corticais das maxilas, o programa buscou automaticamente a melhor adaptação possível da superfície da cortical de T2 em relação à cortical de T1. Ao final, o modelo 3D combinado de T2 passou a ser registrado em T1 (Figura 38).

Figura 38 – Etapas do registro do modelo 3D combinado de maxila e dentes superiores de T2 na cortical da maxila de T1.



Legenda: A) Início, antes de efetuar o registro. B) Durante a marcação de pontos do registro: foram marcados esses dois pontos dos lados esquerdo e direito das corticais. C) Registro de T2 em T1 concluído.

A segunda cópia das estruturas separadas foi utilizada para efetuar o registro individual de incisivos e 1^{os} molares superiores em relação ao modelo 3D combinado de T2

(registrado na cortical da maxila de T1). A figura 39 exemplifica como esta segunda etapa foi executada nos incisivos centrais superiores. O mesmo processo foi efetuado nos modelos 3D dos elementos 16 e 26 de T2.

Figura 39 – Etapas do registro do incisivo superior de T2 no modelo 3D combinado de T2.



Legenda: A) Início, antes de efetuar o registro. B) Durante a marcação de pontos do registro: foram marcados dois pontos na face vestibular do elemento 11 e dois pontos no elemento 21. C) Concluído o registro do incisivo superior T2 no modelo combinado de T2.

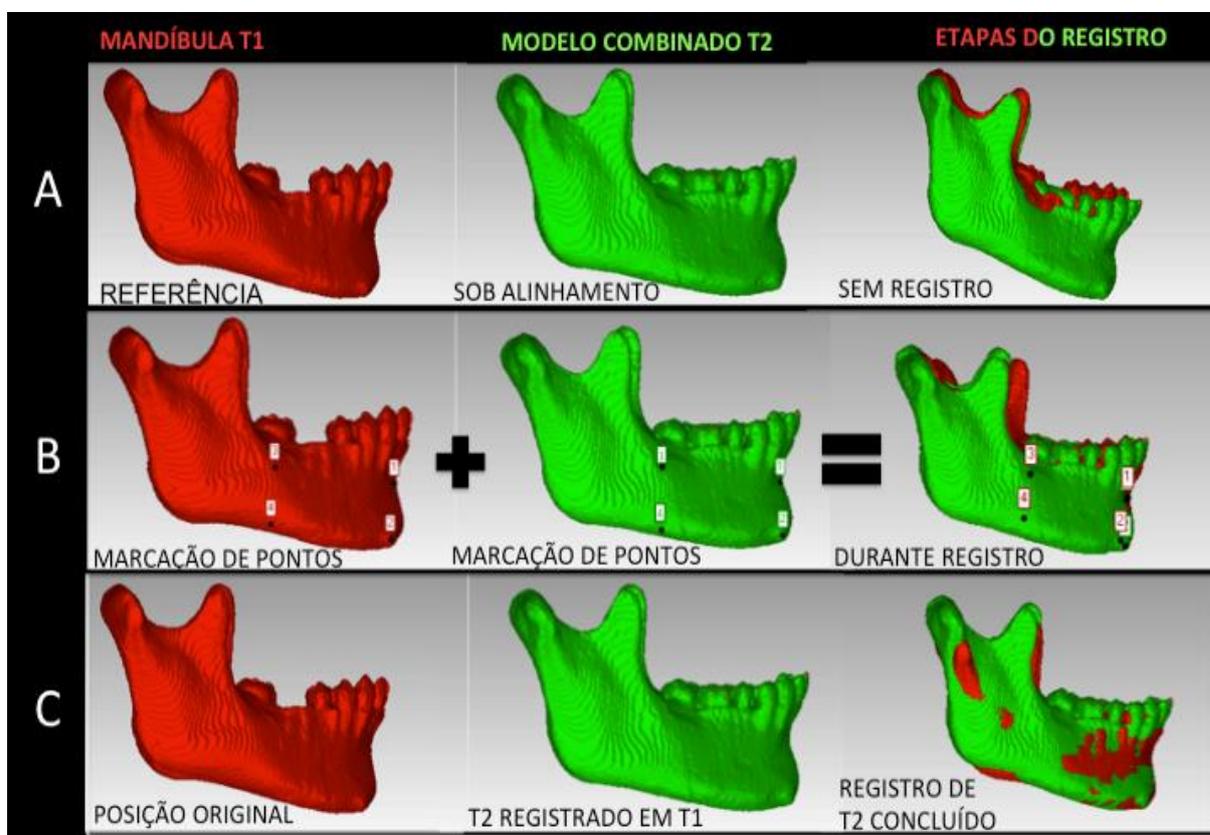
3.6.3.7 Registro regional mandibular para avaliar o crescimento condilar e a movimentação estritamente dentária

Neste estudo, o registro regional mandibular foi utilizado para duas análises: crescimento condilar e movimentação dentária. Até esta etapa, os centroides dos côndilos esquerdo e direito haviam sido calculados a partir do registro na base anterior do crânio. Logo, o deslocamento total observado entre os centroides de T1 e T2 dos côndilos era resultante do crescimento e deslocamento de várias estruturas. Da mesma forma, o deslocamento total observado entre os centroides de T1 e T2 dos incisivos e 1^{os} molares inferiores era resultante de alterações esqueléticas (crescimento mandibular) e dentárias

(projeção de incisivos, mesialização de molares). Para isolar o crescimento condilar e a movimentação exclusivamente dentária ocorrida, foi necessário efetuar um registro regional entre os modelos 3D das mandíbulas de T2 em T1.

Inicialmente, os modelos 3D homogeneizados de T2 dos côndilos, incisivos centrais inferiores, 1^{os} molares inferiores e mandíbula completa foram duplicados. Uma cópia dos modelos 3D de incisivos centrais inferiores, 1^{os} molares inferiores e mandíbula completa foi combinada em um único modelo 3D mandibular com dentes inferiores (pela ferramenta “*Combine*”, do menu “*Polygons*”). Este modelo 3D combinado de T2 foi registrado em relação ao modelo 3D da mandíbula de T1. Para isso, foi utilizada a ferramenta “*Manual registration*” (do menu “*Alignment*”), na qual, após a marcação inicial de 4 pontos na parte inferior do corpo mandibular e na sínfise, o programa buscou automaticamente a melhor adaptação possível da superfície desta região de T2 em relação a T1. Ao final, o modelo 3D combinado de T2 passou a ser registrado em T1 (Figura 40).

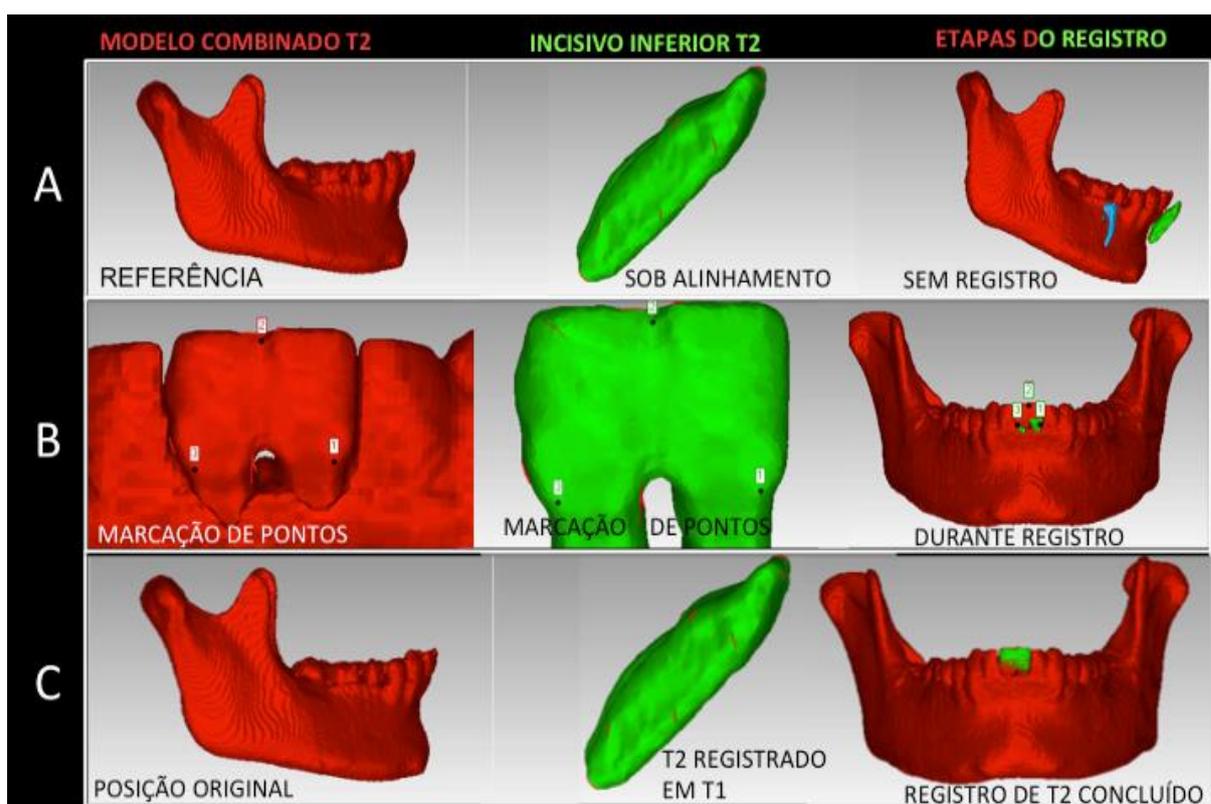
Figura 40 – Etapas do registro regional do modelo 3D combinado de mandíbula com dentes inferiores de T2 na mandíbula de T1.



Na segunda etapa, as cópias de cêndilos, incisivos inferiores e 1^{os} molares inferiores foram registradas individualmente em relação ao modelo 3D combinado de T2. A figura 41 exemplifica como esta segunda etapa foi executada nos incisivos centrais inferiores. O mesmo processo foi efetuado nos modelos 3D de T2 dos cêndilos direito e esquerdo e 1^{os} molares inferiores.

Ao final, todos os modelos estavam registrados em sínfise e corpo mandibular. É importante notar que esta região do corpo mandibular utilizada foi similar ao registro mandibular do estudo de Ruellas et al.¹³³, o qual demonstrou que é a mais confiável para o registro regional mandibular 3D (após comparar Bjork, Bjork, modificado e corpo mandibular).

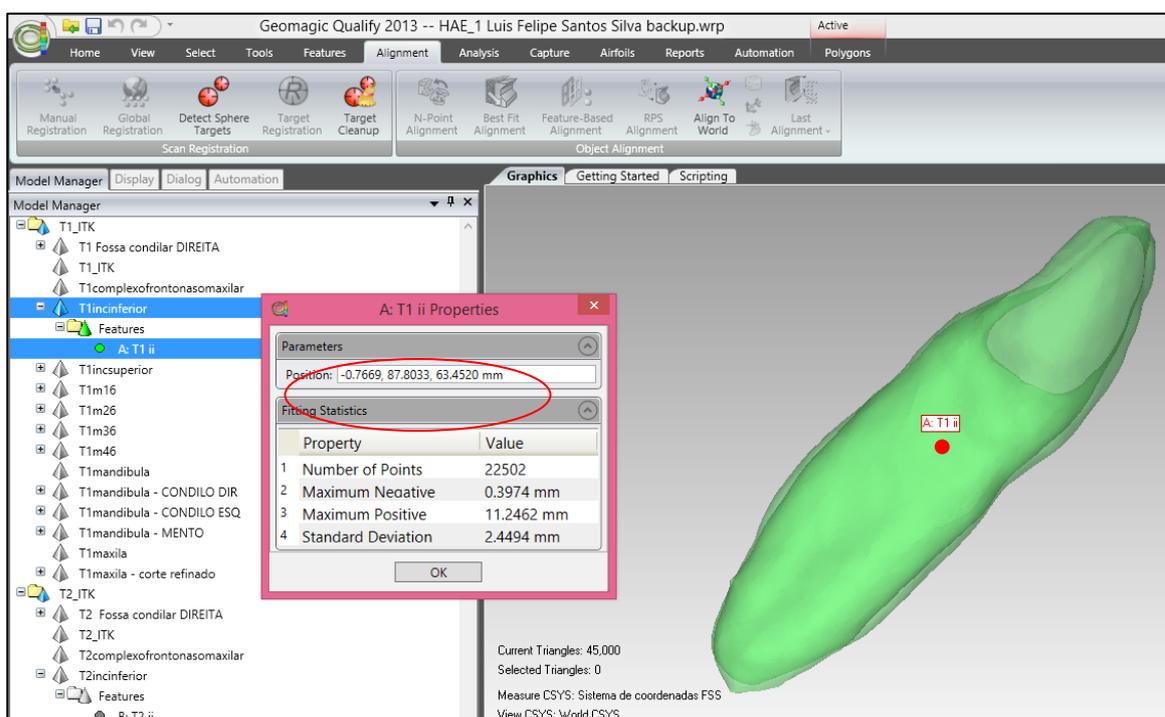
Figura 41 – Etapas do registro do incisivo inferior de T2 no modelo 3D combinado mandibular de T2.



3.6.3.8 Avaliação quantitativa dos deslocamentos dos centroides dos modelos 3D das estruturas esqueléticas e dentárias entre T1 e T2

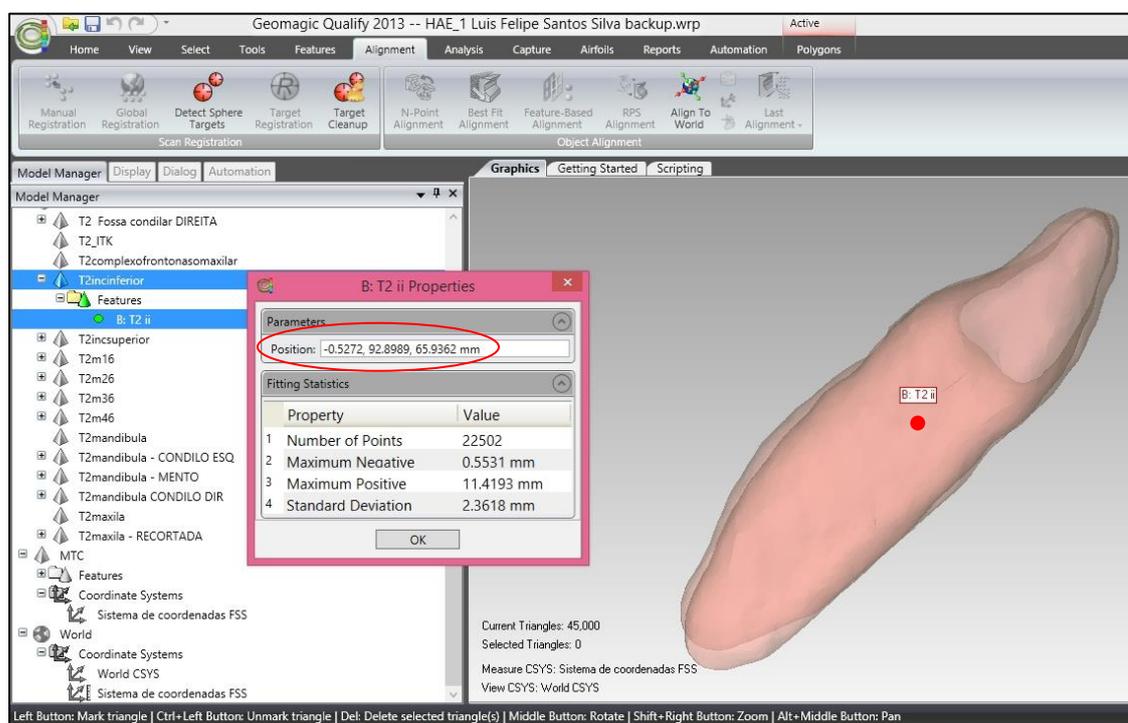
No presente estudo, os deslocamentos das estruturas anatômicas decorrentes do crescimento craniofacial e movimentação dentária foram determinados pela diferença de posição espacial entre os centroides T1 e T2 de cada região. Cada ponto centroe possui uma orientação espacial 3D, com coordenadas X, Y e Z orientadas por um Sistema de Coordenadas individualizado para o paciente (guiado pelo MTC), nas etapas pré e pós tratamento. O centroe forneceu informação sobre o deslocamento da estrutura nos três planos do espaço. No programa Geomagic Qualify, para visualizar os dados quantitativos das coordenadas, foi acionado o comando de visualização das propriedades de cada centroe dos modelos 3D T1 e T2 (na lista “*Model Manager*”, o comando “*Properties*”), como pode-se observar nas Figuras 42 e 43.

Figura 42 – Interface do programa Geomagic Qualify que exibe as coordenadas do ponto centroe do incisivo inferior em T1 nos eixos X, Y e Z.



Legenda: A elipse vermelha sinaliza o campo “*Position*” do comando “*Properties*”.

Figura 43 – Interface do programa Geomagic Qualify que exibe as coordenadas do ponto centroide do incisivo inferior em T2, nos eixos X, Y e Z.



Pela metodologia 3D adotada, foram obtidos os dados de deslocamentos dos centroides entre T1 e T2 de maxila, mento, cndilos mandibulares, incisivos centrais e 1^{os} molares, com registro na base do crânio. Adicionalmente, a superposição regional de maxila gerou os dados de deslocamentos dos centroides entre T1 e T2 dos incisivos e 1^{os} molares superiores, relativos à movimentação exclusivamente dentária. Por fim, a superposição regional de mandíbula forneceu os dados de deslocamentos dos centroides entre T1 e T2 dos incisivos e 1^{os} molares inferiores, relativos à movimentação exclusivamente dentária; e também do crescimento condilar isolado.

Desta forma, foi possível isolar os resultados do crescimento esquelético de maxila e mandíbula e da movimentação dentária de incisivos e 1^{os} molares de forma automatizada. A Figura 42 mostra a relação entre o MTC, o sistema de coordenadas e a posição espacial dos modelos 3D das estruturas anatômicas avaliadas. Além da informação quantitativa das coordenadas dos centroides, as ferramentas de semi-transparência do programa permitiram avaliar as movimentações ocorridas (Figuras 44 a 48). A seqüência detalhada dos comandos utilizados durante as etapas efetuadas no programa Geomagic Qualify[®] foi descrita no Apêndice D.

Figura 44 – Relação espacial entre o MTC, o sistema de coordenadas cartesianas criado e as estruturas anatômicas avaliadas de um paciente da amostra.

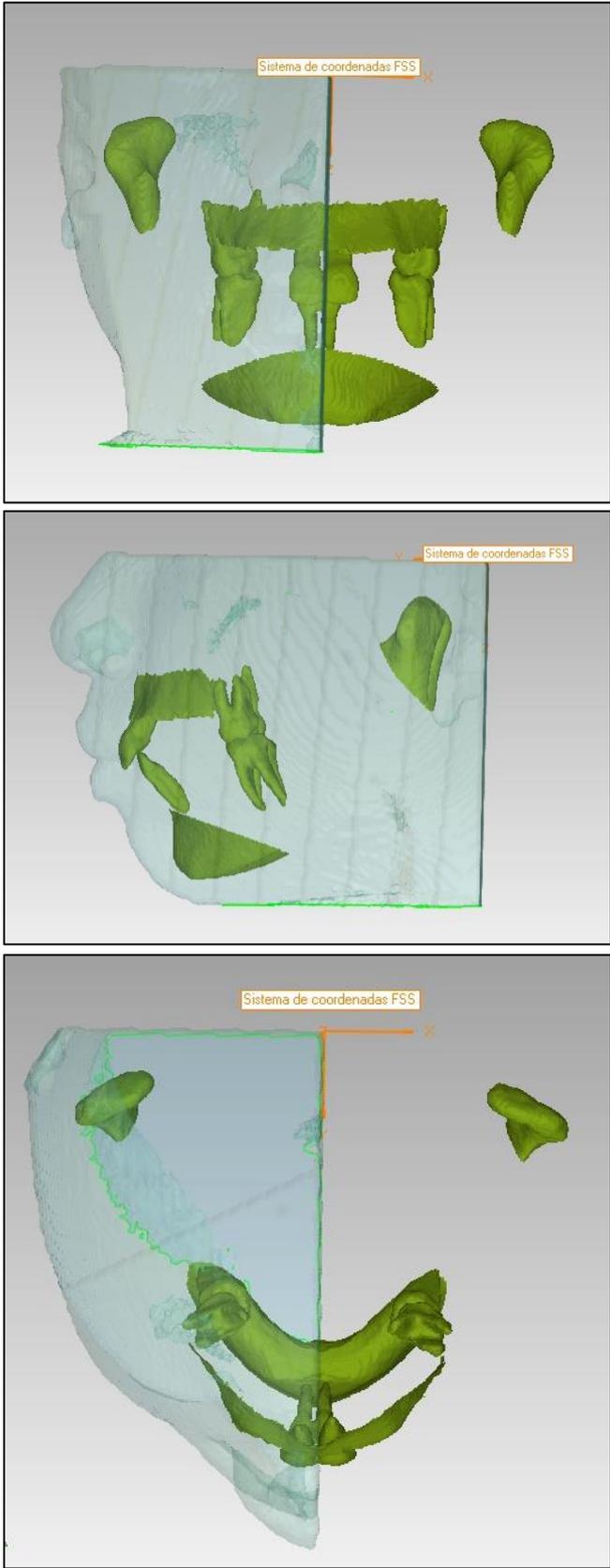
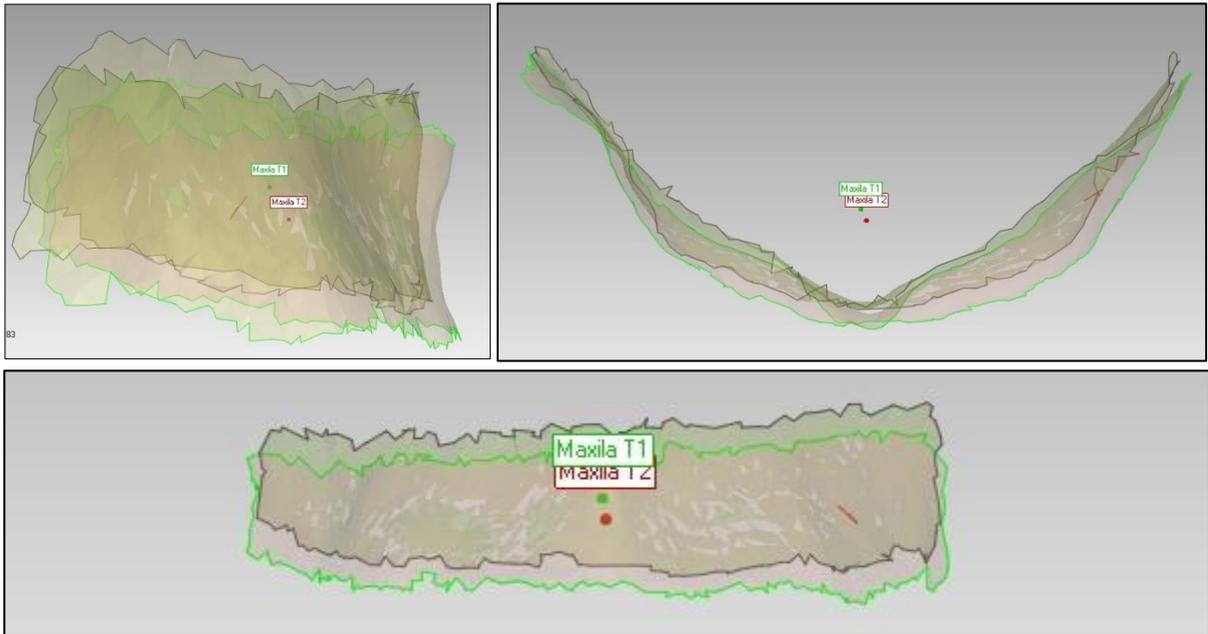
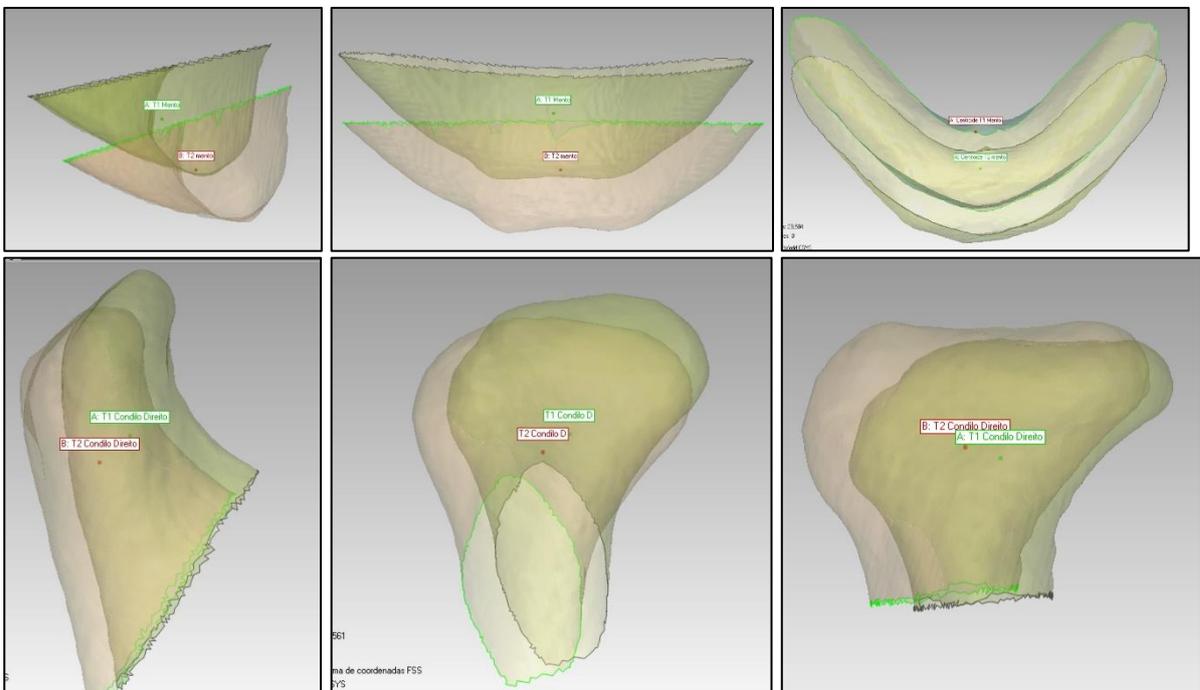


Figura 45 – Semi-transparências da cortical externa da maxila em T1 e T2.



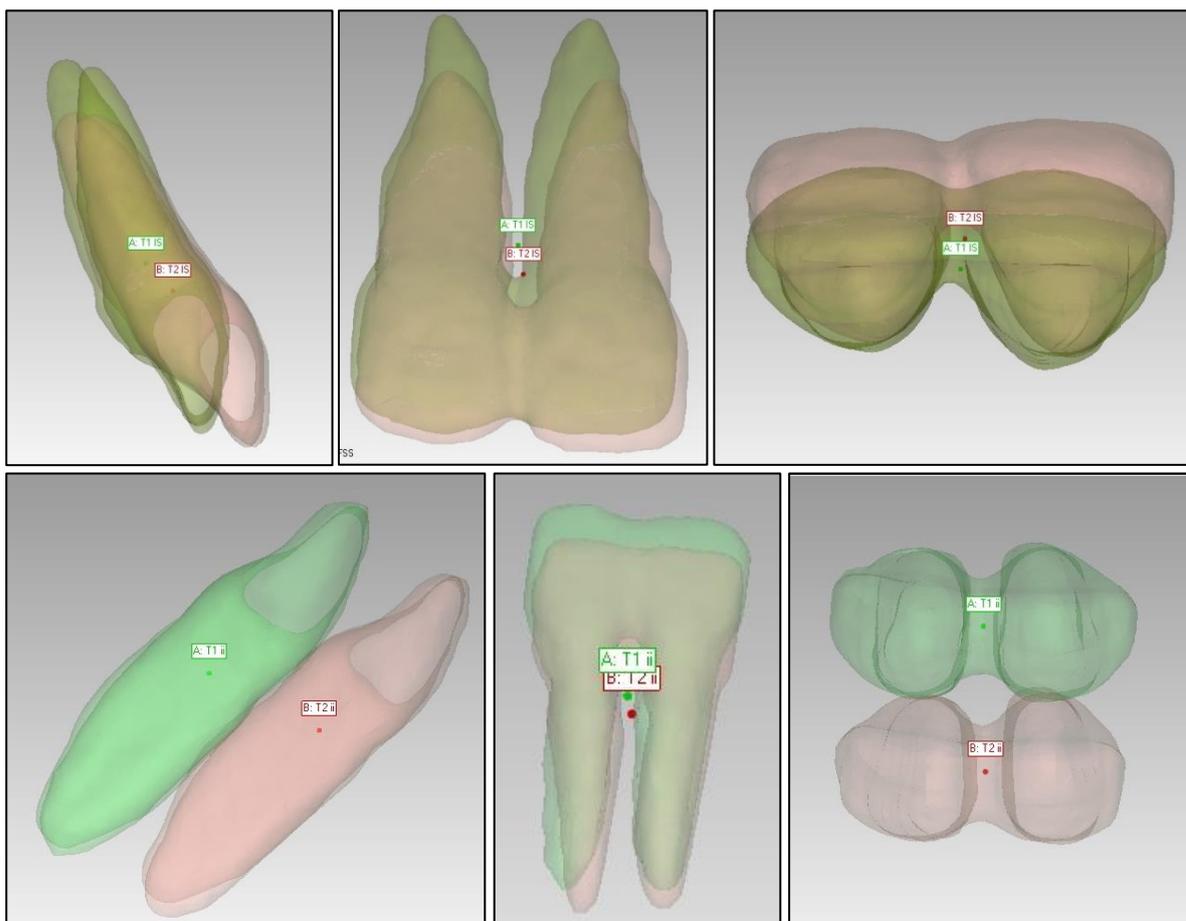
Legenda: Vistas sagital, axial (acima) e coronal (abaixo).

Figura 46 – Semi-transparências do mento e côndilos em T1 e T2.



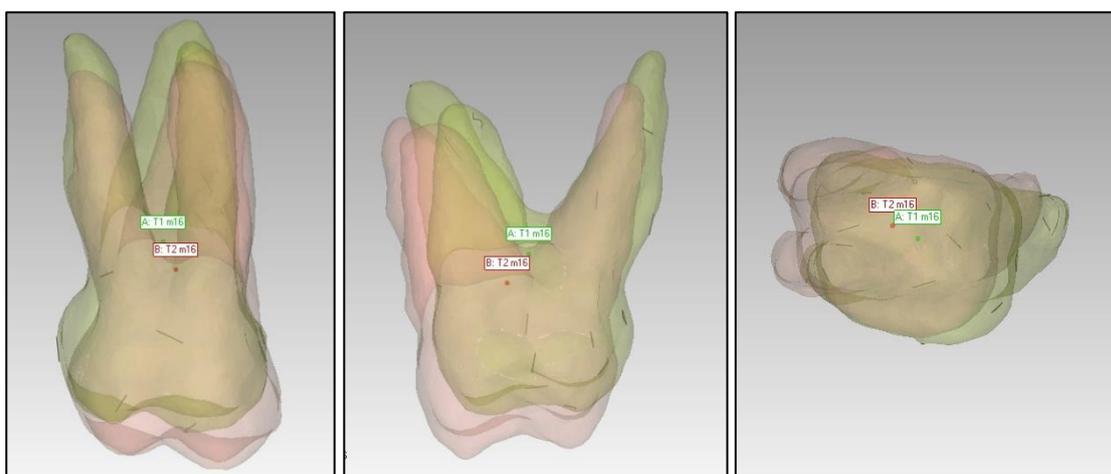
Legenda: Vistas sagital, coronal e axial do mento (acima) e côndilo (abaixo).

Figura 47 – Semi-transparências de incisivos em T1 e T2.



Legenda: Vistas sagital, coronal e axial de incisivos superiores (acima) e inferiores (abaixo). Estas imagens correspondem ao registro na base do crânio. Também foram obtidos centroides e imagens com registro regional maxilar e mandibular, que isolou o movimento dentário da alteração esquelética.

Figura 48 – Semi-transparências e centroides de 1^{os} molares em T1 e T2.

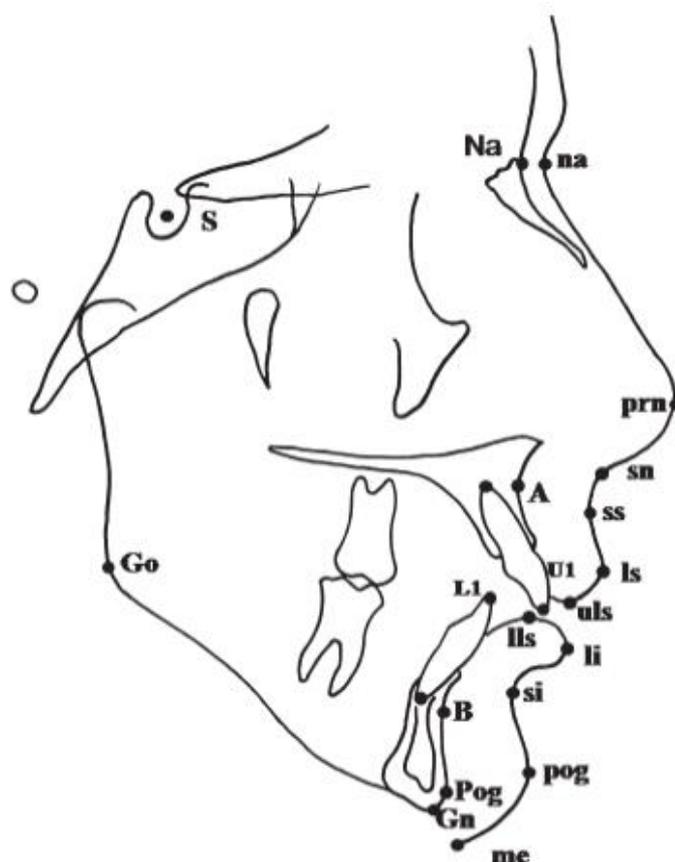


Legenda: Vistas coronal, sagital e axial do modelo do elemento 16. A mesma análise foi efetuada nos elementos 26, 36 e 46. Estas imagens correspondem ao registro na base do crânio. Também foram obtidos centroides e imagens com registro regional maxilar e mandibular, que isolou o movimento dentário da alteração esquelética.

3.7 Análise cefalométrica das tomografias T1

Adicionalmente, foi efetuada a análise cefalométrica (bidimensional) de todos os pacientes em T1, para verificar se havia diferenças entre os três grupos analisados quanto ao padrão esquelético e dentário antes do início do tratamento. Todas as radiografias foram traçadas digitalmente por uma única operadora previamente calibrada, com cegamento para o tipo de tratamento efetuado, através do módulo de cefalometria do programa Dolphin Imaging. A análise cefalométrica utilizada foi a mesma adotada no estudo de Baysal e Uysal⁹³, que comparou os efeitos dos aparelhos Twin Block e Herbst, para permitir comparação entre os dados de ambos os estudos. Esta análise foi originalmente desenvolvida por Illing et al.¹³⁴ para comparar os efeitos dentários, esqueléticos e de perfil mole dos aparelhos funcionais de Bass, Bionator e Twin Block. Os pontos utilizados foram representados na Figura 49. As medidas esqueléticas e dentárias utilizadas foram descritas no Quadro 1.

Figura 49 – Pontos cefalométricos utilizados.



Quadro 2 – Medidas cefalométricas dentárias e esqueléticas utilizadas.

Medidas esqueléticas angulares e lineares

- **Ângulo SNA (SNA):** ângulo interno em direção ao crânio entre a linha NA e o plano sela – násio (SN)
- **Ângulo SNB (SNB):** ângulo interno em direção ao crânio entre a linha NB e o plano SN
- **Ângulo ANB (ANB):** ângulo entre as linhas NA e NB, obtidos pela subtração do SNB do SNA.
- **N – A – Pog (ângulo de convexidade dos tecidos duros):** ângulo interno em direção ao crânio entre as linhas NA e o plano A – pogônio (A – Pog).
- **Ângulo SN – GoGn:** ângulo entre o plano SN e o plano mandibular (Go – Gn).

Medidas dentárias angulares e lineares:

- **Ângulo do incisivo superior ao plano SN (U1 – SN):** ângulo interno mais inferior formado entre a extensão do longo eixo do incisivo superior e o plano SN.
- **Distância do incisivo superior à linha NA (1 – NA ou U1 – NA):** distância entre a extremidade do incisivo superior à linha NA.
- **Ângulo do incisivo superior à linha NA (1.NA ou U1 – NA):** ângulo formado pelo longo eixo do incisivo superior à linha NA.
- **Distância do incisivo inferior à linha NB (1 – NB ou L1 – NB):** distância entre a extremidade do incisivo inferior e a linha NB.

Fonte: O autor, 2019.

3.8 Calibração

Uma única operadora previamente calibrada efetuou todas as etapas da metodologia de análise 3D: construção dos modelos 3D, orientação da cabeça, obtenção do MTC, registros, recorte e homogeneização das malhas e cálculo dos centroides das estruturas anatômicas analisadas. A operadora possuía experiência prévia de 9 anos de uso do programa ITK-SNAP para a construção de modelos 3D. A calibração foi realizada aplicando-se todas as etapas metodológicas 3D às tomografias T1 e T2 de cinco pacientes da amostra. Após 15 dias, o processo foi repetido. Foram comparadas as diferenças de posições dos centroides entre T1 e T2 nas coordenadas X, Y e Z de todas as estruturas analisadas, com registro total e regional,

nos dois tempos. Foi calculado o índice de correlação intraclasse entre a primeira e segunda medições para avaliar o erro do método, obtendo-se um índice excelente para todas as medidas avaliadas ($ICC \geq 0,98$).

Uma única examinadora previamente calibrada efetuou os traçados cefalométricos de T1. A calibração foi efetuada através do traçado de 10 tomografias diferentes da amostra analisada. Este procedimento foi repetido após 2 semanas. Foi calculado o índice de correlação intraclasse entre a primeira e segunda medições para avaliar o erro do método. Somente quando foi obtida reprodutibilidade adequada ($ICC \geq 0,90$), a examinadora iniciou os traçados dos pacientes da amostra.

3.9 Variáveis do estudo

Nos Quadros 3 e 4, foram relacionadas as variáveis utilizadas no presente estudo para avaliar os resultados do tratamento com os propulsores mandibulares utilizados.

O Quadro 5 relacionou os tipos de registro efetuado (total e regional) com as variáveis dependentes analisadas.

Quadro 3 – Descrição, tipo e categoria das variáveis dependentes utilizadas no estudo (continua).

	Variáveis dependentes	Descrição	Tipo	Categoria
1	Crescimento do cêndilo mandibular direito	Distância em milímetros entre as coordenadas x, y e z dos centroides dos modelos 3D do cêndilo direito em T1 e T2	Quantitativa Contínua	Medida em milímetros
2	Crescimento do cêndilo mandibular esquerdo	Distância em milímetros entre as coordenadas x, y e z dos centroides dos modelos 3D do cêndilo esquerdo em T1 e T2		
3	Deslocamento do mento	Distância em milímetros entre as coordenadas x, y e z dos centroides dos modelos 3D do mento em T1 e T2		
4	Crescimento Maxilar	Distância em milímetros entre as coordenadas x, y e z dos centroides dos modelos 3D da maxila em T1 e T2		
5	Alteração de posição de incisivos centrais superiores	Distância em milímetros entre as coordenadas x, y e z dos centroides dos modelos 3D de incisivos superiores em T1 e T2		

Quadro 3 – Descrição, tipo e categoria das variáveis dependentes utilizadas no estudo (conclusão).

	Variáveis dependentes	Descrição	Tipo	Categoria
6	Alteração de posição de incisivos centrais inferiores	Distância em milímetros entre as coordenadas x, y e z dos centroides dos modelos 3D de incisivos inferiores em T1 e T2	Quantitativa Contínua	Medida em milímetros
7	Alteração de posição do elemento 16	Distância em milímetros entre as coordenadas x, y e z dos centroides dos modelos 3D de elemento 16 em T1 e T2		
8	Alteração de posição do elemento 26	Distância em milímetros entre as coordenadas x, y e z dos centroides dos modelos 3D do elemento 26 em T1 e T2		
9	Alteração de posição do elemento 36	Distância em milímetros entre as coordenadas x, y e z dos centroides dos modelos 3D do elemento 36 em T1 e T2		
10	Alteração de posição do elemento 46	Distância em milímetros entre as coordenadas x, y e z dos centroides dos modelos 3D do elemento 46 em T1 e T2		
11	Relação Molar inicial do lado esquerdo	Classificação de Angle da relação anteroposterior entre os 1os molares superiores e inferiores do lado esquerdo em T1	Categórica nominal	Classe I
				Classe II
				Classe III
12	Relação Molar inicial do lado direito	Classificação de Angle da relação anteroposterior entre os 1os molares superiores e inferiores do lado direito em T1	Categórica nominal	Classe I
				Classe II
				Classe III
13	Relação Molar final do lado esquerdo	Classificação de Angle da relação anteroposterior entre os 1os molares superiores e inferiores do lado esquerdo em T2	Categórica nominal	Classe I
				Classe II
				Classe III
14	Relação Molar final do lado direito	Classificação de Angle da relação anteroposterior entre os 1os molares superiores e inferiores do lado direito em T2	Categórica nominal	Classe I
				Classe II
				Classe III
15	Sobressaliência inicial	Máxima distância horizontal entre a borda incisal do incisivo central superior e a borda incisal do incisivo inferior antes do tratamento	Quantitativa Contínua	Medida em milímetros
16	Sobressaliência final	Máxima distância horizontal entre a borda incisal do incisivo central superior e a borda incisal do incisivo inferior antes do tratamento	Quantitativa Contínua	Medida em milímetros

Fonte: O autor, 2019.

Quadro 4 – Descrição, tipo e categoria das variáveis independentes utilizadas no estudo.

Variáveis Independentes	Descrição	Tipo	Categoria
Tipo de tratamento executado	Modalidade de tratamento efetuada no paciente durante o período avaliado (tipo de propulsor mandibular)	Categórica nominal	Aparelho Twin Block
			Aparelho Herbst fixo com ancoragem dentária
			Aparelho Herbst fixo com ancoragem esquelética
Idade	Tempo de vida nos momentos dos exames pré e pós-tratamento (T1 e T2)	Quantitativa Discreta	Medida em anos (10 a 14)
Gênero	Distinção entre homem e mulher	Categórica nominal	Feminino
			Masculino

Fonte: O autor, 2019.

Quadro 5 – Descrição do tipo de registro tomográfico efetuado para a avaliação das variáveis independentes utilizadas no estudo.

TIPO DE REGISTRO	VARIÁVEIS INDEPENDENTES
Base do crânio	Crescimento da maxila
	Deslocamento do mento da mandíbula
Registro regional mandibular	Crescimento do côndilo mandibular direito
	Crescimento do côndilo mandibular esquerdo
Base do crânio e registro regional mandibular	Alteração de posição de incisivos centrais inferiores
	Alteração de posição do elemento 36
	Alteração de posição do elemento 46
Base do crânio e registro regional da maxila	Alteração de posição de incisivos centrais superiores
	Alteração de posição do elemento 16
	Alteração de posição do elemento 26

Fonte: O autor, 2019.

3.10 Análise estatística

Para efetuar o cálculo amostral, foi utilizado o programa de código aberto Hedwig, desenvolvido pela Universidade de Harvard e disponível no endereço eletrônico http://hedwig.mgh.harvard.edu/sample_size/js/js_parallel_quant.html. Para a análise estatística dos dados das medidas de desfecho primário e secundário e elaboração de gráficos, foi utilizado o programa *Statistical Product and Service Solutions* (SPSS, versão 12.0, Armonk, NY: IBM Corp).

Em função do pequeno tamanho da amostra ($n < 30$), optou-se por utilizar testes estatísticos não-paramétricos¹³⁵. Na estatística descritiva, foram analisadas medidas de tendência central das variáveis analisadas, como a idade cronológica dos pacientes e dos deslocamentos dos centroides das estruturas esqueléticas e dentárias entre T1 e T2 dos grupos tratados com Twin Block, Herbst com ancoragem dentária e Herbst com ancoragem esquelética. O número de pacientes de cada gênero nos grupos também foi registrado.

Para a análise intra-grupo dos resultados, foi utilizado o teste não-paramétrico de Wilcoxon (*signed rank test*) para avaliar as diferenças entre os resultados obtidos entre T1 e T2 para cada grupo de tratamento.

Para a análise intergrupos, foi utilizado o teste não-paramétrico de Kruskal Wallis comparando os deltas (diferenças de posição entre T1 e T2) dos deslocamentos dos centroides dos 3 grupos, para avaliar qual foi o tratamento com maior eficácia. Quando observada diferença entre os grupos, foi utilizada a comparação de pares.

A análise da correção da sobressaliência e da correção molar (registrada pela classificação de Angle) entre T1 e T2 indicou se foi obtido sucesso ou não no tratamento, (configurada pela mudança de Classe II para Classe I ou III). Foram quantificados os totais de pacientes que obtiveram correção e sobrecorreção da má oclusão.

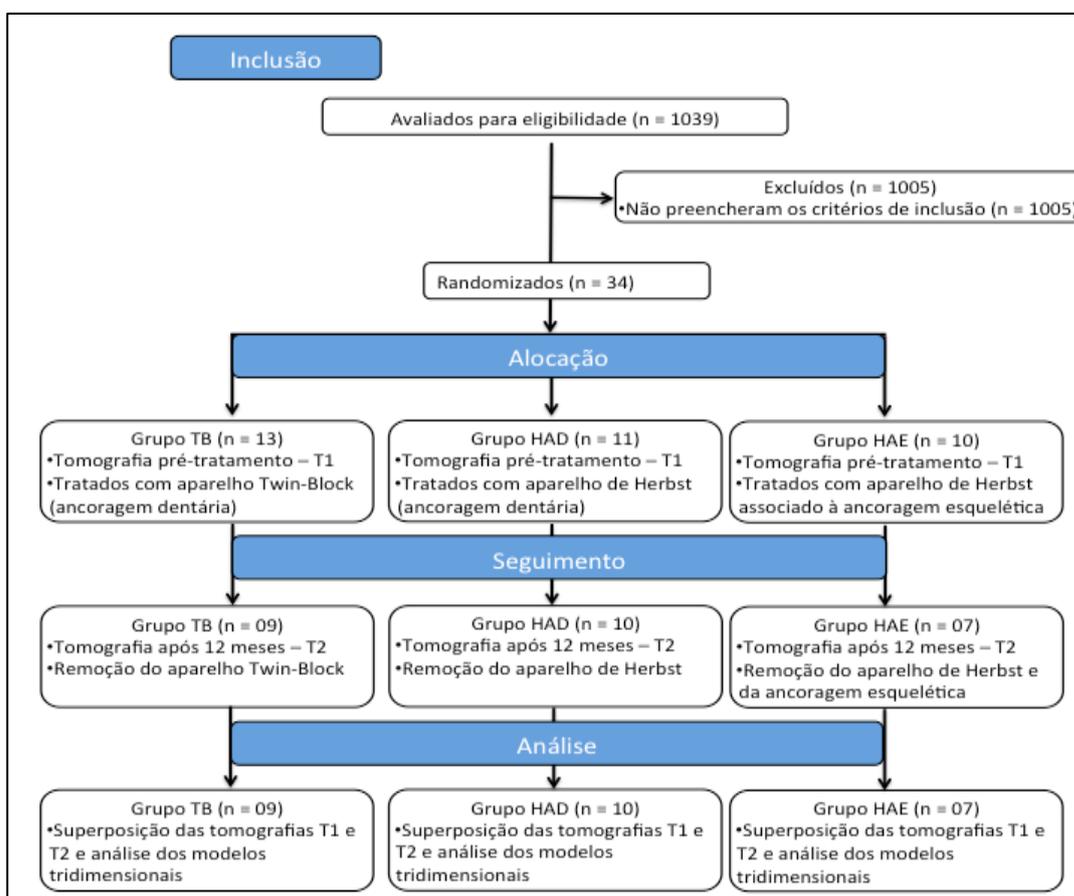
Foi utilizado o teste de Mann-Whitney para avaliar todos os resultados dos deslocamentos dos centroides dos pacientes relacionados aos casos de sucesso e insucesso, para detectar quais as características foram relacionadas ao sucesso. O nível de significância para todos os testes foi estabelecido em $p \leq 0,05$.

4 RESULTADOS

4.1 Pacientes que concluíram e não concluíram o tratamento

O fluxograma da Figura 50 segue o modelo do CONSORT STATEMENT e demonstra os números totais de indivíduos envolvidos nas diferentes etapas do estudo. Foram incluídos 34 indivíduos, os quais foram distribuídos de forma randomizada nos três grupos de tratamento. Ao longo do tempo de acompanhamento, ocorreram desistências de quatro pacientes do grupo TB (não colaboraram com o uso do aparelho e deixaram de comparecer às consultas), um paciente do grupo HAD (logo após a instalação do aparelho de Herbst, solicitou a remoção devido ao desconforto e desistiu do tratamento) e três pacientes do grupo HAE (desistiram do tratamento por recusarem a instalação dos mini-implantes). Ao final, 26 pacientes concluíram os 12 meses de tratamento com propulsores mandibulares: nove com aparelho Twin Block, dez com aparelho de Herbst com ancoragem dentária e sete com aparelho de Herbst associado a mini-implantes.

Figura 50 – Fluxograma do estudo (modelo do CONSORT STATEMENT).



4.2 Cálculo amostral

O cálculo amostral realizado previamente à coleta de dados (descrito no item 3.3) determinou que seriam necessários 19 indivíduos para cada grupo, para que os valores médios encontrados tivessem 95% de probabilidade de erro relativo máximo inferior a 20%. Todavia, os grupos TB, HAD e HAE avaliados neste estudo foram constituídos por um número amostral (n) menor do que o estimado pelo cálculo amostral, pois foram analisados apenas os dados dos pacientes tratados até dezembro de 2018. A coleta de dados desta linha de pesquisa continuará em andamento na Clínica de Ortodontia da Faculdade de Odontologia da Universidade do Estado do Rio Janeiro até atingir o tamanho amostral calculado.

Também é importante destacar que na época do cálculo amostral não foram localizadas publicações que utilizassem a metodologia 3D para comparar pacientes portadores de má oclusão Classe II de Angle tratados com os propulsores mandibulares Twin Block, Herbst e Herbst associado à ancoragem esquelética. Por esta razão, para o cálculo amostral foram utilizados dados de medidas cefalométricas (2D) disponíveis na ocasião.

4.3 Equivalência dos grupos TB, HAD e HAE antes do tratamento (T1): comparação das características etárias, de gênero, esqueléticas e dentárias

A distribuição de gênero e os valores de mediana e variância da idade dos pacientes dos três grupos que completaram os 12 meses de tratamento com propulsores mandibulares foram incluídos na Tabela 1. A mediana da idade da amostra total foi de 12,12 ($\pm 0,83$) anos, e não foi detectada diferença significativa ($p = 0,831$) nesta característica entre os grupos TB, HAD e HAE pelo teste não-paramétrico de amostras independentes de Kruskal-Wallis.

Houve uma pequena predominância de pacientes do gênero masculino no número total de pacientes da amostra: 57,7%. O mesmo ocorreu nos grupos TB (66,67%) e HAD (60%). Também não foi detectada diferença significativa na distribuição do gênero entre os três grupos ($p = 0,633$).

Tabela 1 – Idade cronológica e distribuição de gênero dos grupos avaliados.

	TOTAL	Grupo TB	Grupo HAD	Grupo HAE	p-valor*
IDADE	12,12 ±				
Mediana ± Variância	0,83	12,08 ± 0,83	12,08 ± 1,16	12,17 ± 1,78	0,831
GÊNERO					
Feminino, n (%)	11 (42,31)	3 (33,33)	4 (40,00)	4 (57,14)	0,633
Masculino, n (%)	15 (57,7)	6 (66,67)	6 (60,00)	3 (42,86)	
TOTAL	26 (100)	9 (100)	10 (100)	7 (100)	

Legenda: * Calculado pelo teste não-paramétrico de amostras independentes Kruskal-Wallis.

Para comparar as características esqueléticas e dentárias dos pacientes dos três grupos prévias ao tratamento, foram efetuadas análises cefalométricas das tomografias T1. Os valores de mediana e variância das medidas cefalométricas iniciais foram relacionados na Tabela 3. Os dados obtidos foram comparados pelo teste de Kruskal-Wallis, que não detectou diferenças estatisticamente significantes entre os três grupos da amostra em T1 (Tabela 2).

Tabela 2 – Comparação dos dados cefalométricos esqueléticos e dentários dos grupos em T1.

MEDIDAS	TB		HAD		HAE		P-valor*
	Mediana	Variância	Mediana	Variância	Mediana	Variância	
SNA	86,40	13,29	82,30	14,79	83,55	11,04	0,654
SNB	86,40	3,74	78,90	4,34	78,30	4,04	0,878
ANB	7,35	5,97	5,80	7,45	5,20	4,70	0,644
Na-A-Pog	14,25	6,97	9,90	4,68	10,55	4,40	0,687
SN.GoGn	33,95	6,86	34,70	9,13	33,15	8,52	0,790
U1-NA°	23,80	6,64	25,70	4,84	29,70	4,80	0,812
U1-NA(mm)	5,50	2,87	6,80	2,10	6,60	2,79	0,998
L1-NB°	31,40	10,90	31,10	12,78	25,95	7,95	0,108
L1-NB(mm)	9,40	2,17	7,60	2,00	5,85	2,74	0,134

Legenda: * Calculado pelo teste não-paramétrico de amostras independentes Kruskal-Wallis.

4.4 Análise intra-grupo das diferenças dos resultados de T1 para T2

Foi utilizado o teste não-paramétrico de Wilcoxon (*signed rank test*) para avaliar as diferenças no posicionamento dos centroides de todas as estruturas anatômicas avaliadas entre T1 e T2, nas direções transversal (X), anteroposterior (Y) e vertical (Z), para cada grupo.

4.4.1 Avaliação da diferença do posicionamento dos centroides em T1 e T2 no Grupo TB

Os resultados do teste de Wilcoxon na avaliação das diferenças entre as medianas das coordenadas X, Y e Z de T1 e T2 dos centroides das estruturas esqueléticas no grupo TB foram incluídos na Tabela 3.

Tabela 3 – Análise da diferença do posicionamento do centroide das estruturas esqueléticas entre T1 e T2 no Grupo TB.

		Tempo	Mediana ± Variância	Z	P-valor*
Maxila (registro na base do crânio)	X	T1	-1,07 ± 3,96	-0,771	0,441
		T2	-0,67 ± 1,25		
		T2-T1	0,09 ± 1,30		
	Y	T1	90,61 ± 4,62	-0,356	0,722
		T2	89,85 ± 26,73		
		T2-T1	-0,25 ± 0,66		
	Z	T1	38,25 ± 3,1	-2,310	0,021**
		T2	43,19 ± 11,74		
		T2-T1	1,51 ± 3,47		
Mento (registro na base do crânio)	X	T1	-1,46 ± 2,56	-0,700	0,484
		T2	-0,94 ± 2,36		
		T2-T1	-0,01 ± 0,36		
	Y	T1	78,51 ± 36,72	-1,599	0,110
		T2	79,86 ± 42,78		
		T2-T1	1,24 ± 3,36		
	Z	T1	85,64 ± 32,96	-2,547	0,011**
		T2	90,78 ± 29,89		
		T2-T1	3,77 ± 3,93		
Côndilo direito (registro regional mandibular)	X	T1	-46,37 ± 6,83	-1,955	0,051
		T2	-47,04 ± 8,17		
		T2-T1	0,56 ± 0,26		
	Y	T1	19,67 ± 10,57	-1,955	0,051
		T2	17,99 ± 9,32		
		T2-T1	-1,25 ± 1,28		
	Z	T1	24,06 ± 1,79	-2,429	0,015**
		T2	19,87 ± 5,15		
		T2-T1	-3,88 ± 4,60		
Côndilo esquerdo (registro regional mandibular)	X	T1	45,29 ± 9,76	-1,955	0,051
		T2	46,11 ± 9,87		
		T2-T1	0,51 ± 0,17		
	Y	T1	19,74 ± 7,80	-2,310	0,021**
		T2	18,50 ± 6,62		
		T2-T1	-1,22 ± 0,76		
	Z	T1	25,87 ± 2,58	-2,310	0,021**
		T2	21,07 ± 6,53		
		T2-T1	-3,62 ± 4,84		

Legenda: *= teste de Wilcoxon (*signed rank test*) .**=Estatisticamente significante.

Os valores do teste de Wilcoxon para o eixo Z da maxila, do mento e dos condilos demonstraram que houve uma diferenca significativa no crescimento vertical dos pacientes tratados com o aparelho Twin Block ($p < 0,05$). Na maxila, foi observada uma pequena restricao do crescimento anteroposterior ($-0,25 \pm 0,66$ mm; $p > 0,05$) e um crescimento vertical inferior significativa ($1,51 \pm 3,47$ mm; $p < 0,05$). No mento, ocorreu pequeno deslocamento para anterior ($1,24 \pm 3,36$ mm; $p > 0,05$) e um crescimento vertical inferior significativa ($3,77 \pm 8,93$ mm; $p < 0,05$).

Nos condilos esquerdo e direito, o crescimento vertical, anteroposterior e transversos foram simtricos. Somente o componente vertical foi significativa em ambos os condilos (direito: $3,88 \pm 4,60$ mm; esquerdo: $3,62 \pm 4,84$; $p < 0,05$). Estes apresentaram mnimo crescimento transversos, que no foi significativa (direito: $0,56 \pm 0,26$ mm; esquerdo: $0,51 \pm 0,17$ mm; $p > 0,05$). No componente anteroposterior, o crescimento foi significativa somente no condilo esquerdo ($1,22 \pm 0,76$ mm; $p < 0,05$) e no no direito ($1,25 \pm 1,28$ mm; $p > 0,05$).

Os resultados do teste de Wilcoxon (*signed rank test*) na avaliacao da mediana das diferencas entre as coordenadas X, Y e Z de T1 e T2 dos centroides das estruturas dentrias do grupo TB foram includos na Tabela 4. Como o objetivo foi analisar o efeito dentrio isolado, foram utilizados os dados com registro regional maxilar para os dentes superiores e o registro regional mandibular para os dentes inferiores.

Tabela 4 – Anlise da diferenca do posicionamento do centroide das estruturas dentrias entre T1 e T2 no Grupo TB (continua).

		Tempo	Mediana \pm Varincia	Z	P-valor*
Incisivos superiores (registro regional maxilar)	X	T1	$-0,82 \pm 1,90$		
		T2	$-0,99 \pm 2,52$	-1,186	0,236
		T2-T1	$0,17 \pm 0,11$		
	Y	T1	$99,38 \pm 22,37$		
		T2	$99,13 \pm 21,09$	-0,700	0,484
		T2-T1	$0,05 \pm 0,32$		
	Z	T1	$49,83 \pm 22,29$		
		T2	$50,73 \pm 19,82$	-2,073	0,038**
		T2-T1	$0,47 \pm 0,22$		
Incisivos inferiores (registro regional mandibular)	X	T1	$-1,09 \pm 1,72$		0,343
		T2	$-1,19 \pm 1,73$	-0,949	
		T2-T1	$0,08 \pm 0,01$		
	Y	T1	$94,75 \pm 20,82$		0,066
		T2	$94,94 \pm 20,81$	-1,836	
		T2-T1	$0,27 \pm 0,18$		
	Z	T1	$64,95 \pm 26,33$		0,051
		T2	$64,15 \pm 26,56$	-1,955	
		T2-T1	$-0,42 \pm 0,18$		

Tabela 4 – Análise da diferença do posicionamento do centroide das estruturas dentárias entre T1 e T2 no Grupo TB (conclusão).

16 (registro regional maxilar)	X	T1	-23,45 ± 7,41	-0,593	0,553
		T2	-23,93 ± 7,71		
		T2-T1	0,01 ± 0,09		
	Y	T1	69,65 ± 22,10	-1,599	0,110
		T2	69,99 ± 23,52		
		T2-T1	0,30 ± 0,18		
	Z	T1	45,42 ± 10,26	-1,955	0,051
		T2	45,57 ± 9,42		
		T2-T1	0,28 ± 0,58		
26 (registro regional maxilar)	X	T1	21,24 ± 1,53	-0,533	0,594
		T2	21,56 ± 1,62		
		T2-T1	0,05 ± 0,15		
	Y	T1	68,75 ± 21,47	-0,652	0,514
		T2	68,93 ± 22,58		
		T2-T1	-0,01 ± 0,45		
	Z	T1	46,31 ± 10,51	-1,362	0,173
		T2	46,39 ± 11,38		
		T2-T1	0,08 ± 0,53		
36 (registro regional mandibular)	X	T1	21,86 ± 0,86	-1,125	0,260
		T2	21,81 ± 0,78		
		T2-T1	-0,05 ± 0,098		
	Y	T1	64,82 ± 18,12	-2,547	0,011**
		T2	66,77 ± 22,60		
		T2-T1	1,44 ± 0,74		
	Z	T1	62,72 ± 10,20	-2,547	0,011**
		T2	57,89 ± 11,01		
		T2-T1	-0,59 ± 0,49		
46 (registro regional mandibular)	X	T1	-23,31 ± 7,30	-1,244	0,214
		T2	-23,30 ± 7,645		
		T2-T1	-0,19 ± 0,10		
	Y	T1	65,41 ± 16,81	-1,724	0,085
		T2	66,69 ± 21,07		
		T2-T1	1,45 ± 1,13		
	Z	T1	61,93 ± 11,04	-2,310	0,021**
		T2	62,03 ± 10,94		
		T2-T1	-0,85 ± 0,46		

Legenda: *= teste de Wilcoxon (*signed rank test*) .**=Estatisticamente significante.

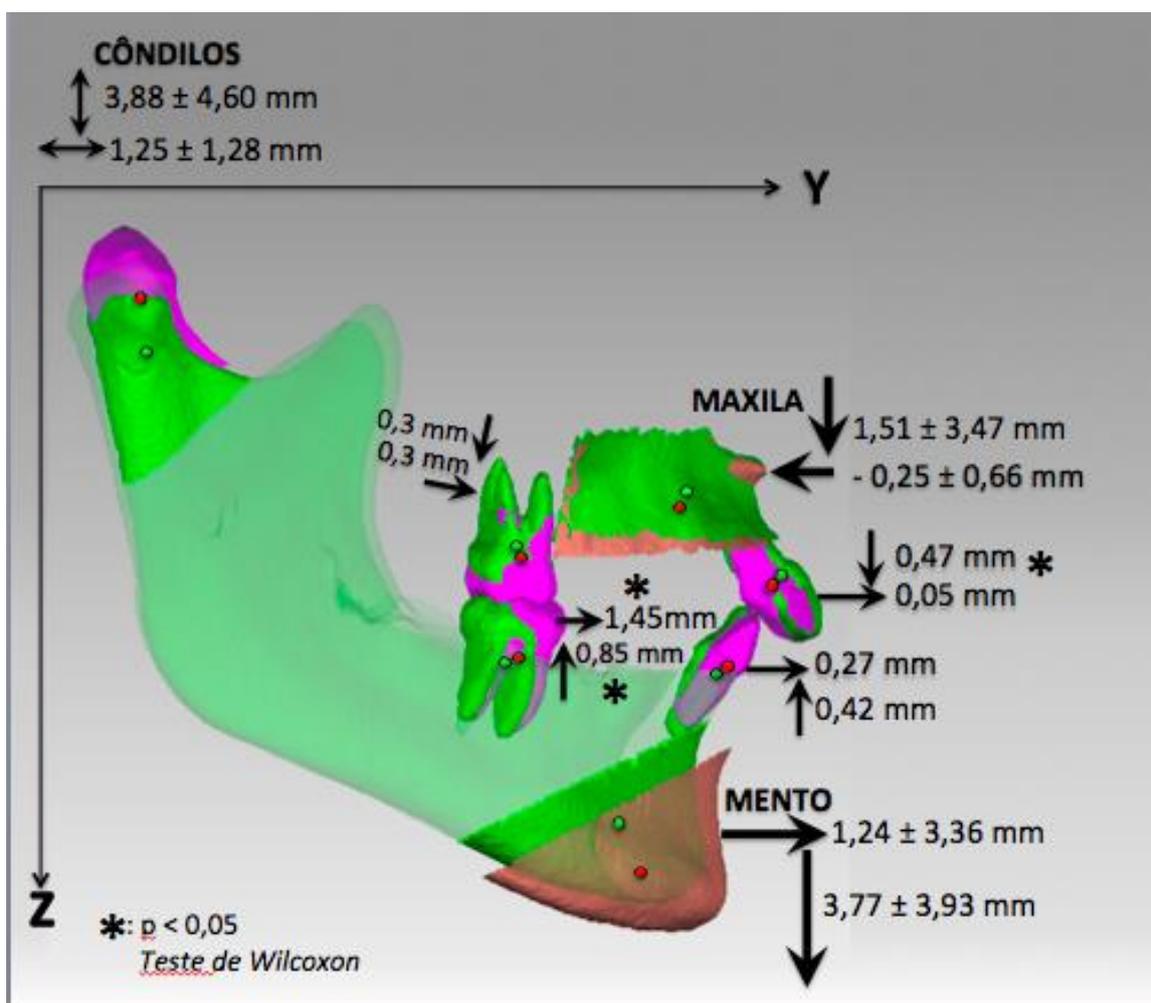
Os valores do teste de Wilcoxon para o eixo Z dos incisivos superiores ($p = 0,038$), do elemento 36 ($p = 0,011$) e do 46 ($p = 0,021$) demonstraram que houve uma extrusão significativa nestas estruturas após o tratamento com o aparelho Twin Block. Os valores do eixo Y do 36 ($p = 0,011$) demonstraram que também houve uma diferença significativa no posicionamento anteroposterior deste elemento, de mesialização (perda de ancoragem).

Os incisivos superiores exibiram extrusão ($0,47 \pm 0,22\text{mm}$; $p < 0,05$) e mantiveram sua posição no sentido anteroposterior ($0,05 \pm 0,32\text{mm}$; $p > 0,05$). Nos incisivos inferiores, foi observada mínima projeção ($0,27 \pm 0,18\text{mm}$) e extrusão ($0,42 \pm 0,18\text{mm}$), as quais não foram significantes ($p > 0,05$).

Não foram detectadas diferenças significantes nos 1^{os} molares superiores (16 e 26), que exibiram movimentações inferiores a 1mm nos 3 planos. O elemento 16 exibiu mínima mesialização ($0,30 \pm 0,18\text{mm}$; $p > 0,05$) e extrusão ($0,28 \pm 0,58 \text{ mm}$). O elemento 26 demonstrou suave extrusão ($0,28 \pm 0,58 \text{ mm}$; $p > 0,05$) e manteve sua posição no sentido anteroposterior ($-0,01 \pm 0,45 \text{ mm}$; $p > 0,05$).

No arco inferior, foi significativa a extrusão do 36 ($-0,59 \pm 0,49$; $p < 0,05$) e do 46 ($-0,85 \pm 0,46$; $p < 0,05$). A perda de ancoragem foi similar no 36 ($1,44 \pm 0,74$; $p < 0,05$) e no 46 ($1,45 \pm 1,13$; $p > 0,05$). Todas as estruturas dentárias não sofreram deslocamentos transversos significantes (eixo X). A Figura 51 ilustra o conjunto de resultados do grupo TB.

Figura 51 – Diagrama de resultados esqueléticos e dentários do grupo TB.



4.4.2 Avaliação da diferença do posicionamento dos centroides entre T1 e T2 no Grupo HAD

Os resultados do teste de Wilcoxon (*signed rank test*) na avaliação da mediana das diferenças entre as coordenadas X, Y e Z de T1 e T2 dos centroides das estruturas esqueléticas no grupo HAD foram incluídos na Tabela 5.

Tabela 5 – Análise da diferença do posicionamento do centroide das estruturas esqueléticas entre T1 e T2 no Grupo HAD.

		Tempo	Mediana ±Variância	Z	P-valor*
Maxila (registro na base do crânio)	X	T1	-0,98 ± 1,31	-,051	0,959
		T2	-1,40 ± 1,90		
		T2-T1	0,44 ± 1,05		
	Y	T1	89,40 ± 10,92	-1,580	0,114
		T2	89,70 ± 13,01		
		T2-T1	0,18 ± 0,87		
	Z	T1	39,70 ± 12,68	-2,090	0,037**
		T2	41,72 ± 8,89		
		T2-T1	1,54 ± 2,75		
Mento (registro na base do crânio)	X	T1	-1,60 ± 4,55	2,805	0,005**
		T2	-2,40 ± 4,67		
		T2-T1	0,50 ± 0,16		
	Y	T1	76,91 ± 11,82	-2,803	0,005**
		T2	81,87 ± 13,60		
		T2-T1	3,49 ± 3,74		
	Z	T1	84,16 ± 30,54	-2,701	0,007**
		T2	89,49 ± 21,34		
		T2-T1	3,63 ± 4,85		
Côndilo direito (registro regional mandibular)	X	T1	-48,30 ± 13,43	2,703	0,007**
		T2	-48,96 ± 12,06		
		T2-T1	0,55 ± 0,18		
	Y	T1	17,52 ± 15,24	-2,803	0,005**
		T2	14,64 ± 16,07		
		T2-T1	-2,02 ± 1,13		
	Z	T1	24,90 ± 10,28	-2,803	0,005**
		T2	22,75 ± 10,28		
		T2-T1	-4,41 ± 3,68		
Côndilo esquerdo (registro regional mandibular)	X	T1	46,81 ± 7,72	-2,803	0,005**
		T2	48,00 ± 7,78		
		T2-T1	0,88 ± 1,66		
	Y	T1	20,50 ± 6,07	-2,703	0,005**
		T2	17,84 ± 8,98		
		T2-T1	-2,45 ± -2,45		
	Z	T1	24,80 ± 14,44	-2,803	0,005**
		T2	22,70 ± 18,46		
		T2-T1	-4,51 ± 4,91		

Legenda: *= teste de Wilcoxon (*signed rank test*) .**=Estatisticamente significante.

Quase todas as medidas esqueléticas avaliadas (exceto pelos componentes transversos e anteroposterior da maxila) sofreram alterações significantes no grupo HAD. Os valores do teste de Wilcoxon para os valores do eixo Z da maxila ($p = 0,037$), do mento ($p = 0,007$) e dos côndilos direito ($p = 0,005$) e esquerdo ($p = 0,005$) demonstraram que houve uma diferença significativa no crescimento vertical destas estruturas após 12 meses de tratamento com o aparelho de Herbst com ancoragem dentária.

Os valores do eixo Y do mento ($p = 0,005$) e dos côndilos direito ($p = 0,005$) e esquerdo ($p = 0,005$) demonstraram que também houve uma diferença significativa no crescimento anteroposterior mandibular. Os valores do eixo X do mento ($p = 0,005$) e dos côndilos direito ($p = 0,007$) e esquerdo ($p = 0,005$) demonstraram que também houve uma diferença significativa no posicionamento transversos.

Na maxila, ocorreu crescimento anterior ($0,18 \pm 0,87\text{mm}$; $p > 0,05$) e inferior ($1,54 \pm 2,75\text{mm}$; $p < 0,05$). No mento, ocorreu um deslocamento significativo e clinicamente relevante nos sentidos anterior ($3,49 \pm 3,74$; $p < 0,05$) e inferior ($3,63 \pm 4,85 \text{ mm}$; $p < 0,05$). Nos côndilos esquerdo e direito, os componentes vertical (E: $-4,51 \pm 4,91 \text{ mm}$; D: $-4,41 \pm 3,68 \text{ mm}$), anteroposterior (E: $-2,45 \pm -2,45 \text{ mm}$; D: $-2,02 \pm 1,13 \text{ mm}$) e transversos (E: $0,88 \pm 1,66$; D: $0,55 \pm 0,18 \text{ mm}$) do crescimento foram simétricos, clinicamente relevantes e significantes ($p < 0,05$).

Os resultados do teste de Wilcoxon (*signed rank test*) na avaliação da mediana das diferenças entre as coordenadas X, Y e Z de T1 e T2 dos centroides das estruturas dentárias do grupo HAD foram incluídos na Tabela 6.

Tabela 6 – Análise da diferença do posicionamento do centroide das estruturas dentárias entre T1 e T2 no Grupo HAD (continua).

ROI		Tempo	Mediana ±Variância	Z	P-valor*
Incisivos superiores (registro regional maxilar)	X	T1	-1,37 ± 1,34	-1,683	0,092
		T2	-1,46 ± 1,83		
		T2-T1	0,28 ± 0,16		
	Y	T1	100,68±1,72	-1,580	0,114
		T2	101,10 ±1,29		
		T2-T1	0,18 ± 0,36		
	Z	T1	50,89 ± 18,54	-1,682	,093
		T2	51,47 ±15,53		
		T2-T1	0,66 ± 0,41		
Incisivos inferiores (registro regional mandibular)	X	T1	-1,52 ±4,497	-,764	0,445
		T2	-1,60 ±4,013		
		T2-T1	,0250±,093		
	Y	T1	94,07 ± 21,14	-2,803	0,005**
		T2	94,16 ± 24,00		
		T2-T1	0,54 ± 0,36		
	Z	T1	63,10 ± 15,99	-2,803	0,005**
		T2	62,34 ± 16,13		
		T2-T1	-0,65 ± 0,07		
16 (registro regional maxilar)	X	T1	-24,21 ± 1,90	-1,682	0,093
		T2	-24,41 ± 1,72		
		T2-T1	0,26 ± 0,13		
	Y	T1	68,62 ±10,17	-0,561	0,575
		T2	68,22 ±12,14		
		T2-T1	-0,08 ± 0,85		
	Z	T1	46,64 ± 15,17	-0,357	0,721
		T2	45,94 ± 12,62		
		T2-T1	-0,33 ± 3,03		
26 (registro regional maxilar)	X	T1	21,49±1,748	-1,274	0,203
		T2	21,71±2,80		
		T2-T1	0,22 ± 0,20		
	Y	T1	68,28 ± 8,45	-0,204	0,838
		T2	69,28 ± 12,38		
		T2-T1	-0,20 ± 1,39		
	Z	T1	45,72 ±17,00	-0,153	0,878
		T2	46,21 ± 20,37		
		T2-T1	0,02 ±1,78		
36 (registro regional mandibular)	X	T1	22,04 ± 3,13	-0,889	0,374
		T2	22,30 ±3,58		
		T2-T1	0,17 ± 0,22		
	Y	T1	65,03 ± 9,83	-2,803	0,005**
		T2	66,15 ± 9,39		
		T2-T1	1,48 ± 0,46		
	Z	T1	61,54 ± 19,52	-1,784	0,074
		T2	62,12 ± 17,27		
		T2-T1	-1,11 ± 1,11		

Tabela 6 – Análise da diferença do posicionamento do centroide das estruturas dentárias entre T1 e T2 no Grupo HAD (conclusão).

ROI	Tempo	Média ± DP	Z	P-valor*	
46 (registro regional mandibular)	X	T1	-24,40 ± 4,02	-0,459	0,646
		T2	-24,48 ± 4,16		
		T2-T1	-0,07 ± 0,23		
	Y	T1	65,06 ± 91,19	-2,803	0,005**
		T2	65,99 ± 93,24		
		T2-T1	1,73 ± 0,64		
Z	T1	62,44 ± 19,06	-2,549	0,011**	
	T2	61,48 ± 20,45			
	T2-T1	-0,98 ± 0,60			

Legenda: * = teste de Wilcoxon (*signed rank test*). **=Estatisticamente significativa.

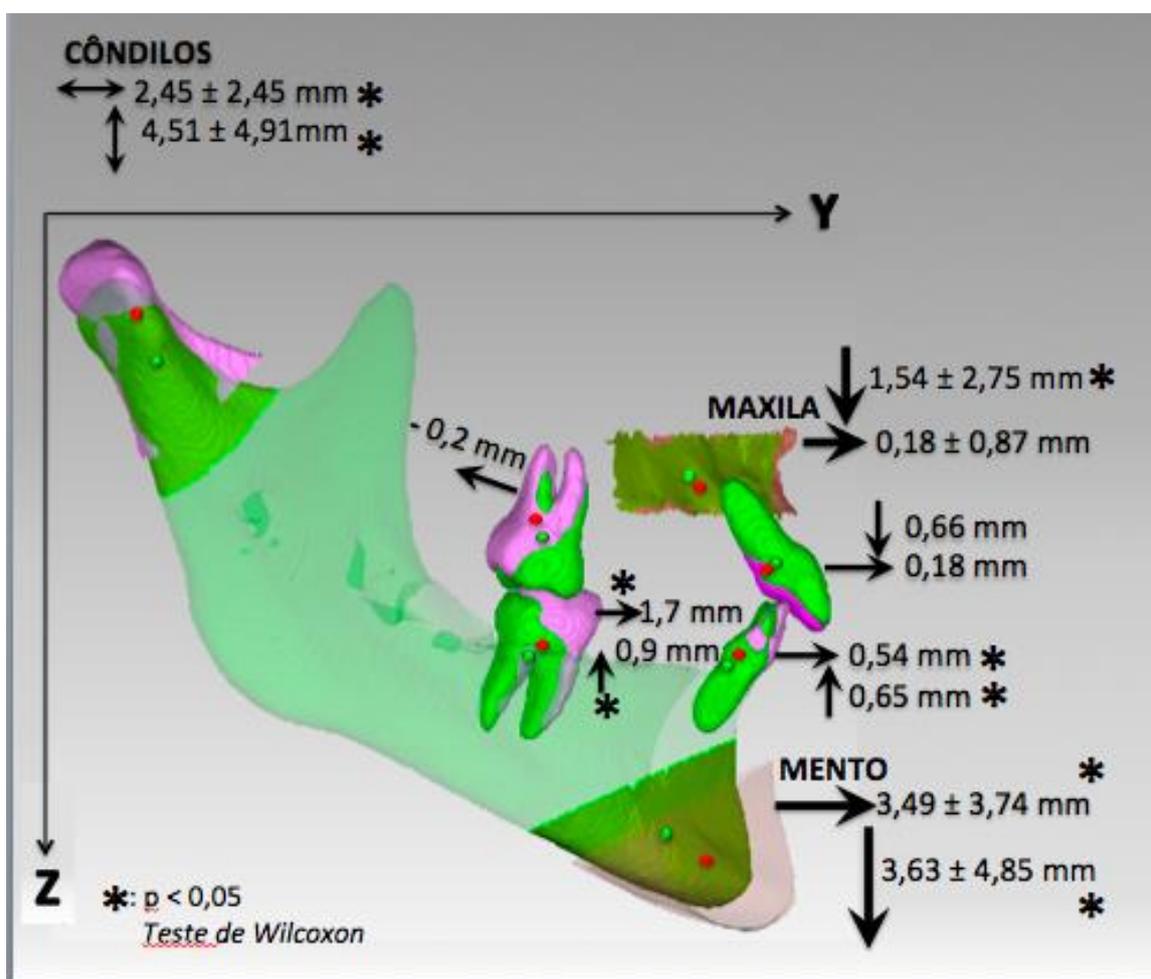
Os valores do teste de Wilcoxon para o eixo Y dos incisivos inferiores ($p = 0,005$), do elemento 36 ($p = 0,005$) e do 46 ($p = 0,005$) demonstraram que houve uma diferença significativa no posicionamento anteroposterior destas estruturas após o tratamento com o aparelho de Herbst com ancoragem dentária. Os valores do eixo Z do incisivo inferior ($p = 0,005$) e do 46 ($p = 0,011$) demonstraram que também houve uma diferença significativa no posicionamento vertical destes elementos.

Os incisivos superiores exibiram mínima extrusão ($0,66 \pm 0,41\text{mm}$; $p > 0,05$) e projeção ($0,18 \pm 0,36\text{mm}$, $p > 0,05$), que não foram significantes nem clinicamente relevantes. Nos incisivos inferiores, foi observada projeção ($0,54 \pm 0,36\text{ mm}$) e extrusão ($0,65 \pm 0,07\text{ mm}$), as quais foram significantes ($p < 0,05$).

Não foram detectadas diferenças significantes nos 1^{os} molares superiores (16 e 26), que exibiram movimentações inferiores a 1mm nos 3 planos. No arco inferior, foi significativa a perda de ancoragem do 36 ($1,48 \pm 0,46$; $p < 0,05$) e do 46 ($1,73 \pm 0,64$; $p < 0,05$), e a extrusão do 46 ($0,98 \pm 0,60\text{ mm}$; $p < 0,05$). Nenhuma estrutura dentária sofreu deslocamentos transversos significantes.

A Figura 52 ilustra o conjunto de resultados esqueléticos e dentários do grupo HAD.

Figura 52 – Diagrama de resultados esqueléticos e dentários do grupo HAD.



4.4.3 Avaliação da diferença do posicionamento dos centroides entre T1 e T2 no Grupo HAE

Os resultados do teste de Wilcoxon (*signed rank test*) na avaliação da mediana das diferenças entre as coordenadas X, Y e Z de T1 e T2 dos centroides das estruturas esqueléticas no grupo HAE foram incluídos na Tabela 7.

Tabela 7 – Análise da diferença do posicionamento do centroide das estruturas esqueléticas entre T1 e T2 no Grupo HAE.

		Tempo	Mediana ± Variância	Z	P-valor*
Maxila (registro na base do crânio)	X	T1	-0,53 ± 2,17	-0,507	0,612
		T2	-0,88 ± 2,00		
		T2-T1	0,11 ± 0,39		
	Y	T1	82,32 ± 4,24	-0,507	0,612
		T2	81,98 ± 4,76		
		T2-T1	-0,26 ± 2,88		
	Z	T1	40,47 ± 4,73	-1,352	0,176
		T2	42,23 ± 4,16		
		T2-T1	1,47 ± 4,25		
Mento (registro na base do crânio)	X	T1	-0,85 ± 2,18	-1,183	0,237
		T2	-1,41 ± 2,75		
		T2-T1	-0,57 ± 0,49		
	Y	T1	74,27 ± 4,99	-2,028	0,043**
		T2	77,18 ± 6,15		
		T2-T1	4,21 ± 2,96		
	Z	T1	84,18 ± 4,58	-2,197	0,028**
		T2	89,87 ± 5,02		
		T2-T1	5,64 ± 2,87		
Côndilo direito (registro regional mandibular)	X	T1	-47,97 ± 6,55	-2,197	0,028**
		T2	-49,83 ± 7,81		
		T2-T1	0,89 ± 0,58		
	Y	T1	18,72 ± 12,01	-2,366	0,018**
		T2	16,62 ± 11,74		
		T2-T1	-1,36 ± 0,68		
	Z	T1	23,77 ± 3,48	-2,366	0,018**
		T2	17,48 ± 4,35		
		T2-T1	5,20 ± 1,46		
Côndilo esquerdo (registro regional mandibular)	X	T1	45,2 ± 9,62	-2,366	0,018**
		T2	46,36 ± 11,78		
		T2-T1	0,74 ± 0,18		
	Y	T1	18,7 ± 6,55	-2,366	0,018**
		T2	17,05 ± 4,86		
		T2-T1	-1,65 ± 0,37		
	Z	T1	21,64 ± 6,97	-2,366	0,018**
		T2	17,93 ± 2,70		
		T2-T1	-4,89 ± 4,013		

Legenda: *= teste de Wilcoxon (*signed rank test*) .**=Estatisticamente significante.

Os valores do teste de Wilcoxon para os valores dos eixos Y e Z do mento ($p < 0,05$) e dos côndilos direito e esquerdo demonstraram que houve uma diferença significativa no crescimento vertical e anteroposterior destas estruturas após 12 meses de tratamento com o aparelho de Herbst com ancoragem esquelética. Os valores do eixo X dos côndilos

demonstraram que também houve uma diferença significativa no transverso ($p < 0,05$). Na Tabela 7, os valores do eixo Y dos côndilos estão negativos porque a orientação deste eixo no MTC foi súpero-inferior e como a avaliação do crescimento foi efetuada por registro mandibular, o crescimento condilar ocorreu na direção oposta. No texto, o sinal foi corrigido para não confundir o leitor.

Neste grupo, foi observada mínima restrição do crescimento maxilar no sentido anteroposterior ($-0,26 \pm 2,88$ mm; $p > 0,05$). No sentido vertical, ocorreu crescimento maxilar inferior ($1,47 \pm 4,25$ mm; $p > 0,05$). No mento, ocorreu um deslocamento significativo e clinicamente relevante nos sentidos anterior ($4,21 \pm 2,96$ mm; $p < 0,05$) e inferior ($5,64 \pm 2,87$ mm; $p < 0,05$). Nos côndilos esquerdo e direito, os componentes vertical (E: $4,89 \pm 4,01$ mm; D: $5,20 \pm 1,46$ mm), anteroposterior (E: $1,65 \pm 0,37$ mm; D: $-1,36 \pm 0,68$ mm) e transverso (E: $0,74 \pm 0,18$ mm; D: $0,89 \pm 0,58$ mm) do crescimento foram simétricos, significantes ($p < 0,05$) e clinicamente relevantes. Os resultados do teste de Wilcoxon (*signed rank test*) na avaliação da mediana das diferenças entre as coordenadas X, Y e Z de T1 e T2 dos centroides das estruturas dentárias do grupo HAE foram incluídos na Tabela 8.

Tabela 8 – Análise da diferença do posicionamento do centroide das estruturas dentárias entre T1 e T2 no Grupo HAE (continua).

		Tempo	Mediana \pm Variância	Z	P-valor*
Incisivos superiores (registro regional maxilar)	X	T1	$-0,17 \pm 1,36$	-1,016	0,310
		T2	$0,08 \pm 1,97$		
		T2-T1	$-0,25 \pm 0,22$		
	Y	T1	$92,56 \pm 4,71$	-1,690	0,091
		T2	$92,98 \pm 4,65$		
		T2-T1	$0,16 \pm 0,08$		
	Z	T1	$50,33 \pm 4,30$	-1,521	0,128
		T2	$50,76 \pm 5,00$		
		T2-T1	$0,28 \pm 0,18$		
Incisivos inferiores (registro regional mandibular)	X	T1	$-0,26 \pm 1,66$	-1,355	0,176
		T2	$-0,44 \pm 1,25$		
		T2-T1	$0,21 \pm ,05$		
	Y	T1	$86,56 \pm 4,68$	-2,366	0,018**
		T2	$87,46 \pm 4,65$		
		T2-T1	$0,93 \pm 0,08$		
	Z	T1	$63,87 \pm 12,17$	-2,366	0,018**
		T2	$62,02 \pm 13,40$		
		T2-T1	$-0,42 \pm 0,71$		

Tabela 8 – Análise da diferença do posicionamento do centroide das estruturas dentárias entre T1 e T2 no Grupo HAE (conclusão).

		Tempo	Mediana ± Variância	Z	P-valor*
16 (registro regional maxilar)	X	T1	-22,74 ± 3,34	-2,028	0,043**
		T2	-23,24 ± 4,12		
		T2-T1	0,57 ± 0,22		
	Y	T1	64,44 ± 9,23	-1,521	0,128
		T2	64,32 ± 9,86		
		T2-T1	-0,46 ± 0,50		
	Z	T1	46,23 ± 5,50	-0,677	0,498
		T2	47,31 ± 6,28		
		T2-T1	-0,11 ± 1,06		
26 (registro regional maxilar)	X	T1	21,69 ± 6,24	-2,117	0,034**
		T2	22,11 ± 6,13		
		T2-T1	0,26 ± 0,13		
	Y	T1	64,53 ± 14,13	-0,845	0,398
		T2	63,91 ± 13,18		
		T2-T1	-0,56 ± 1,16		
	Z	T1	47,28 ± 8,12	-0,169	0,866
		T2	47,24 ± 8,40		
		T2-T1	0,05 ± 1,18		
36 (registro regional mandibular)	X	T1	22,35 ± 2,67	-0,943	0,345
		T2	22,66 ± 2,85		
		T2-T1	-0,01 ± 0,04		
	Y	T1	61,57 ± 9,23	-2,366	0,018**
		T2	62,32 ± 9,65		
		T2-T1	1,07 ± 0,23		
	Z	T1	62,61 ± 11,28	-2,197	0,028**
		T2	61,65 ± 14,13		
		T2-T1	-1,34 ± 0,52		
46 (registro regional mandibular)	X	T1	-22,57 ± 3,89	-0,169	0,866
		T2	-22,35 ± 3,79		
		T2-T1	0,01 ± 3,79		
	Y	T1	61,69 ± 6,78	-2,366	0,018**
		T2	62,87 ± 6,50		
		T2-T1	0,80 ± 0,39		
	Z	T1	61,57 ± 0,51	-2,028	0,043**
		T2	61,08 ± 9,20		
		T2-T1	-1,09 ± 0,87		

Legenda: *= teste de Wilcoxon (*signed rank test*) **=Estatisticamente significante.

Os valores do teste de Wilcoxon para o eixo Y e Z dos incisivos inferiores, do elemento 36 e do 46 demonstraram que houve uma diferença significativa no posicionamento anteroposterior e vertical destas estruturas após o tratamento com o aparelho de Herbst com

ancoragem esquelética. Os valores do eixo X dos elementos 16 e 26 demonstraram que houve uma diferença significativa no posicionamento transverso destes elementos, com vetor de expansão do arco.

Os incisivos superiores exibiram mínima extrusão ($0,28 \pm 0,18\text{mm}$; $p > 0,05$) e projeção ($0,16 \pm 0,08 \text{ mm}$, $p > 0,05$), que não foram significantes nem clinicamente relevantes.

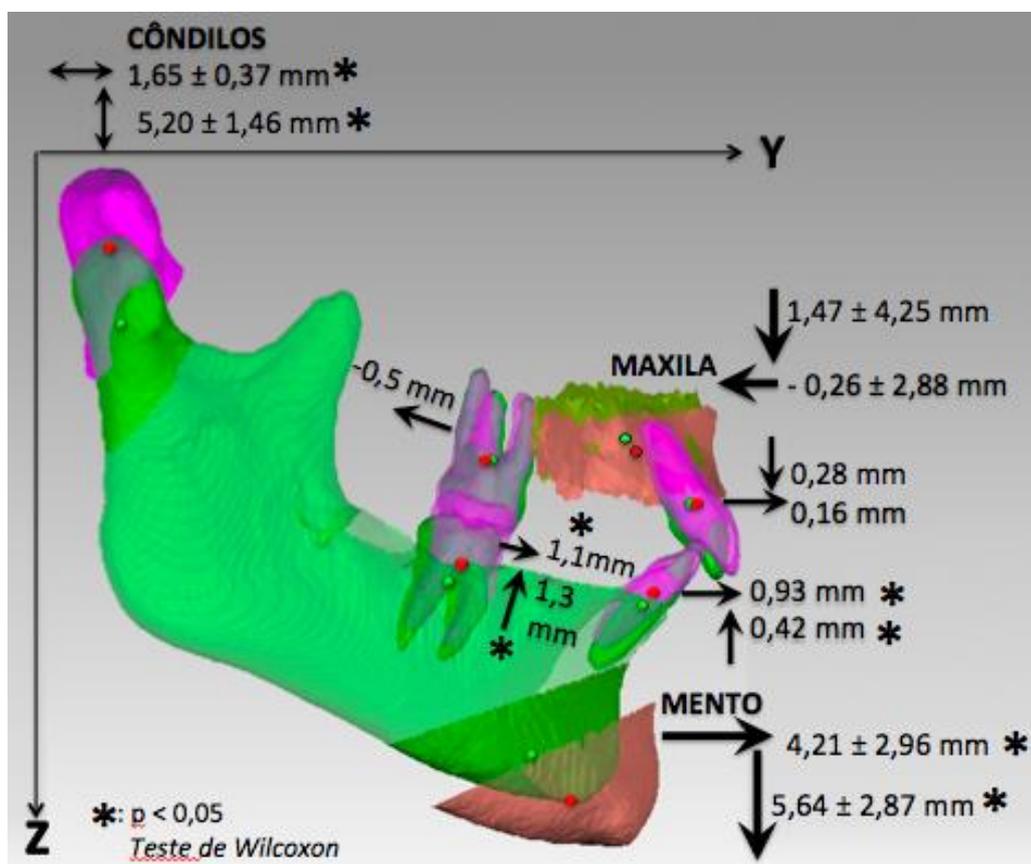
Nos incisivos inferiores, foi observada projeção ($0,93 \pm 0,08 \text{ mm}$) e extrusão ($0,42 \pm 0,71 \text{ mm}$), as quais foram significantes ($p < 0,05$).

Nos 1^{os} molares superiores (16 e 26), embora tenham sofrido movimentações inferiores a 1mm nos 3 planos, foram detectadas diferenças significantes no sentido transverso, pois ambos foram levemente vestibularizados (16: $0,57 \pm 0,22\text{mm}$; 26: $0,26 \pm 0,13 \text{ mm}$).

No arco inferior, foram significantes a perda de ancoragem do 36 ($1,07 \pm 0,23$; $p < 0,05$) e do 46 ($0,80 \pm 0,39$; $p < 0,05$); e também a extrusão de 36 ($1,34 \text{ mm}$; $p < 0,05$) e 46 ($1,09 \pm 0,87 \text{ mm}$; $p < 0,05$).

A Figura 53 ilustra o conjunto de resultados esqueléticos e dentários do grupo HAE.

Figura 53 – Diagrama de resultados esqueléticos e dentários do grupo HAE.



4.5 Análise intergrupos dos deslocamentos dos centroides de T1 para T2

Foi utilizado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis de amostras independentes para comparar as diferenças no deslocamento entre os centroides de todas as estruturas esqueléticas de T1 e T2 entre os três grupos tratados (Tabela 9).

Tabela 9 – Análise da diferença do posicionamento do centroide das estruturas esqueléticas entre T1 e T2 nos grupos avaliados.

Estrutura anatômica	Grupo	Mediana	Variância	Qui-quadrado	P-valor*	HAE - TB	HAE - HAD	TB - HAD
Maxila (registro na base do crânio)	X	TB	0,09	1,30	0,805	0,669	NS	NS
		HAD	0,44	1,05				
		HAE	0,11	0,39				
	Y	TB	-0,25	0,66	2,186	0,335	NS	NS
		HAD	0,18	0,87				
		HAE	-0,26	2,88				
	Z	TB	1,51	3,47	0,262	0,877	NS	NS
		HAD	1,54	1,66				
		HAE	1,47	1,70				
Mento (registro na base do crânio)	X	TB	-0,01	0,36	6,823	0,033**	NS	0,028**
		HAD	0,50	0,16				
		HAE	-0,57	0,49				
	Y	TB	1,24	3,36	4,653	0,098	NS	NS
		HAD	3,49	3,74				
		HAE	4,21	2,96				
	Z	TB	3,77	3,63	0,041	0,980	NS	NS
		HAD	5,64	4,85				
		HAE		2,87				
Côndilo direito (registro regional mandíbula)	X	TB	0,56	0,26	1,444	0,486	NS	NS
		HAD	0,55	0,18				
		HAE	0,89	0,58				
	Y	TB	1,25	1,28	2,178	0,337	NS	NS
		HAD	2,02	1,13				
		HAE	1,36	0,68				
	Z	TB	3,88	4,60	1,073	0,585	NS	NS
		HAD	4,41	3,68				
		HAE	5,20	4,46				
Côndilo esquerdo (registro regional mandibular)	X	TB	0,51	0,88	5,418	0,067	NS	NS
		HAD	0,74	1,66				
		HAE		0,18				
	Y	TB	1,22	0,76	5,244	0,073	NS	NS
		HAD	2,45	2,45				
		HAE	1,65	0,37				
	Z	TB	3,62	4,84	2,279	0,320	NS	NS
		HAD	4,51	4,91				
		HAE	4,89	4,01				

Legenda: *= teste de Kruskal-Wallis. **=Estatisticamente significante.

O teste de Kruskal-Wallis mostrou que houve efeito significativo do grupo somente sobre a movimentação transversa do mento [$X^2(2) = 6,823$; $p < 0,05$], dentre as variáveis esqueléticas analisadas. Quando detectada, foram utilizadas múltiplas comparações em forma de pares, que demonstraram que esta diferença ocorreu entre os grupos HAD e HAE (p ajustado = 0,028). Todavia, a movimentação transversa do mento não tem relevância clínica neste estudo, porque representa o vetor de crescimento para esquerda ou direita individual dos pacientes.

Os gráficos mostram a comparação de resultados entre os três grupos no crescimento das estruturas esqueléticas (Gráficos 1 ao 4). Em geral, foi observado um crescimento vertical e anteroposterior no mento e nos côndilos mandibulares nos três grupos, que resultou no posicionamento mais anterior e inferior da mandíbula em T2.

Especificamente no sentido anteroposterior (eixo Y), na maxila (Gráfico 1) foi observada uma restrição de crescimento nos grupos HAE ($-0,26 \pm 2,88$ mm) e TB ($-0,25 \pm 0,66$ mm). No grupo HAD, ocorreu mínimo crescimento anterior ($+0,18 \pm 0,87$ mm). No sentido vertical (eixo Z), ocorreu maior crescimento para baixo no grupo HAD ($+1,54 \pm 1,66$ mm), do que nos grupos TB ($+1,51 \pm 3,47$ mm) e HAE ($+1,47 \pm 1,70$ mm).

Embora não tenha sido estatisticamente significativa, a comparação dos valores das medianas do eixo Y do mento (Gráfico 2) mostrou que ocorreu maior deslocamento anteroposterior no grupo HAE ($4,21 \pm 2,96$ mm), seguido dos grupos HAD ($3,49 \pm 3,74$ mm) e TB ($1,24 \pm 3,36$ mm), com valores clinicamente relevantes, considerando-se os 12 meses de acompanhamento.

A comparação dos valores das medianas do eixo Z do mento (Gráfico 2) demonstrou que ocorreu maior deslocamento vertical no grupo HAE ($5,64 \pm 2,87$ mm), seguido dos grupos TB ($3,77 \pm 3,93$ mm) e HAD ($3,63 \pm 4,85$ mm), com valores clinicamente relevantes ($p > 0,05$).

Nos côndilos (Gráficos 3 e 4), a mesma comparação revelou que o crescimento anteroposterior foi maior no grupo HAD (E: $2,45 \pm 2,45$ mm; D: $2,02 \pm 1,13$ mm), do que nos grupos HAE (E: $1,65 \pm 0,37$ mm; D: $1,36 \pm 0,68$ mm) e TB (E: $1,22 \pm 0,76$ mm; D: $1,25 \pm 1,28$ mm), embora não tenha sido significativa ($p > 0,05$).

Quanto ao crescimento vertical condilar, foi mais acentuado no grupo HAE (E: $4,89 \pm 4,01$ mm; D: $5,20 \pm 4,46$ mm) do que nos grupos HAD (E: $4,51 \pm 4,91$ mm; D: $4,41 \pm 3,68$ mm) e TB (E: $3,62 \pm 4,84$ mm; D: $3,88 \pm 4,60$ mm), embora não tenha sido significativa ($p > 0,05$).

Gráfico 1 - *Box plot* com representação dos valores das diferenças do deslocamento dos centroides da maxila entre os grupos.

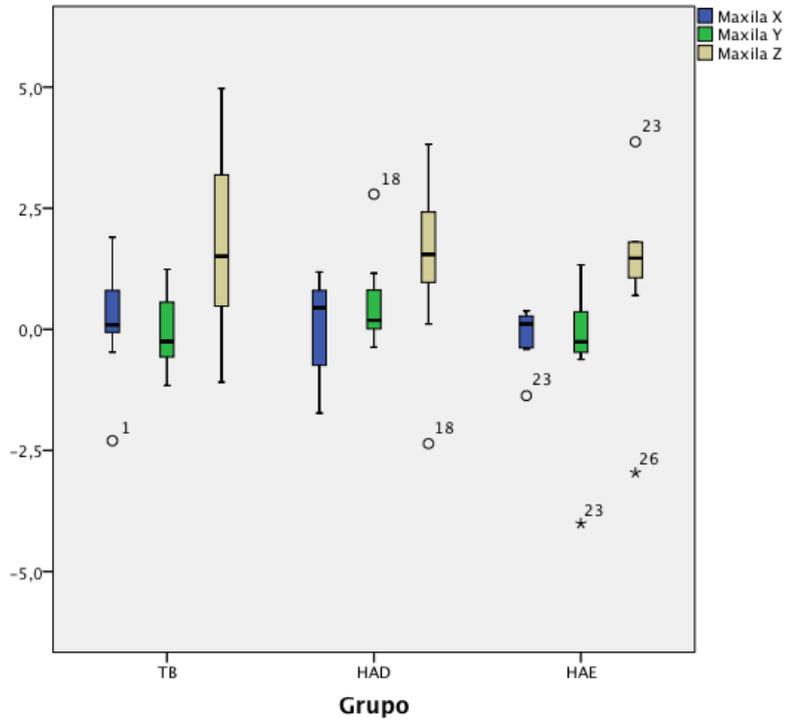


Gráfico 2 - *Box plot* com representação dos valores das diferenças do deslocamento dos centroides do mento entre os grupos.

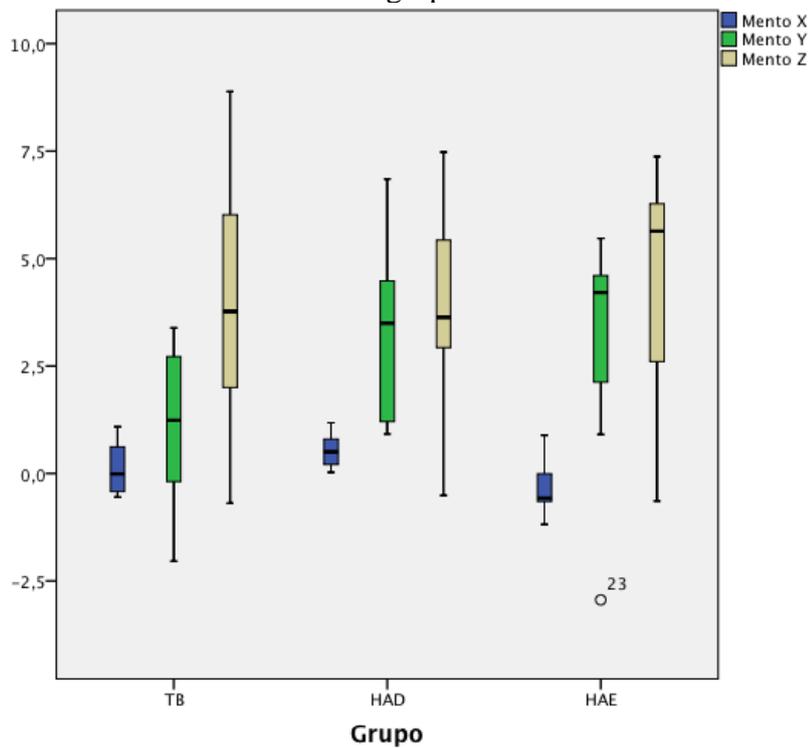


Gráfico 3 - *Box plot* com representação dos valores das diferenças do deslocamento dos centroides do cômulo direito entre os grupos.

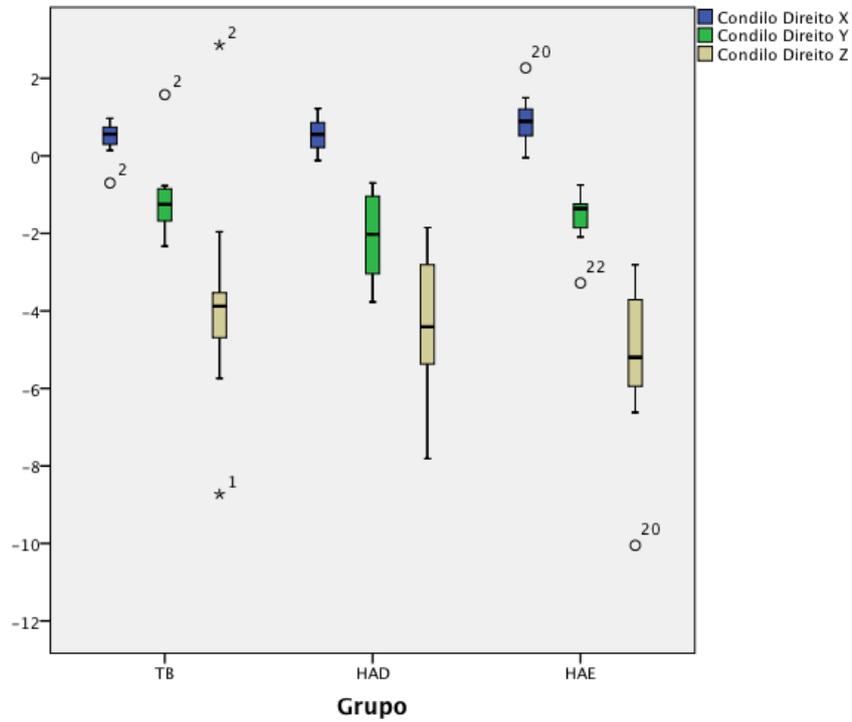
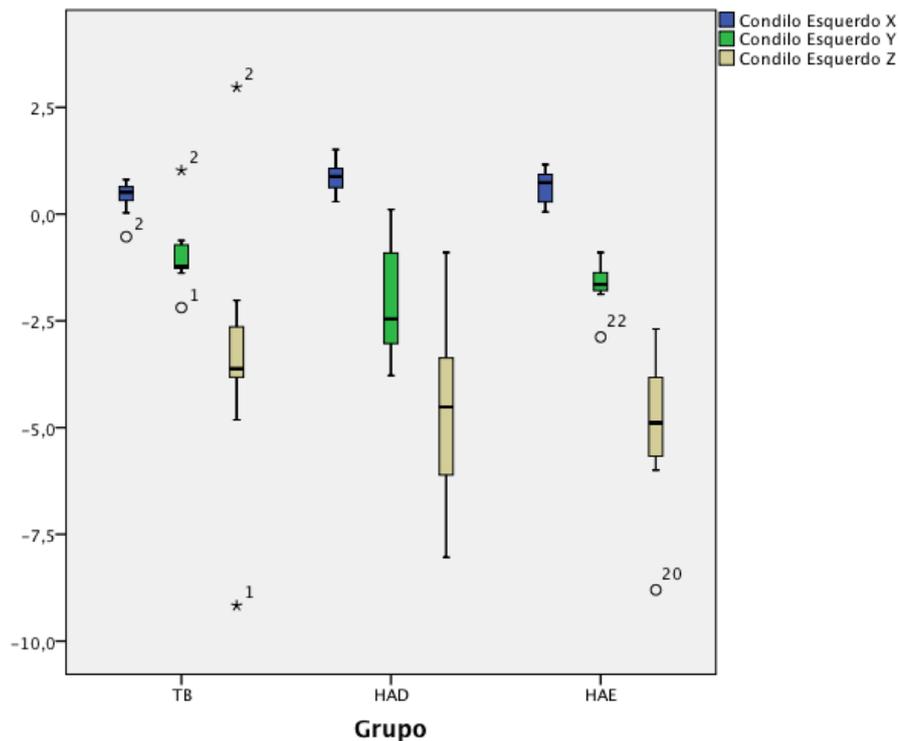


Gráfico 4 - *Box plot* com representação dos valores das diferenças do deslocamento dos centroides do cômulo esquerdo entre os grupos.



Os resultados do teste de Kruskal-Wallis para a comparação das diferenças no deslocamento entre os centroides de todas as estruturas dentárias de T1 e T2 entre os três grupos tratados foram incluídos na Tabela 10.

Tabela 10 – Análise da diferença do posicionamento do centroide das estruturas dentárias entre T1 e T2 entre os três grupos (continua).

Estrutura anatômica	Grupo	Mediana	Variância	Qui-quadrado	P-valor*	HAE vs TB	HAE vs HAD	TB vs HAD
Incisivos superiores (registro regional maxilar)	X	TB	0,17	0,11	3,094	0,213	NS	NS
		HAD	0,28	0,16				
		HAE	0,25	0,22				
	Y	TB	0,05	0,32	0,499	0,779	NS	NS
		HAD	0,18	0,36				
		HAE	0,16	0,08				
	Z	TB	0,47	0,22	0,762	0,683	NS	NS
		HAD	0,66	0,41				
		HAE	0,28	0,18				
Incisivos inferiores (registro regional mandibular)	X	TB	0,08	0,01	6,457	0,040**	NS	0,38**
		HAD	0,03	0,09				
		HAE	0,21	0,05				
	Y	TB	0,27	0,18	6,505	0,039**	0,38**	NS
		HAD	0,54	0,36				
		HAE	0,93	0,08				
	Z	TB	-0,42	0,18	2,168	0,338	NS	NS
		HAD	-0,65	0,07				
		HAE	-0,42	0,71				
16 (registro regional maxilar)	X	TB	0,01	0,09	3,231	0,199	NS	NS
		HAD	0,26	0,13				
		HAE	0,57	0,22				
	Y	TB	0,30	0,18	4,641	0,098	NS	NS
		HAD	-0,08	0,85				
		HAE	-0,46	0,50				
	Z	TB	0,30	0,58	2,270	0,321	NS	NS
		HAD	-0,33	3,03				
		HAE	-0,11	1,06				
26 (registro regional maxilar)	X	TB	0,05	0,15	1,288	0,525	NS	NS
		HAD	0,22	0,20				
		HAE	0,26	0,13				
	Y	TB	-0,01	0,45	1,916	0,384	NS	NS
		HAD	-0,20	1,39				
		HAE	-0,56	1,16				
	Z	TB	0,08	0,53	1,484	0,476	NS	NS
		HAD	0,02	1,78				
		HAE	0,05	1,18				

Legenda: *= teste de Kruskal-Wallis. **=Estatisticamente significante.

Tabela 10 – Análise da diferença do posicionamento do centroide das estruturas dentárias entre T1 e T2 entre os três grupos (conclusão).

ROI	Grupo	Média	DP	Qui- quadrado	P- valor*	HAE vs TB	HAE vs HAD	TB vs HAD
36 (registro regional mandibular)	X	TB	-0,05	0,09	2,661	0,264	NS	NS
		HAD	0,17	0,22				
		HAE	-0,01	0,04				
	Y	TB	1,44	0,74	2,475	0,290	NS	NS
		HAD	1,48	0,46				
		HAE	1,07	0,23				
	Z	TB	-0,59	0,49	1,140	0,566	NS	NS
		HAD	-1,11	1,11				
		HAE	-1,34	0,52				
46 (registro regional mandibular)	X	TB	-0,19	0,10	0,047	0,977	NS	NS
		HAD	-0,07	0,23				
		HAE	0,01	1,09				
	Y	TB	1,45	1,13	2,848	0,241	NS	NS
		HAD	1,73	0,64				
		HAE	0,80	0,39				
	Z	TB	-0,85	0,46	1,130	0,568	NS	NS
		HAD	-0,98	0,60				
		HAE	-1,09	0,87				

Legenda: *= teste de Kruskal-Wallis. **=Estatisticamente significante.

O teste de Kruskal-Wallis mostrou que houve efeito significativo do grupo somente sobre a movimentação transversa [$X^2(2) = 6,457$; $p < 0,05$] e anteroposterior [$X^2(2) = 6,505$; $p < 0,05$] do incisivo inferior, dentre as variáveis dentárias analisadas. Quando detectadas diferenças, foram utilizadas múltiplas comparações em forma de pares: a diferença na movimentação transversa do incisivo inferior ocorreu entre os grupos HAD e HAE (p ajustado = 0,038); a diferença na movimentação anteroposterior ocorreu entre os grupos TB e HAE (p ajustado = 0,038). Os gráficos de *box plot* mostram a comparação dos resultados entre os três grupos para todas as estruturas dentárias (Gráficos 5 ao 10). De forma geral, incisivos superiores e inferiores e 1^{os} molares superiores mostraram mínimos deslocamentos nos 3 planos, inferiores a 1mm. Somente os 1^{os} molares inferiores demonstraram deslocamentos ligeiramente maiores.

No sentido anteroposterior, os incisivos centrais superiores (Gráfico 8) apresentaram variabilidade de resposta: sofreram projeção, foram mantidos na mesma posição ou ainda retração. De forma geral, exibiram mínima projeção, a qual foi mais acentuada no grupo HAD ($0,18 \pm 0,36$ mm) do que nos grupos HAE ($0,16 \pm 0,08$ mm) e TB ($0,05 \pm 0,32$ mm). No

sentido vertical, ocorreu maior extrusão no grupo HAD ($0,66 \pm 0,41$ mm) do que nos grupos TB ($0,47 \pm 0,22$ mm) e HAE ($0,28 \pm 0,18$ mm).

Os elementos 16 e 26 (Gráficos 9 e 10) apresentaram variabilidade quanto ao deslocamento anteroposterior (para distal ou mesial) e vertical (intrusão ou extrusão). Pelas medianas, a maior distalização observada ocorreu no grupo HAE (16: $-0,46 \pm 0,50$ mm; 26: $-0,56 \pm 1,16$ mm), seguido pelo grupo HAD (16: $-0,08 \pm 0,85$ mm; 26: $-0,20 \pm 1,39$ mm). No grupo TB, foi observada suave perda de ancoragem no 16 ($0,30 \pm 0,18$ mm) e o 26 manteve sua posição ($-0,01 \pm 0,45$ mm). A maior intrusão foi observada no 16, no grupo HAD ($-0,33 \pm 3,03$ mm), seguido do grupo HAE ($-0,11 \pm 1,06$ mm); no grupo TB foi mantida a posição ($0,01 \pm 0,09$ mm). No 26, ocorreu mínima extrusão nos três grupos, a qual foi maior no grupo TB ($0,08 \pm 0,53$ mm) do que nos grupos HAE ($0,05 \pm 1,18$ mm) e HAD ($0,02 \pm 1,78$ mm).

De forma geral, no arco inferior, os incisivos centrais exibiram mínimos deslocamentos com vetores de extrusão e projeção (Gráfico 5); os elementos 36 e 46 sofreram mínima mesialização (perda de ancoragem) e extrusão (Gráficos 6 e 7). Na Tabela 10 e no Gráfico 5, os valores do eixo Y dos dentes inferiores estão negativos porque a orientação deste eixo no MTC foi súpero-inferior e a extrusão dos dentes inferiores ocorreu na direção oposta. No texto, o sinal foi corrigido para não confundir o leitor.

Pelos valores das medianas, a maior projeção de incisivos centrais inferiores foi observada no grupo HAE ($0,93 \pm 0,08$ mm), do que nos grupos HAD ($0,54 \pm 0,36$ mm) e TB ($0,27 \pm 0,18$ mm). Esta diferença foi significativa entre os grupos TB e HAE (Tabela 10). Todavia, os valores obtidos foram inferiores a 1 mm, sem relevância clínica. No sentido vertical, a maior extrusão foi observada no grupo HAD ($0,65 \pm 0,07$ mm), seguido pelos grupos HAE ($0,42 \pm 0,71$ mm) e TB ($0,42 \pm 0,18$ mm).

A análise das medianas dos 1^{os} molares inferiores revelou que a menor perda de ancoragem (eixo Y) ocorreu no grupo HAE (36: $1,07 \pm 0,23$ mm; 46: $0,80 \pm 0,39$ mm), seguida em ordem crescente pelos grupos TB (36: $1,44 \pm 0,74$ mm; 46: $1,45 \pm 1,13$ mm) e HAD (36: $1,48 \pm 0,46$ mm; 46: $1,73 \pm 0,64$ mm). No sentido vertical (eixo Z), a maior extrusão foi observada no grupo HAE (36: $1,34 \pm 0,52$ mm; 46: $1,09 \pm 0,87$ mm), do que nos grupos HAD (36: $1,11 \pm 1,11$ mm; 46: $-0,98 \pm 0,60$ mm) e TB (36: $0,59 \pm 0,49$ mm; 46: $0,85 \pm 0,46$ mm). No sentido transversal, os elementos 36 e 46 mantiveram suas posições nos grupos TB (36: $-0,05 \pm 0,09$ mm; 46: $-0,19 \pm 0,10$ mm), HAD (36: $0,17 \pm 0,22$ mm; 46: $-0,07 \pm 0,23$ mm) e HAE (36: $-0,01 \pm 0,04$ mm; 46: $0,01 \pm 1,09$ mm).

Gráfico 5 - *Box plot* com representação dos valores das diferenças do deslocamento dos centroides dos incisivos centrais inferiores entre os grupos.

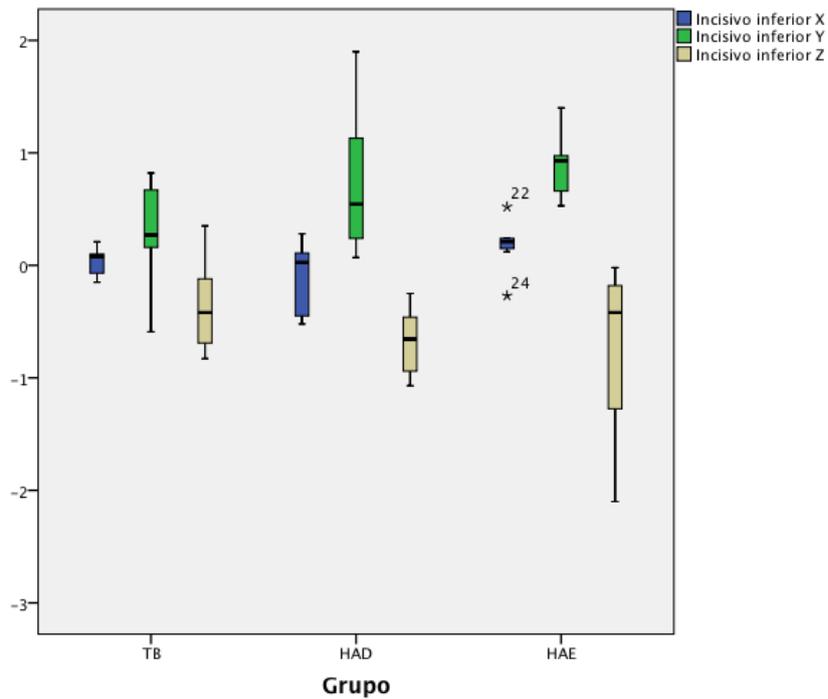


Gráfico 6 - *Box plot* com representação dos valores das diferenças do deslocamento dos centroides do elemento 36 entre os grupos.

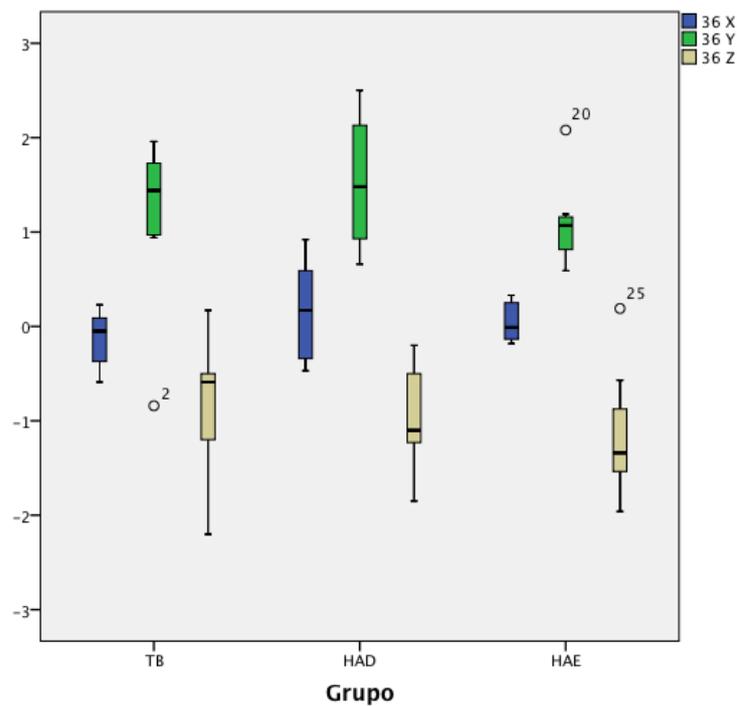


Gráfico 7 - *Box plot* com representação dos valores das diferenças do deslocamento dos centroides do elemento 46 entre os grupos.

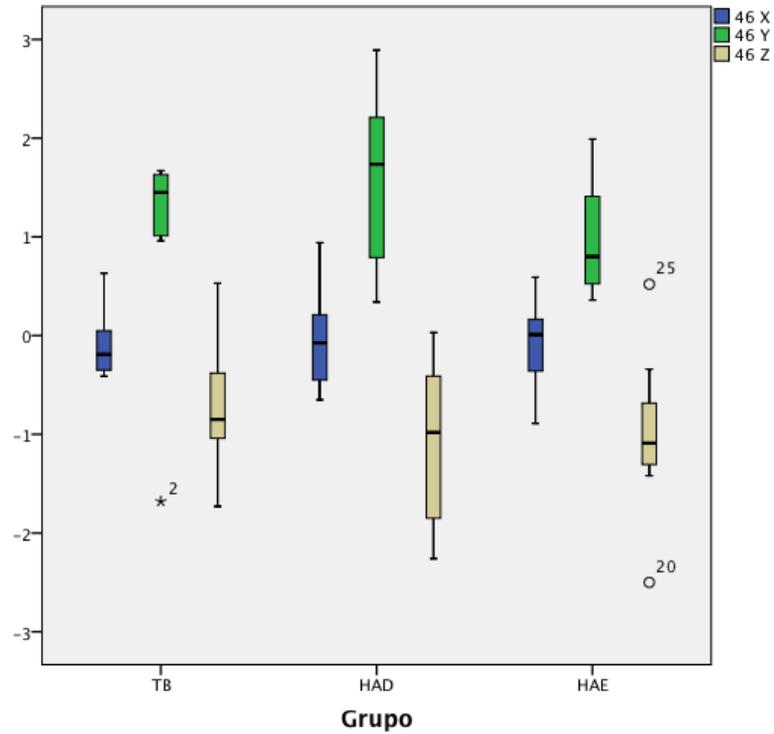


Gráfico 8 - *Box plot* com representação dos valores das diferenças do deslocamento dos centroides dos incisivos centrais superiores entre os grupos.

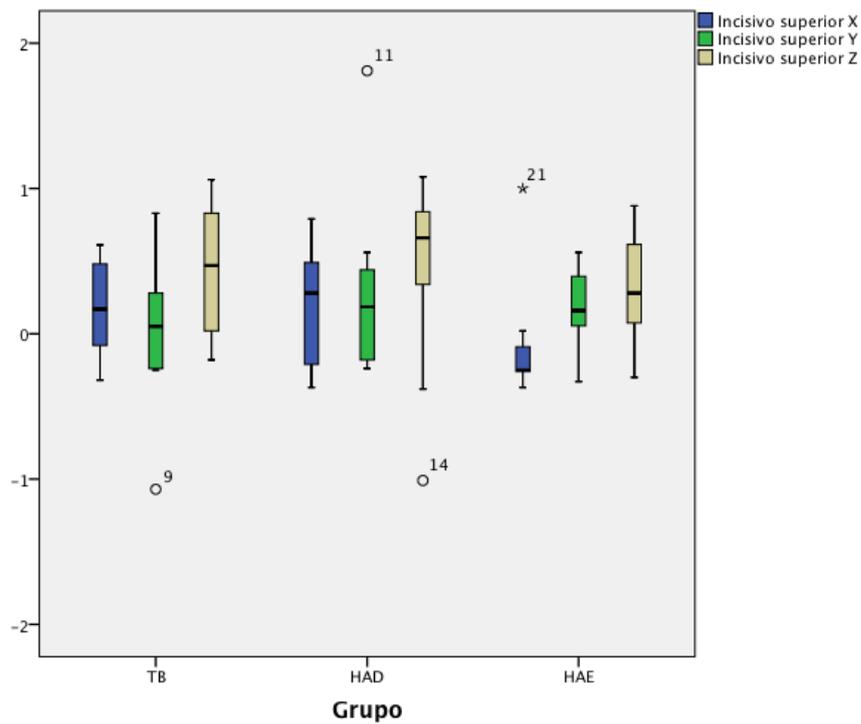


Gráfico 9 - *Box plot* com representação dos valores das diferenças do deslocamento dos centroides dos elemento 16 entre os grupos.

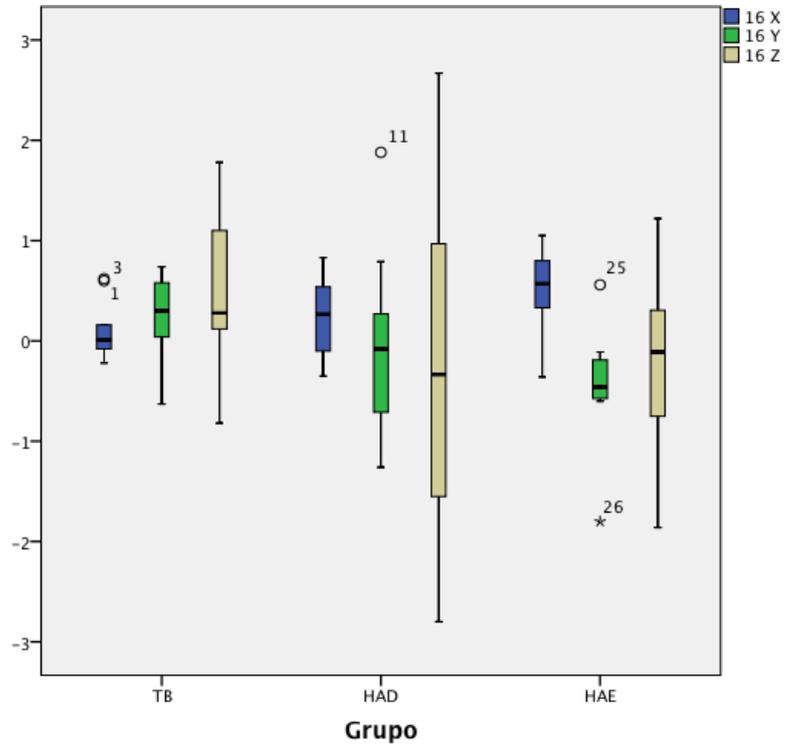
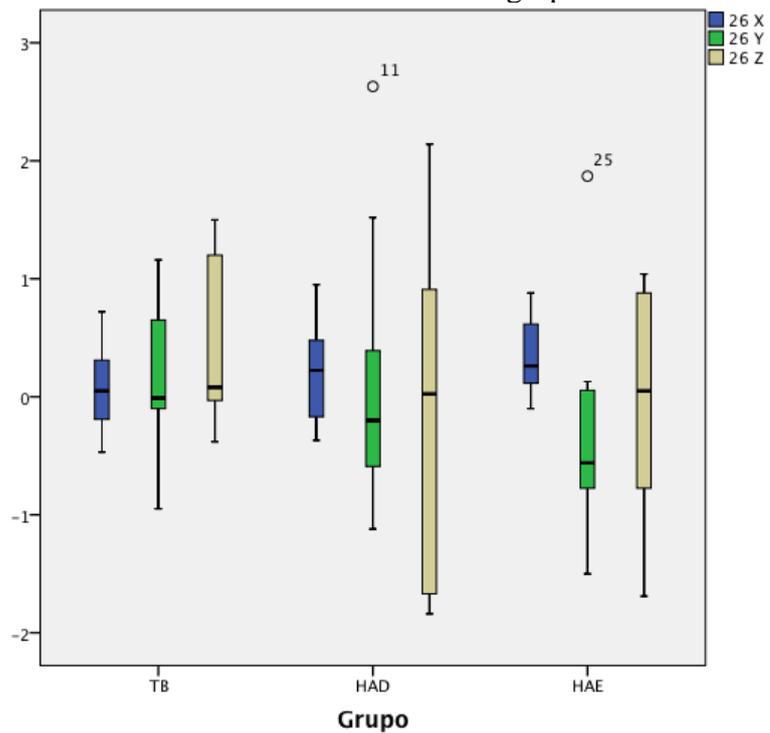
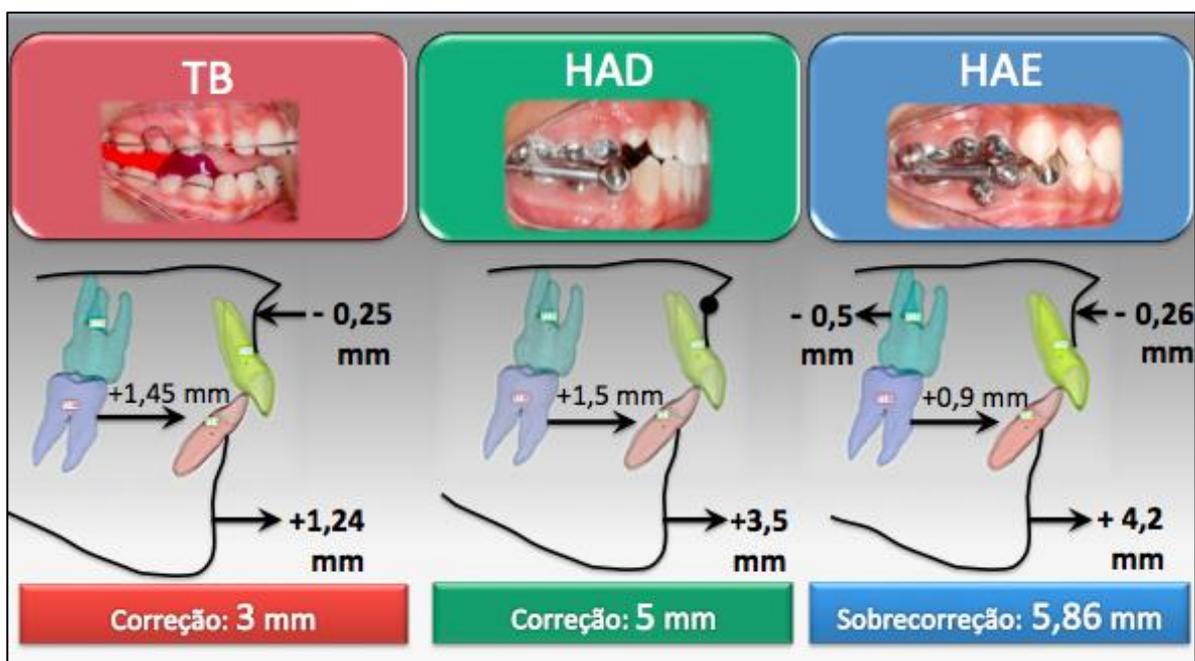


Gráfico 10 - *Box plot* com representação dos valores das diferenças do deslocamento dos centroides do elemento 26 entre os grupos.



A Figura 54 ilustra as diferenças dos resultados esqueléticos e dentários anteroposteriores entre os grupos TB, HAD e HAE que atuaram na correção da relação molar de Classe II dos pacientes tratados.

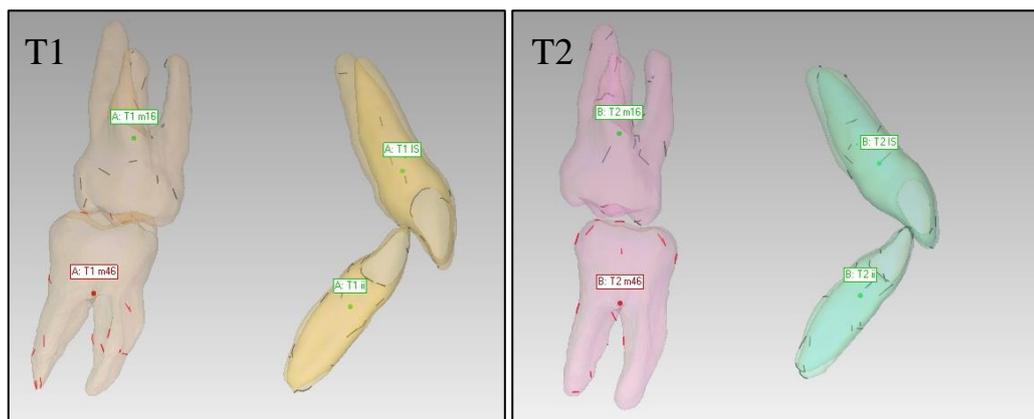
Figura 54 – Diagrama de diferenças de resultados entre os grupos TB, HAD e HAE.



4.6 Alteração da sobressaliência e da relação molar de T1 para T2

Para analisar a eficácia do tratamento com os propulsores mandibulares removível Twin Block, Herbst e Herbst associado à ancoragem esquelética, foram comparadas a sobressaliência e relação molar, pré e pós tratamento dos pacientes.

Figura 55 – Alteração da sobressaliência e da relação molar de T1 para T2.



O teste de Wilcoxon (*signed rank test*) foi utilizado para a avaliação intra grupo das diferenças na sobressaliência (*overjet*) entre T1 e T2 dos três grupos analisados (Tabela 11).

Tabela 11 – Análise intra-grupo das alterações detectadas no *overjet* dos pacientes entre T1 e T2.

		Tempo	Min	Max	Mediana	Variância	Z	P-valor*
Sobressaliência (<i>overjet</i>)	TB	T1	6,00	9,00	6,89	1,05	-2,677	0,007**
		T2	2,00	5,00	3,56	1,33		
	HAD	T1	6,00	8,00	7,00	0,81	2,825	0,005**
		T2	2,00	4,00	2,90	0,87		
	HAE	T1	6,00	12,00	8,28	2,36	-2,410	0,016**
		T2	2,00	6,00	3,42	1,39		

Legenda: *= teste de Wilcoxon (*signed rank test*). **=Estatisticamente significante.

Os resultados do teste de Wilcoxon demonstraram que ocorreram alterações significantes ($p < 0,05$) e clinicamente relevantes na sobressaliência dos três grupos tratados. O *overjet* inicialmente acentuado (mínimo de 6 até máximo de 12 mm), após o tratamento, foi reduzido para uma faixa normal de 2,9mm a 3,5mm (medianas de T2). No grupo TB, ocorreu a redução de *overjet* de 6,89 ($\pm 1,05$) mm para 3,56 ($\pm 1,05$) mm. No grupo HAD, o *overjet* inicial de 7 ($\pm 0,81$) mm foi reduzido para 2,90 ($\pm 0,87$) mm; e no grupo HAE, a redução foi de 8,28 ($\pm 2,36$)mm para 3,42($\pm 1,39$)mm.

O teste de Kruskal-Wallis foi utilizado para avaliar se houve diferença significativa na redução do *overjet* entre os três grupos (Tabela 12).

Tabela 12 – Comparação entre os grupos na redução do *overjet* entre T1 e T2.

MEDIDA	TB		HAD		HAE		P-valor*
	Mediana	Variância	Mediana	Variância	Mediana	Variância	
Overjet T1- T2	-3,00	3,25	-4,00	1,65	-4,00	1,47	0,097

Legenda: *= teste de Kruskal-Wallis.

Embora os resultados da Tabela 12 demonstrem que ocorreu maior redução do *overjet* nos grupos HAD ($-4 \pm 1,65$ mm) e HAE ($-4 \pm 1,47$ mm), do que no grupo TB ($-3 \pm 3,25$ mm), o teste de Kruskal Wallis avaliou que não houve diferença significativa entre os grupos ($p > 0,05$). Todos os grupos obtiveram sucesso na correção do *overjet*.

A seguir, foi analisada a alteração da relação molar (pela classificação de Angle) pré e pós tratamento nos três grupos. A distribuição do número de pacientes com cada tipo de relação molar (Classe I, II ou III) nos 3 grupos, nos tempos T1 e T2, foi descrita na Tabela 13. Foi considerado sucesso quando em T2 foi obtida a relação molar Classe I ou III. O insucesso foi estabelecido quando observada uma relação molar de Classe II em T2.

Tabela 13 – Índice de sucesso na correção molar dos grupos.

Grupo	Tempo	Relação Molar			Total n (%)	
		Classe I	Classe II	Classe III		
TB	T1	0	9	0	9 (100)	
	T2	4	4	1		
	Sucesso em T2	4	0	1		5 (55,6)
	Insucesso em T2	0	4	0		4 (44,4)
HAD	T1	1	9	0	10 (100)	
	T2	3	0	7		
	Sucesso em T2	3	0	7		10 (100)
	Insucesso em T2	0	0	0		0 (0)
HAE	T1	3	4	0	7(100)	
	T2	1	0	6		
	Sucesso em T2	1	0	6		7(100)
	Insucesso em T2	0	0	0		0 (0)

No grupo TB, dos nove pacientes Classe II tratados, apenas cinco (55,6%) obtiveram a correção bilateral da relação molar em T2. No grupo HAD, dos 10 pacientes Classe II tratados, 100% obtiveram correção (30% em Classe I) ou sobrecorreção (70% em Classe III) da relação molar bilateral em T2. No grupo HAE, dos 7 pacientes Classe II tratados, 100% obtiveram correção (14,3% em Classe I) ou sobrecorreção (85,7% em Classe III) da relação molar em T2. Neste aspecto, foi observada uma superioridade dos aparelhos Herbst e Herbst associado à ancoragem esquelética em relação ao aparelho Twin Block quanto à eficácia de tratamento.

4.7 Análise da diferença no deslocamento anteroposterior das estruturas avaliadas entre os casos de sucesso e insucesso

Como as alterações no *overjet* e na relação molar foram utilizadas para classificar os casos dos pacientes da amostra como “sucesso” ou “insucesso” na correção da **relação molar** da má oclusão, também foi utilizado o teste de Mann-Whitney (Tabela 14) para avaliar quais estruturas sofreram deslocamento anteroposterior (coordenadas no eixo Y dos centroides) de forma significativamente diferente entre os pacientes que obtiveram sucesso (n = 22) e insucesso (n = 4).

Tabela 14 – Relação entre as coordenadas Y das estruturas avaliadas com os casos de sucesso e insucesso na correção da Classe II de Angle.

SUCESSO / INSUCESSO		N	Média de <i>Rank</i>	Soma de <i>Ranks</i>	p*
Maxila Y	Sucesso	22	13,16	289,50	0,607
	Insucesso	4	15,38	61,50	
	Total	26			
Mento Y	Sucesso	22	14,89	327,50	0,026**
	Insucesso	4	5,88	23,50	
	Total	26			
Côndilo Direito Y	Sucesso	22	12,55	276,00	0,150
	Insucesso	4	18,75	75,00	
	Total	26			
Côndilo Esquerdo Y	Sucesso	22	12,55	276,00	0,150
	Insucesso	4	18,75	75,00	
	Total	26			
Incisivo inferior Y	Sucesso	22	13,82	304,00	0,656
	Insucesso	4	11,75	47,00	
	Total	26			
36 Y	Sucesso	22	13,50	297,00	1,000
	Insucesso	4	13,50	54,00	
	Total	26			
46 Y	Sucesso	22	13,41	295,00	0,918
	Insucesso	4	14,00	56,00	
	Total	26			
Incisivo superior Y	Sucesso	22	14,52	319,50	0,112
	Insucesso	4	7,88	31,50	
	Total	26			
16 Y	Sucesso	22	12,45	274,00	0,112
	Insucesso	4	19,25	77,00	
	Total	26			

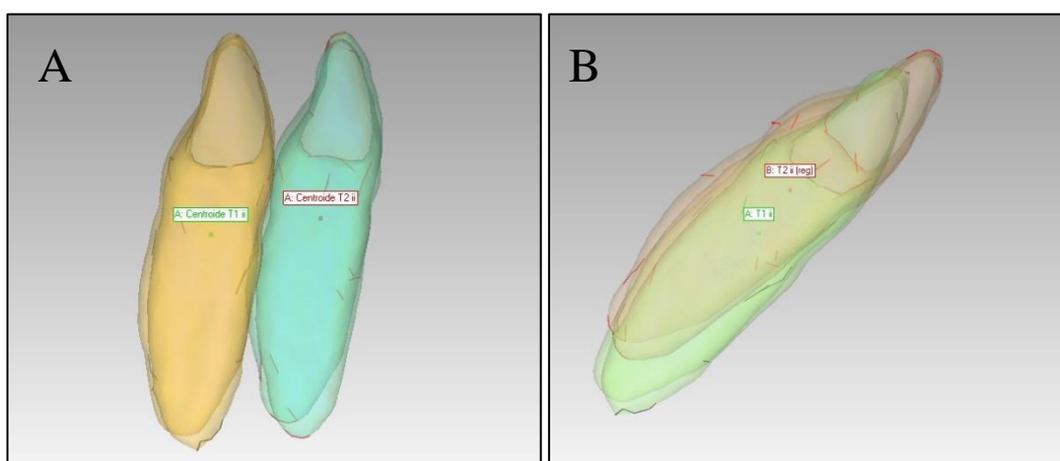
Legenda: *= Calculado pelo teste de Mann-Whitney. ** = Estatisticamente significativa.

O resultado do teste de Mann-Whitney demonstrou que a única variável que demonstrou uma diferença significativa entre pacientes com sucesso e insucesso foi o deslocamento anteroposterior do mento ($p < 0,05$).

4.8 Componentes esqueléticos e dentários da correção da má oclusão Classe II de Angle

Como foram obtidos centroides dos incisivos centrais e 1^{os} molares permanentes com registros totais e regionais, foi possível aferir o deslocamento total dentário pela associação de crescimento e movimento dentário (obtido pelo registro na base do crânio) e também o movimento exclusivamente dentário (pelos registros regionais maxilar e mandibular). Subtraindo-se um valor pelo outro, foi calculado o deslocamento causado exclusivamente pelo crescimento esquelético do complexo craniofacial.

Figura 56 – Diferença da relação entre incisivos centrais inferiores em T1 e T2, sob registro na base do crânio e sob registro regional mandibular.



Legenda: A) Registro na base anterior do crânio. B) Registro regional mandibular. O mesmo foi efetuado para todas as estruturas dentárias avaliadas. Os dentes superiores foram submetidos a registro regional maxilar.

Como o foco principal do tratamento com propulsores mandibulares foi atingir a correção anteroposterior da relação molar e sobressaliência, este cálculo foi efetuado para as coordenadas Y dos centroides de todas as estruturas dentárias. As médias e distribuição em percentuais dos resultados obtidos dos três grupos de pacientes foram incluídos na Tabela 15.

Tabela 15 – Deslocamento dentário anteroposterior ocorrido entre T1 e T2: total e dividido entre os componentes esquelético e dentário.

		Grupo TB		Grupo HAD		Grupo HAE	
		Média	%	Média	%	Média	%
Incisivo inferior	TOTAL	1,25	100	3,52	100	3,16	100
	dentário	0,27	21,6	0,72	20,45	0,88	27,85
	esquelético	0,98	78,4	2,8	79,55	2,28	72,15
Incisivo superior	TOTAL	0,25	100	0,96	100	0,55	100
	dentário	0,06	24	0,29	30,21	0,18	32,73
	esquelético	0,19	76	0,67	69,79	0,36	65,45
36	TOTAL	1,44	100	2,55	100	3,51	100
	dentário	0,21	14,58	0,43	16,86	0,69	19,66
	esquelético	1,23	85,42	2,13	83,53	2,82	80,34
46	TOTAL	1,25	100	4,23	100	3,16	100
	dentário	0,27	21,6	0,72	20,45	0,88	27,85
	esquelético	1,52	78,4	3,52	79,55	2,28	72,15
16	TOTAL	0,48	100	1,15	100	1,07	100
	dentário	0,04	8,33	0,51	44,35	0,18	16,82
	esquelético	0,45	93,75	0,63	54,78	0,88	82,24
26	TOTAL	1,29	100	4,15	100	2,09	100
	dentário	0,21	16,28	0,43	10,36	0,69	33,01
	esquelético	1,07	82,95	3,72	89,64	1,40	66,99

Legenda: *Total*: movimentação ocorrida com registro na base do crânio. *Dentário*: movimentação dentária ocorrida com registro regional. *Esquelético*: subtração do valor dentário do total.

Pelos resultados da Tabela 15, o maior deslocamento anteroposterior total do incisivo inferior ocorreu no grupo HAD (3,52 mm), no qual 20,45% da movimentação foi dentária e 79,55% foi resultante de crescimento esquelético. A seguir, no grupo HAE ocorreu um deslocamento médio total de 3,16mm, dos quais 27,85% foram efeitos dentários; e por fim, no grupo TB, o deslocamento total do incisivo inferior foi de 1,25 mm em média, dos quais 21,6% foi exclusivamente projeção dentária.

Nos 1^{os} molares inferiores, os maiores deslocamentos totais ocorreram nos grupos HAD (4,23 mm no elemento 46) e HAE (3,51 mm no elemento 36), os quais foram superiores aos observados no grupo TB (1,44 mm no elemento 36 e 1,25 mm no elemento 46). O percentual de movimentação dentária oscilou entre 14,58% (no elemento 36 do grupo TB) até 27,85% (no elemento 46 do grupo HAE), e o grupo HAD apresentou valores intermediários entre ambos (16,86% no elemento 36 e 20,45% no elemento 46).

Nos incisivos superiores, o menor deslocamento anterior ocorreu no grupo TB (0,25mm), dos quais 76% foi crescimento esquelético. Todavia, o deslocamento total de incisivos superiores também foi mínimo nos grupos HAD (0,96 mm) e HAE (0,55 mm), dos quais 69,79% e 65,45% foram determinados por crescimento esquelético em ambos os grupos, respectivamente.

Nos 1^{os} molares superiores, os maiores deslocamentos totais foram observados no grupo HAD (4,15 mm no elemento 26) e HAE (2,09 mm no elemento 26), e a taxa de proporção de movimentação exclusivamente dentária variou de 8,33% (elemento 16 no grupo TB) até 44,35% (elemento 16 no grupo HAD).

5 DISCUSSÃO

Embora a modificação ortopédica do crescimento constitua a terapêutica ideal para a má oclusão Classe II de Angle e aparelhos propulsores mandibulares sejam rotineiramente utilizados no tratamento de pacientes retrognatas, ainda não há consenso sobre a obtenção de efeitos esqueléticos significativos com estes dispositivos. Embora existam estudos clínicos que demonstrem crescimento mandibular suplementar^{24,97}, outros demonstram que os efeitos são majoritariamente dentários, com mínimo efeito esquelético^{7,25,96}. De acordo com os princípios da Odontologia Baseada em Evidências, a eleição de uma modalidade de tratamento requer uma integração criteriosa da evidência científica disponível relevante para a prática clínica, relacionada à história médica e à condição bucal do paciente, com a experiência clínica do dentista e com as necessidades e preferências do paciente¹³⁶.

Neste contexto, as revisões sistemáticas e metanálises têm um desenho de estudo apropriado para fornecer um nível de evidência elevado, especialmente em temas controversos⁷². Uma revisão sistemática coleta e sintetiza todas as evidências científicas sobre um tópico específico, com critérios restritos de inclusão e exclusão de estudos com desenho adequado, como ensaios clínicos randomizados e controlados⁷³. Quando possível, as revisões sistemáticas são integradas em metanálises para contrastar e combinar estatisticamente os resultados de diferentes estudos e potencializar o poder estatístico da análise⁷⁴. A análise da literatura científica através desta metodologia pode reduzir a possibilidade de erros sistemáticos⁷⁵. No entanto, deve-se considerar que a validade dos resultados de revisões sistemáticas e metanálises pode ser influenciada por falhas metodológicas durante o processo de revisão ou pela baixa qualidade metodológica dos estudos individuais incluídos⁷⁶.

Em 2010, estimou-se que cerca de 11 revisões sistemáticas foram publicadas diariamente⁷⁷. É possível encontrar diferentes revisões sistemáticas sobre o mesmo tópico, conduzidas com objetivos e metodologias diferentes, com resultados conflitantes, como ocorre com a análise dos efeitos de propulsores mandibulares no tratamento da má oclusão Classe II de Angle⁷⁸.

Estes resultados controversos ficaram evidentes na revisão sistemática de D'Antò et al.²³ (2015), que avaliou a qualidade de todas as revisões sistemáticas e metanálises que enfocaram os efeitos do tratamento ortopédico funcional de pacientes Classe II em crescimento publicadas até junho de 2014. Foi detectada alguma evidência somente dos seguintes efeitos: redução do *overjet* pela maioria dos aparelhos funcionais ortopédicos

(exceto pelo aparelho extra-oral e pelo aparelho de Herbst tipo *splint*); projeção de incisivos inferiores e retroinclinação dos incisivos superiores (pelo aparelho Twin Block); pequena restrição do crescimento maxilar (pelo Twin Block e pelo aparelho extra-oral); e aumento do comprimento mandibular a curto prazo (pelos aparelhos Twin Block, Fränkel-2, Harvold, Bionator e Schwarz). A maior redução do *overjet* observada nos estudos incluídos foi obtida pelo aparelho Twin Block (de -3,3 a -6,9 mm). Não foi observada evidência de redução do *overjet*, nem restrição maxilar ou aumento do comprimento mandibular com os aparelhos de Herbst. Devido à baixa qualidade da maioria dos estudos clínicos disponíveis e à heterogeneidade das análises cefalométricas utilizadas, concluiu-se que ainda não existiria evidência suficiente para sugerir ou desencorajar o tratamento funcional ortopédico. Estas mesmas críticas em relação à baixa qualidade da maioria dos estudos clínicos disponíveis neste tópico foram repetidas por outras revisões e metanálises.

Como existem diversos tipos de propulsores mandibulares, fixos e removíveis, com ancoragem dentária ou esquelética, foram detectados diversos tipos de enfoque das revisões sistemáticas quanto aos tipos de aparelhos avaliados. A revisão sistemática de Pacha et al.²¹ (2015) analisou a qualidade dos estudos que compararam a eficácia dos aparelhos funcionais fixos aos removíveis no tratamento de pacientes Classe II esqueléticos em crescimento. Dos 989 artigos localizados, somente dois ensaios clínicos randomizados e dois controlados utilizaram parâmetros adequados de seleção de amostra, desenho de estudo e de intervenção. Estes poucos estudos permitiram sugerir que tanto os aparelhos fixos quanto removíveis foram efetivos na redução do *overjet* em crianças, através de uma combinação de mínimos efeitos esqueléticos e dentários no plano sagital. Os aparelhos de Herbst e Twin Block melhoraram a discrepância esquelética anteroposterior, aumentaram o comprimento mandibular e reduziram o *overjet* (4,5 a 5 mm). Estes resultados sobre o aparelho de Herbst foram opostos aos descritos por D'Antò et al.²³. Foi observada uma heterogeneidade na metodologia utilizada entre os estudos quanto ao tempo de tratamento, às análises cefalométricas utilizadas e às características etárias e de maturação esqueléticas da amostra. Foi destacado que há pouca evidência sobre a eficácia dos aparelhos funcionais quanto aos efeitos esqueléticos, dentários, nos tecidos moles e na percepção dos pacientes submetidos a estas terapias.

Um enfoque restrito à análise dos efeitos dos aparelhos funcionais removíveis foi dado pela metanálise de Koretsi et al.⁹⁶, que demonstrou que há evidência de que estes dispositivos são eficazes em corrigir a má oclusão de Classe II a curto prazo, através de mínimos efeitos esqueléticos (restrição do crescimento maxilar e estímulo do crescimento mandibular) e

efeitos mais significativos na região dentoalveolar e no tecido mole. Todavia, dos 17 estudos incluídos, somente 10 especificaram a maturação esquelética dos pacientes, dentre os quais apenas 4 incluíram o pico do surto do crescimento puberal durante o tratamento. Os restantes utilizaram os aparelhos funcionais na fase pré-pico, o que pode ter influenciado os resultados.

Estes resultados contrastaram com os da revisão sistemática de Santamaría-Villegas et al.⁹⁷ (2017), que demonstrou que diversos aparelhos funcionais removíveis (*Sander Bite Jumping*, Twin Block, Bionator tipo II, Ativador Harvold e Frankel) foram eficazes em aumentar o comprimento mandibular de forma significativa. Foram incluídos somente cinco ensaios clínicos randomizados, que utilizaram as medidas cefalométricas Condílio-Gnátio (Co-Gn) e Condílio-Pogônio (Co-Po), para reduzir o potencial risco de viés de medição por referências anatômicas distintas. No entanto, o intervalo de idade dos participantes incluídos nesta metanálise foi amplo (de 6 a 18 anos) e os resultados podem ter sido afetados pelo crescimento normal dos indivíduos incluídos.

Quanto à evidência disponível sobre os efeitos dos aparelhos funcionais fixos no tratamento da Classe II, a metanálise de Zymperdikas et al.²⁵ (2016) concluiu que estes dispositivos parecem ser efetivos a curto prazo, com efeitos esqueléticos mínimos e predominantemente dentoalveolares, com projeção de incisivos inferiores e perda de ancoragem inferior e melhora do perfil mole.²⁵ Todavia, o estágio do surto de crescimento puberal influenciou os efeitos: nas fases pré-pico e pico, os resultados esqueléticos foram mais pronunciados; na fase pós-pico, os efeitos foram predominantemente dentoalveolares.

Dentre os aparelhos funcionais fixos, o mais utilizado é o aparelho de Herbst, principalmente na Alemanha e nos EUA. Em 2015, a revisão sistemática de Yang et al.²⁴ enfocou exclusivamente os efeitos do uso do aparelho de Herbst para o tratamento de pacientes portadores de má oclusão de Classe II, 1ª divisão. Dos 654 artigos localizados, apenas 12 ensaios clínicos controlados prospectivos com adolescentes foram incluídos. Com base na evidência disponível, foi demonstrado que o aparelho de Herbst seria eficaz na melhora da discrepância dentária sagital e das posições intermaxilares de pacientes Classe II no período de tratamento ativo, o que contrastou com os resultados da revisão sistemática de D'Antò et al.²³ Todavia, devido ao baixo nível de qualidade de evidência fornecida pelos estudos e viés das publicações, os resultados devem ser interpretados com cautela. As limitações desta metanálise foram: deficiência de ensaios clínicos randomizados, a ausência de resultados de tratamento a longo prazo e a ausência do controle das magnificações cefalométricas.

Como os estudos demonstraram uma predominância de efeitos dentários, a ancoragem esquelética foi associada aos aparelhos funcionais fixos numa tentativa de potencializar as mudanças esqueléticas e reduzir a projeção dos incisivos inferiores e perda de ancoragem do arco inferior. Todavia, a metanálise de Elkordy et al.⁷ (2015) demonstrou que devido à baixa qualidade dos estudos disponíveis, a evidência sobre os efeitos do uso da ancoragem esquelética associada aos aparelhos funcionais fixos ainda é fraca e foi inconclusiva. Os poucos estudos disponíveis sugerem que a associação da ancoragem esquelética não induziu alterações esqueléticas adicionais na correção da Classe II, porém reduziu a projeção de incisivos inferiores e aumentou a retroinclinação dos incisivos superiores. Todavia, esta metanálise apresentou duas importantes deficiências: combinou dados 2D de estudos com cefalogramas laterais com dados 3D de tomografias de feixe cônico, com alto risco de erros na análise de dados; e omitiu informações sobre o estágio de maturação esquelética dos pacientes tratados nos estudos incluídos.

Todas as revisões sistemáticas citadas e respectivos estudos incluídos apresentam uma importante limitação em comum: foram embasadas em dados cefalométricos obtidos a partir de telerradiografias em norma lateral, que apresentam diversas deficiências, como distorções, sobreposições de estruturas anatômicas que dificultam a visualização de pontos anatômicos importantes e baixa acurácia na coleta de dados dos traçados⁶⁵. A localização incorreta dos pontos anatômicos é considerada a maior fonte de erros cefalométricos, o que impacta diretamente nos estudos que envolvem os resultados esqueléticos de propulsores mandibulares. O ponto Condílio, frequentemente utilizado para aferir o comprimento mandibular, possui difícil visualização em telerradiografia de perfil, devido às sobreposições de estruturas anatômicas locais. A análise da posição anteroposterior da maxila é determinada pelo ponto A, o qual incorpora bastante variabilidade entre os examinadores, o que destaca outra limitação das análises cefalométricas: a necessidade de marcação de pontos determinados por um examinador. Outra limitação importante na comparação dos resultados dos estudos foi a heterogeneidade das medidas cefalométricas utilizadas: as medidas mais comuns incluíram a discrepância esquelética anteroposterior, altura facial inferior e *overjet*. Para suplantar estas limitações, tem sido intensificado o diagnóstico tridimensional através da tomografia computadorizada de feixe-cônico na Ortodontia²⁷.

Outra inconsistência observada entre os estudos ocorreu quanto aos métodos de intervenção: enquanto alguns estudos avaliaram a fase de tratamento funcional de forma isolada, outros utilizaram aparelhos fixos com bráquetes pré-ajustados antes ou depois da fase do aparelho funcional, dificultando comparações diretas. Outro fator foi a deficiência na

padronização do tempo de tratamento e acompanhamento: foi observada uma variação de 5 a 30 meses entre os estudos. Embora tenha sido relatado que o tempo de tratamento com aparelho funcional foi menor com os dispositivos fixos, a duração do tratamento foi afetada pelo término do estudo. Enquanto alguns estudos propuseram encerrar a terapia imediatamente após a correção do *overjet*, outros defenderam atingir a sobrecorreção ou um tempo mais prolongado de uso do aparelho para preservar os ganhos favoráveis obtidos. Outra crítica importante à maioria dos ensaios clínicos e revisões sistemáticas disponíveis foi a deficiência nos critérios de seleção dos pacientes quanto à maturação esquelética. Os estudos que incluíram o pico do surto de crescimento puberal no tempo de tratamento, demonstraram um alongamento mandibular suplementar (> 2 mm) com relevância clínica. Este dado reforça a hipótese de que o crescimento mandibular suplementar a curto prazo parece ser significativamente maior quando o tratamento funcional é realizado no surto de crescimento puberal.

Desta forma, ficou clara a necessidade de novos ensaios clínicos com desenho metodológico adequado para analisar de forma confiável os efeitos obtidos pelos propulsores mandibulares em grupos mais homogêneos de pacientes. O presente estudo foi desenhado de acordo com estes parâmetros: um ensaio clínico randomizado que utilizou metodologia 3D para comparar os efeitos esqueléticos e dentários associados ao tratamento com propulsores mandibulares removível, fixo e fixo associado à ancoragem esquelética de uma amostra homogênea de pacientes Classe II de Angle 1ª divisão, no pico do surto do crescimento puberal, no mesmo período de tempo. Esta comparação foi efetuada para analisar possíveis diferenças quanto à eficácia do tratamento da má oclusão de Classe II de Angle e também para verificar qual a proporção entre os efeitos esqueléticos e dentários obtidos.

5.1 Do Material e Método

5.1.1 Tipo de estudo e distribuição dos grupos

O desenho de um estudo consiste na forma pela qual são comparados indivíduos com determinadas características, com a finalidade de avaliar a associação entre um fator de risco e uma doença ou entre um tratamento e seus efeitos na enfermidade avaliada. Varia em função de três fatores principais: (1) a manipulação (observacional ou de intervenção) e alocação da

exposição pelo pesquisador (aleatória ou de conveniência); (2) a seleção dos indivíduos participantes (técnicas de amostragem, critérios de exclusão e inclusão) e; (3) métodos de observação da população de estudo (transversal e longitudinal)¹³⁷.

Nos estudos de intervenção, o pesquisador manipula o fator de exposição, induzindo uma modificação na saúde da população tratada e aloca os participantes nos diferentes grupos. Se esta distribuição for aleatória, o estudo é considerado experimental. Os estudos experimentais são sempre analíticos, longitudinais e prospectivos. Existem três tipos de estudos experimentais: o ensaio clínico (intervenção individualizada de nível secundário e terciário), o ensaio de campo (intervenção individualizada em pessoas livres da doença estudada) e o ensaio de intervenção comunitária (prevenção primária no nível coletivo)¹³⁷.

O presente estudo foi um ensaio clínico randomizado: um estudo experimental (prospectivo e longitudinal) com pacientes que tem por objetivo avaliar tratamentos de alterações ou doenças que utiliza alocação aleatória dos indivíduos nos grupos de intervenção. Esta alocação deve ocorrer de forma que antes de iniciar a intervenção, os grupos sejam comparáveis entre si. A alocação aleatória é considerada a ideal, porque evita os vieses de seleção e de confundimento, ao dispersá-los igualmente entre os grupos analisados. Ambos os fatores foram cumpridos neste estudo, pois os pacientes seguiram rígidos critérios de seleção e foram pareados quanto a idade, gênero, características esqueléticas e dentárias, e maturação esquelética antes de iniciar o tratamento (indicado pelos resultados do item 4.3). No presente estudo, foi utilizada a alocação em blocos por lista randomizada, implementada sem intervenção dos pesquisadores.

Ensaio clínico randomizado, quando apropriadamente desenhados, conduzidos e reportados, representam o padrão-ouro na avaliação das intervenções de saúde¹³⁸. São os estudos mais rigorosos para determinar se existe uma relação causa-efeito entre tratamento e resultado, e também para avaliar a relação custo-benefício de um tratamento. Por isso, este tipo de estudo é tão destacado e valorizado pelas revisões sistemáticas e metanálises. Os critérios rigorosos deste desenho de estudo reduzem a possibilidade de vieses e tornam os resultados mais confiáveis. Nos ensaios clínicos randomizados, um tratamento ou procedimento pode ser comparado a nenhum tratamento, a uma terapêutica semelhante, com um placebo ou a uma norma preexistente de acompanhamento. No presente estudo, foram comparados três terapêuticas semelhantes (propulsores mandibulares), com diferenças quanto à fixação aos dentes (removível e fixo), o tempo de uso (os fixos envolvem garantia de tempo de uso integral, o removível dependeu da cooperação do paciente, embora fosse solicitado o uso em tempo integral) e tipo de ancoragem (dentária ou esquelética).

Embora o ideal no ensaio clínico seja o mascaramento (ou cegamento) dos profissionais que aplicam os tratamentos, dos avaliadores e dos pacientes, no qual nenhum envolvido saiba qual o tratamento administrado, para prevenir o viés de informação, no presente estudo isto não foi possível, porque os dispositivos foram instalados em boca e todos os envolvidos estavam cientes da terapia utilizada. O cegamento utilizado neste estudo foi efetuado somente para a análise de resultados.

Os estudos experimentais devem ser delineados para avaliar a eficácia ou a efetividade das intervenções testadas e ao final, deve avaliar as frequências de cura ou sucesso entre os grupos de estudo. No presente estudo, foi analisada a eficácia das três modalidades de tratamento da má oclusão de Classe II de Angle, 1ª divisão, quanto a parâmetros de correção de sobressaliência (overjet) e da relação molar, que permitiram avaliar as frequências de sucesso e insucesso dos grupos.

Os estudos experimentais apresentam três restrições: (1) só são aceitáveis do ponto de vista ético quando a adesão ao protocolo do estudo não entra em conflito com os interesses dos participantes, assegurando que nenhum deles poderia receber melhor tratamento ou prevenção do que o fornecido pelo estudo; (2) todas as alternativas de tratamento avaliadas devem ser igualmente aceitáveis e embasadas em evidência científica e; (3) impossibilidade de negar tratamento ou prevenção aos participantes do estudo, se houver uma terapia efetiva conhecida¹³⁷. Para seguir estes parâmetros, foram selecionados os dois tipos de propulsores mandibulares removível e fixo que possuíam maior suporte de evidência científica disponível: o aparelho removível Twin Block e o fixo, de Herbst. Para isolar somente o efeito da ancoragem esquelética no terceiro grupo, foi utilizado exatamente o mesmo propulsor fixo de Herbst do segundo grupo, associado aos mini-implantes.

Também devido a estas restrições descritas, não foi possível obter um grupo controle para este estudo, porque não seria aceitável eticamente efetuar duas tomografias (que envolvem uma baixa dose de radiação) e negar o tratamento da má oclusão Classe II de Angle a pacientes no pico do surto de crescimento puberal. Logo, foram comparados três grupos de tratamento, para comparar a eficácia das terapias. Devido à ausência do grupo controle, não foi possível comparar o crescimento dos grupos tratados ao crescimento normal de indivíduos sem intervenção. Todavia, os dados dos estudos clássicos^{53,55,66} sobre o padrão de crescimento craniofacial normal e de comparação de crescimento entre pacientes Classe I e II⁵³⁻⁶² forneceram informação suficiente: o padrão de crescimento maxilar (para baixo e para frente) é similar entre pacientes Classe I e Classe II; e a má oclusão de Classe II não se autocorrigue

com o crescimento. Como neste estudo a má oclusão foi corrigida e foi observada restrição do crescimento maxilar anteroposterior, infere-se que foram resultantes do tratamento.

Desde 1996, a declaração *Consolidated Standards of Reporting Trials (CONSORT)*¹²⁵ estabeleceu um consenso sobre os critérios de divulgação dos ensaios clínicos em periódicos científicos, as quais foram seguidas no presente estudo. Como requerido, o estudo foi registrado no site de registro mundial de ensaios clínicos ClinicalTrials.gov antes do início da coleta de dados. Outra exigência consiste no detalhamento das perdas de seguimento, as quais foram especificadas no item 4.1. De fato, tanto na experiência clínica quanto nos dados reportados na literatura, existe um problema quanto à cooperação de pacientes em qualquer terapia, e a dos propulsores mandibulares não é exceção. No presente estudo, foi observada uma diferença da perda de seguimento entre os grupos: no grupo TB, dos 13 pacientes, quatro (30,8%) não colaboraram e deixaram de comparecer às consultas; no grupo HAD, dos 11 pacientes, somente 01 (9,1%) não se adaptou ao desconforto causado pelas restrições de movimento características do propulsor mandibular fixo, solicitou remoção e desistiu do tratamento; e no grupo HAE, dos 10 pacientes, três (30%) desistiram logo antes de iniciar o tratamento, quando tornaram-se cientes de que a terapia utilizada requeria instalação de mini-implantes e recusaram o procedimento. O mesmo padrão de desistência de tratamento com o aparelho Twin Block foi relatado pelo estudo 3D de Elfeky et al³⁹, no qual 4 pacientes desistiram do tratamento e pararam de comparecer às consultas. Estes dados são úteis para a prática clínica, pois refletem as percepções dos pacientes quanto ao desconforto e grau de aceitação das terapias. Neste caso, a terapia que foi melhor aceita, dentre os três grupos, foi o aparelho de Herbst, sem mini-implantes.

Nos ensaios clínicos, é obrigatória a realização de análises intermediárias (ou interinas) ao longo do desenvolvimento do estudo experimental, para monitorar a performance das equipes de trabalho envolvidas, a qualidade dos dados coletados e os efeitos das intervenções sob estudo. O presente estudo constitui uma análise interina do ensaio clínico randomizado em andamento, e por isso, analisou uma amostra pequena.

No ensaio clínico, os dados podem ser analisados de duas formas: Análise de Intenção de Tratamento (ITT), que analisa todos os envolvidos na alocação de tratamento na constituição dos grupos; ou segundo a Análise Por Protocolo (PP)¹³⁹, que inclui somente o tratamento efetivamente recebido. No presente estudo, que foi uma análise interina, foi utilizada a análise por protocolo, que avaliou apenas os indivíduos que completaram o tratamento. Como o estudo ainda não foi concluído, a imputação de dados para os que não concluíram o tratamento seria inadequada. Isso implica que os dados do presente trabalho não

são generalizáveis, e têm validade apenas para a amostra estudada. Quando são avaliados somente os pacientes que completaram o tratamento, enfatiza-se a avaliação dos mecanismos pelos quais os efeitos de um tratamento são efetuados, o que ocorreu neste estudo.

5.1.2 Plano de amostragem

O tamanho da amostra de pacientes portadores de má oclusão Classe II, 1ª divisão foi previamente calculado para que o estudo obtivesse poder suficiente para detectar diferenças estatisticamente significantes e evitar os erros Tipo I e II.

As unidades de amostragem foram três escolas públicas e a Clínica de Ortodontia da Faculdade de Odontologia da UERJ, todas situadas na cidade do Rio de Janeiro. Na tentativa de atingir o tamanho amostral calculado, foram examinados todos os estudantes das três escolas públicas (que possuem localização próxima à Clínica de Ortodontia da FOUERJ) que apresentavam a idade adequada dos critérios de inclusão de (10 a 14 anos) durante o período de coleta de dados e todos os pacientes que buscaram tratamento na Clínica. No total, foram examinados 1093 pacientes.

Esta amostra consecutiva recrutou cada indivíduo que preencheu os critérios de inclusão e exclusão, dentro do intervalo de tempo da triagem. Esta é a melhor e mais utilizada técnica de amostragem não-probabilística.

Todavia, devido aos rígidos critérios de seleção da amostra, necessários para suplantar as deficiências observadas nos estudos prévios, o tamanho amostral obtido, de 34 pacientes, foi pequeno e ainda sofreu perdas de seguimento, durante o acompanhamento prospectivo longitudinal durante 12 meses. Ao final, um total de vinte e seis pacientes concluíram o tratamento, distribuídos nos grupos TB (N = 9), HAD (N = 10) e HAE (N = 7).

Como o número ideal ainda não foi atingido, as conclusões deste estudo não podem ser generalizadas para a população total, mas contribuem para compreender as diferenças entre os efeitos esqueléticos e dentários obtidos entre as três modalidades de propulsores mandibulares, avaliadas em uma amostra de pacientes pareada quanto a gênero, idade, maturação esquelética e características cefalométricas esqueléticas e dentárias.

Todavia, o tamanho amostral obtido é similar aos dos poucos estudos disponíveis que também utilizaram metodologia 3D para avaliar os efeitos esqueléticos e dentários do aparelho de Herbst. O estudo mais antigo disponível, de LeCornu³⁸ (2013) comparou 7 pacientes tratados com aparelho de Herbst a um grupo controle de 7 pacientes tratados com elásticos intermaxilares, pareados quanto à idade, ANB e maturação esquelética. O trabalho

mais recente, de Atresh et al.³⁶ (2018) comparou os resultados do tratamento com aparelho de Herbst (durante 7,6 meses) de 8 pacientes braquifaciais e 8 indivíduos mesofaciais a um grupo controle de 11 indivíduos tratados com elásticos intermaxilares. Todavia, no estudo de Atresh³⁶ a distribuição de gênero foi desigual: o grupo braquifacial incluiu 4 meninas e 4 meninos e o grupo mesofacial analisou 7 meninas e 1 menino.

A exceção foi o tamanho da amostra tratada com aparelho de Herbst avaliada pelo estudo de Souki et al.³⁷ (2017), constituída por 25 pacientes pareados quanto a gênero, idade e estágio de crescimento puberal, que foram tratados por 8 meses. Todavia, esta amostra apresenta a limitação de ter sido coletada de forma retrospectiva, e não prospectiva, como no presente estudo. O estudo 3D de Cheib et al.¹²⁴, que também analisou 25 pacientes, não entrou neste parâmetro de comparação, porque não analisou os resultados de tratamento, somente comparou tomografias obtidas pré-tratamento e imediatamente após a instalação do aparelho de Herbst.

Quanto aos estudos 3D que avaliaram os efeitos do aparelho Twin Block, também foram detectadas diferenças quanto ao tamanho amostral. O ensaio clínico controlado de Elfeky et al.³⁹ (2018) comparou os efeitos do tratamento de 22 meninas a um grupo controle de 18 meninas não tratadas, para descartar o efeito do gênero. Todavia, apesar do maior tamanho amostral, este estudo não utilizou uma metodologia de análise 3D tão sofisticada: não efetuou orientação de cabeça dos pacientes nas tomografias, nem orientação de modelos nos planos cartesianos, nem modelos 3D individualizados detalhados dos dentes. Para avaliação dos resultados do Twin Block, utilizou apenas a marcação de pontos anatômicos por um examinador, nas tomografias pré e pós tratamento. O estudo retrospectivo de Yildirim et al.⁴⁰ também analisou uma amostra mais ampla de pacientes tratados com Twin Block: 16 meninos e 14 meninas. Todavia, também utilizou uma metodologia mais simples: efetuou análise cefalométrica 2D nas tomografias pré e pós tratamento e a única comparação 3D analisou volume e crescimento condilar.

Todos os estudos 3D descritos selecionaram pacientes próximos ao pico do surto de crescimento puberal, e neste aspecto, são comparáveis ao do presente estudo. Uma diferença metodológica entre os trabalhos foi o tempo de tratamento: durante 12 meses no presente estudo, similar ao de LeCornu et al.³⁸ (11,4 meses), e mais longo do que os estudos de Yildirim et al.⁴⁰ (7,4 meses), Atresh et al.³⁶ (7,6 meses), de Souki et al.³⁷ (8 meses), de Elfeky et al.³⁹ (9,4 meses). Este fator pode ter gerado possíveis diferenças entre os resultados dos estudos. As revisões sistemáticas indicam que são necessários estudos com maior tempo de

acompanhamento longitudinal, pois há deficiência de evidência de elevada qualidade sobre os resultados a longo prazo dos aparelhos funcionais.

5.1.3 Tomografias utilizadas para a avaliação pré e pós tratamento

Para efetuar a análise 3D dos efeitos esqueléticos e dentários dos pacientes tratados, foi necessário obter duas tomografias computadorizadas (pré e pós tratamento). Como as tomografias computadorizadas de feixe cônico envolvem a exposição do paciente a uma baixa dose de radiação (similar à do conjunto de radiografias que compunham a documentação ortodôntica tradicional), este procedimento foi eticamente aceitável, como determinado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário Pedro Ernesto. Todos os pacientes desta amostra realizaram exame CBCT no mesmo tomógrafo e mesmos parâmetros de exame. Todos os estudos 3D prévios³⁶⁻⁴⁰ que analisaram efeitos dos propulsores mandibulares utilizaram os mesmos tipos de exame (TCFC) e padronização de obtenção das imagens.

Todos os pacientes foram treinados a ocluir corretamente em máxima intercuspidação habitual durante a tomada do exame, e os arquivos das tomografias foram checados pela equipe de pesquisadores. Não foram utilizados *jig* de posicionamento mandibular em relação cêntrica para evitar artefatos de imagens nos exames, especialmente na região dos incisivos, que foram reconstruídos em modelos 3D.

5.1.4 Intervenções efetuadas

Os aparelhos selecionados para tratamento dos três grupos foram os que apresentaram melhor embasamento de evidência científica (apesar da controvérsia entre os estudos), de acordo com os parâmetros ideais estipulados para ensaios clínicos: os aparelhos Twin Block e de Herbst. Foram padronizados: a confecção do aparelho Twin Block, com o mesmo material (resina acrílica, grampos de fio de aço, parafuso expansor) e pelo mesmo protético; a confecção e cimentação dos aparelhos de Herbst dos grupos HAD e HAE (por fundição e soldagem, com o mesmo conjunto de tubos telescópicos e pistões); os mini-implantes utilizados no grupo HAE (mesmas dimensões, mesmo fabricante, instalados sob a mesma técnica); tempo de acompanhamento e intervalo entre as consultas; e uso isolado do aparelho

propulsor mandibular nos três grupos. Estes cuidados foram tomados devido às recomendações estabelecidas pelas revisões sistemáticas²³⁻²⁵, disponíveis sobre o tópico. O tipo de aparelho de Herbst utilizado, de armação metálica fundida, é o que apresenta maior número de unidades de ancoragem (todos os dentes posteriores), e consiste no modelo de Herbst que apresenta maior efeito esquelético, de acordo com a revisão sistemática de Yang et al.²⁴

O gasto financeiro envolvido nos exames tomográficos, na confecção dos aparelhos e nos materiais utilizados foi custeado por bolsas de fomento concedidas à equipe de pesquisadores do estudo pela FAPERJ. Este procedimento foi adotado para que todos os pacientes que apresentassem as características requeridas pudessem ser tratados e recebessem o benefício da correção da má oclusão pela participação no estudo, como estipulado pelos comitês de ética em pesquisa.

Todos os pacientes foram tratados no mesmo local, um centro de atendimento público de ensino de pós-graduação, a clínica de Ortodontia da FOUERJ. Embora monitorados pela mesma equipe de pesquisadores, os atendimentos clínicos foram efetuados por diferentes alunos de pós-graduação, embora todos pertencentes ao mesmo curso, com a mesma formação e tempo de experiência (alunos do segundo ano da Especialização em Ortodontia da FOUERJ). É preciso considerar que estas características do estudo podem ser uma possível fonte de viés, os resultados podem ser diferentes aos obtidos em clínicas particulares, em que os tratamentos são administrados por um único profissional.

5.1.5 Análise 3D das imagens tomográficas

Todos os procedimentos adotados na metodologia de análise 3D do presente estudo foram previamente validados e publicados: (1) construção de modelos 3D; (2) orientação de cabeça nas tomografias; (3) registro automático das tomografias T1 e T2, baseado em *voxel*; (4) orientação dos modelos nos planos cartesianos; (5) criação automática do ponto centroide para cada estrutura anatômica avaliada e; (6) avaliação quantitativa dos deslocamentos dos modelos 3D entre os tempos avaliados.

A construção dos modelos 3D dos incisivos centrais, 1^{os} molares e ossos maxilares foi efetuada no programa ITK-SNAP, devido à sua eficiência e comprovada confiabilidade na segmentação precisa e detalhada de estruturas anatômicas do corpo humano, descritas por Yushkevich et al.¹⁰⁵ (2006). Este programa também foi utilizado nos estudos 3D sobre os

efeitos do aparelho de Herbst publicados por Souki et al.³⁷, Le Cornu et al.³⁸ e Atresh et al.³⁶, além dos estudos de validação de superposição 3D de Cevidanes²⁸⁻³¹. As estruturas anatômicas segmentadas foram selecionadas para avaliar as proporções entre os efeitos esqueléticos e dentários obtidos. Os incisivos centrais e 1^{os} molares dos arcos superior e inferior foram segmentados separadamente de todos os outros elementos dentários porque representaram espacialmente as principais metas do tratamento da má oclusão Classe II: a redução da sobressaliência (acentuada nestes pacientes, com riscos de trauma, avulsão e problemas psicossociais) e a correção da relação molar (de Classe II para Classe I; ou sobrecorreção de Classe II para Classe III). As raízes e coroas foram segmentadas juntas para que o ponto centroide automaticamente calculado representasse o centro geométrico do elemento dentário completo, para analisar o deslocamento de corpo. A avaliação do deslocamento incisal, mais comum nos estudos cefalométricos, indica somente a alteração de inclinação dentária, e não o deslocamento de corpo. Os dados disponíveis sobre a proporção entre efeitos esqueléticos e dentários são predominantemente provenientes de estudos que utilizaram análise cefalométrica 2D. O único estudo 3D prévio que também avaliou as alterações de posicionamento dentário relacionados ao aparelho Twin Block foi publicado por Elfeky et al.³⁹, que utilizou apenas marcação de pontos anatômicos por um examinador e análise cefalométrica das tomografias; não foram construídos modelos 3D detalhados para efetuar esta análise. Os estudos de Souki et al.³⁷, Le Cornu et al.³⁸, Atresh et al.³⁶ e Yildirim et al.⁴⁰ enfocaram exclusivamente o efeito dos pulsos no crescimento mandibular.

A orientação da cabeça nas tomografias T1 foi efetuada porque Ruellas et al.³⁴ (2016) demonstrou que este fator interfere na aferição 3D das mudanças direcionais ocorridas nas estruturas anatômicas avaliadas. Este procedimento permitiu padronizar alterações direcionais para cada paciente, quanto para todos os pacientes da amostra avaliada. No presente estudo, este procedimento foi efetuado no programa Dolphin Imaging[®]. Os estudos 3D que avaliaram aparelho de Herbst de Souki et al.³⁷, Le Cornu et al.³⁸ e Atresh et al.³⁶ utilizaram o programa 3D Slicer, o mesmo que o adotado por Ruellas et al.³⁴. Todavia, o Dolphin Imaging[®] é um programa comercial amplamente utilizado, cuja confiabilidade e acurácia na movimentação de tomografias computadorizadas foram comprovados em cinco estudos^{35,140-143} de validação de planejamento virtual de cirurgia ortognática, que também analisaram fidelidade de deslocamentos de estruturas esqueléticas¹⁴¹⁻¹⁴⁴ e dentárias¹⁴⁰, como no presente estudo. Especificamente, o estudo de Teixeira et al.³⁵ utilizou a mesma ferramenta do Dolphin Imaging[®] para orientar a cabeça nas tomografias dos pacientes adotada pelo presente estudo, e comprovou sua acurácia no planejamento virtual cirúrgico.

O registro rígido das tomografias T2 baseado em *voxel* na base anterior do crânio de T1, foi efetuado com os mesmos parâmetros descritos como ideais para avaliação de pacientes em crescimento por Cevidanes et al.³¹ e utilizado pelos estudos 3D que avaliaram os efeitos do aparelho de Herbst no crescimento mandibular de Souki et al.³⁷, Le Cornu et al.³⁸ e Atresh et al.³⁶. A grande vantagem deste método é que suprime erros de superposição de um examinador: o programa automaticamente compara os dados dos *voxels* e aproxima ao máximo as duas tomografias na região anatômica selecionada. Neste caso, foi utilizada a base anterior do crânio, porque seu crescimento é concluído até os 7 anos de idade³¹. No presente estudo, este procedimento também foi efetuado no programa Dolphin Imaging[®]. Como a tomografia T1 foi submetida à orientação de cabeça, e a tomografia T2 foi registrada em T1, a orientação de cabeça de T1 foi transferida para a T2. Os estudos 3D de Souki et al.³⁷, Le Cornu et al.³⁸ e Atresh et al.³⁶ adotaram o programa 3D Slicer para esta finalidade. Todavia, foram comprovadas a confiabilidade e acurácia do Dolphin Imaging[®] no registro de tomografias computadorizadas^{35,140-143}. O estudo de Teixeira et al.³⁵ utilizou a mesma ferramenta de registro na base do crânio do Dolphin Imaging[®] utilizada pelo presente estudo, e comprovou sua acurácia no deslocamento de estruturas efetuadas pelo planejamento virtual cirúrgico, o qual depende da mesma precisão de análise de movimentação esquelética e dentária requerida por este estudo.

O procedimento de orientação dos modelos 3D nos planos cartesianos demandou a utilização de dois programas: o Dolphin Imaging[®] e o Geomagic Qualify[®]. Como as tomografias pré e pós tratamento foram orientadas e registradas no programa Dolphin Imaging[®], os modelos 3D gerados por segmentação automática neste programa passaram a compartilhar o mesmo sistema de coordenadas. Todavia, as mensurações quantitativas precisas deveriam ser efetuadas nos modelos 3D detalhados (exportados pelo ITK-SNAP) e não nos modelos 3D orientados e registrados gerados pelo Dolphin Imaging[®] (que apresentavam irregularidades de superfície). Por isso, o programa de metrologia Geomagic Qualify[®] foi utilizado para alinhar os modelos 3D gerados pelo ITK-SNAP aos modelos orientados e registrados gerados pelo Dolphin Imaging[®]. Para transferir o sistema de coordenadas originalmente criado no Dolphin Imaging[®], foi criado um modelo 3D do tecido mole de T1, o qual sofreu recortes padronizados nos planos axial, coronal e sagital: o modelo de transferência de coordenadas (MTC). No Geomagic Qualify[®], este MTC permitiu criar um sistema de coordenadas cartesianas individualizado para cada paciente, de forma padronizada para todos. Esta metodologia foi testada, validada e previamente utilizada no estudo de Teixeira et al.³⁵, que comprovou sua acurácia na avaliação dos deslocamentos envolvidos no

planejamento virtual cirúrgico, o qual depende da mesma precisão de análise de movimentação esquelética e dentária requerida pelo presente estudo. Os estudos 3D de Souki et al.³⁷ e Atresh et al.³⁶ adotaram o programa 3D Slicer para a orientação dos modelos 3D nos planos cartesianos. Todavia, os resultados do presente estudo são plenamente comparáveis a ambos estudos prévios^{36,37}, porque o fator relevante foi a obtenção de análises consistentes devido à mensuração dos deslocamentos nos planos cartesianos.

A seguir, a criação automática do ponto centroide para representar a posição espacial de cada estrutura anatômica avaliada foi efetuada no programa profissional de metrologia Geomagic Qualify[®]. Esta metodologia foi adotada para suplantiar uma das deficiências relatadas pelas revisões sistemáticas sobre os efeitos dos propulsores mandibulares: a localização incorreta dos pontos anatômicos foi considerada a maior fonte de erros cefalométricos^{65,99}. Então, ao utilizar a marcação de pontos nas técnicas 3D, há a possibilidade de transferir esta fonte de erro para este tipo de análise. Mesmo que cada estudo teste a reprodutibilidade intra e inter-examinador, se fossem comparados todos os examinadores das centenas de estudos cefalométricos disponíveis, possivelmente a concordância entre todos não seria ideal. O ponto centroide foi selecionado pela possibilidade de determinação automática através do cálculo preciso de um programa de metrologia industrial com confiabilidade e precisão comprovados. Como os modelos de malha de superfície 3D no formato .STL foram compostos por milhares de triângulos, o programa calculou o centroide de todos estes triângulos da malha e determinou uma posição espacial média resultante. Esta posição espacial final determinou o ponto centroide (que corresponde ao centro geométrico) de cada modelo 3D avaliado. Para garantir a homogeneidade do cálculo, os triângulos das malhas de superfícies foram homogeneizados quanto a tamanho e número, e as estruturas esqueléticas foram recortadas com os mesmos limites. Esta metodologia de confecção do ponto centroide foi utilizada por Teixeira et al.³⁵ que comprovou sua acurácia na avaliação dos deslocamentos envolvidos no planejamento virtual cirúrgico, que requer a mesma precisão de análise de movimentação esquelética e dentária do presente estudo. Os estudos 3D de Souki et al.³⁷ e Atresh et al.³⁶ utilizaram pontos anatômicos determinados por um examinador no programa 3D Slicer e comprovaram excelente reprodutibilidade neste procedimento.

A avaliação quantitativa dos deslocamentos dos centroides dos modelos 3D nas coordenadas x, y e z entre os tempos avaliados no presente estudo foi efetuada no programa Geomagic Qualify, com a mesma metodologia utilizada por Teixeira et al.³⁵. Os estudos 3D de Souki et al.³⁷ e Atresh et al.³⁶ utilizaram o programa 3D Slicer para avaliar os deslocamentos

quantitativos entre as estruturas anatômicas em um sistema de coordenadas cartesianas. O trabalho de LeCornu et al.³⁸ não efetuou orientação de cabeça nas tomografias, nem criou um sistema de coordenadas cartesianas, e a avaliação qualitativa das alterações esqueléticas maxilares foi efetuada através de sobreposições semitransparentes, da medição dos pontos mais próximos nos mapas coloridos no programa *Vectra Analysis Model* e da análise cefalométrica das TCFCs. Os estudos 3D de Yildirim et al.⁴⁰ e de Elfeky et al.³⁹ utilizaram os programas *SimPlant Master Crystal v13* e *Anatomage versão 5.01* para calcular o deslocamento das estruturas através da marcação de pontos anatômicos por um examinador; não orientaram a cabeça nas tomografias e nem criaram um sistema de coordenadas cartesianas. Apesar destas diferenças metodológicas, todos os estudos citados geraram valores lineares em milímetros que representaram o deslocamento das estruturas esqueléticas e/ou dentários, o que permite uma comparação de resultados com o presente estudo.

5.1.6 Calibração

Para assegurar que a metodologia utilizada na análise 3D da comparação dos dados pré e pós tratamento e que os traçados cefalométricos efetuados no *Dolphin Imaging* tivessem confiabilidade e reprodutibilidade adequadas foram adotados três procedimentos.

Em primeiro lugar, somente uma única examinadora efetuou todos os traçados cefalométricos das tomografias e outra única examinadora realizou a análise 3D de todas as tomografias dos pacientes. Não foram utilizados mais de um examinador para cada análise, por isso não foi necessária a avaliação de reprodutibilidade interexaminador, comum em estudos similares, como o de Souki et al.³⁷.

Em segundo lugar, ambas examinadoras foram mascaradas (i.e. sofreram cegamento) quanto à identificação dos pacientes e grupos de tratamento durante a etapa das análises, de acordo com o proposto pelo *CONSORT STATEMENT*¹²⁵ para ensaios clínicos e com os estudos prévios de validação de Cevidanes²⁵⁻³².

Em terceiro lugar, ambas examinadoras somente iniciaram as análises efetivamente utilizadas da amostra após a obtenção de reprodutibilidade intra-examinador adequada, quando foi obtido um índice de correlação intraclassa acima de 0,90, para assegurar que o estudo obtivesse resultados confiáveis. A calibração de uma examinadora foi efetuada no

módulo de traçados cefalométricos do Dolphin Imaging®, para verificar se os dados cefalométricos calculados apresentaram reprodutibilidade adequada após 15 dias.

A calibração da segunda examinadora foi realizada repetindo todas as etapas de metodologia 3D com intervalo de 15 dias, comparando-se a reprodutibilidade da magnitude dos deslocamentos dos centroides no programa Geomagic Qualify®. Esta calibração foi realizada de acordo com a recomendação da revisão sistemática de Gaber et al.¹⁴⁴, que analisou métodos de avaliação tridimensional de planejamento ortocirúrgico baseados em pontos com coordenadas x, y e z, similares aos utilizados neste estudo.

5.1.7 Análise estatística

A escolha dos testes estatísticos foi influenciada pelo tamanho da amostra. Como ao final do período de 12 meses de tratamento, foram obtidos dados de 26 pacientes, o tamanho amostral total tornou-se inferior a 30, e cada grupo possuiu de 7 a 10 pacientes.

Existem dois pré-requisitos para a utilização de testes paramétricos: (1) $n \geq 30$ e; (2) uma distribuição normal dos dados da amostra, em uma curva gaussiana de forma conhecida, na qual o teorema do limite central é válido, com parâmetros de média e desvio-padrão. Este é um teorema fundamental de probabilidade e estatísticas, que descreve a distribuição da média de uma amostra aleatória de uma população com variância finita. À medida que o tamanho amostral aumenta, a distribuição das médias tende a uma distribuição aproximadamente normal. Todos os métodos paramétricos somente são válidos se a distribuição dos dados for normal.¹⁴⁴

Quando o tamanho amostral é pequeno, o teste de normalidade pode não ser confiável, nem verificado satisfatoriamente. Como a forma da distribuição de dados não é conhecida, o teorema central do limite não é aplicável. Neste caso, os métodos estatísticos não paramétricos (ou de distribuição livre), que não assumem a forma da curva de distribuição, devem ser utilizados para garantir mais generalidade aos resultados, pois não fazem restrição aos dados¹³⁷.

Se uma amostra não apresentar uma distribuição normal (ou se esta distribuição não puder ser verificada satisfatoriamente, se for pequena) e for utilizado um teste paramétrico, isto pode comprometer a análise no sentido de fornecer um erro no valor de significância estatística: geralmente, o p-valor é menor do que o devido. Neste caso, seriam detectadas diferenças estatísticas que não existiriam se fossem aplicados testes não-paramétricos¹³⁷.

Por outro lado, se os dados apresentarem uma distribuição normal e forem utilizados testes não-paramétricos, não haveria erro no p-valor. A única consequência negativa seria uma perda de poder em relação ao teste paramétrico equivalente, a qual poderia ser compensada, se possível, por uma amostra maior¹³⁷.

Um outro exemplo de diferença entre os testes paramétricos e não paramétricos são as suas principais medidas de tendência central: a média e a mediana. A média aritmética consiste na soma dos valores dividida pelo total do número de valores, e está no centro de uma curva gaussiana de normalidade. A mediana é uma medida de centro de um conjunto de dados (de curva desconhecida), que divide esse conjunto em duas partes de igual número de observações: 50% dos valores estão acima e 50% abaixo dela. Como a mediana é dada pelo valor central, não sofre a influência dos valores extremos ou fora do comum. Já a introdução de um valor fora do comum produz um deslocamento da média na direção deste valor. Logo, a média aritmética é muito sensível à presença de valores extremos, enquanto a mediana não. Pode-se afirmar que a mediana é mais robusta do que a média e deve-se preferir a mediana como medida sintetizadora quando a distribuição de valores é assimétrica. Em distribuições simétricas, a média e mediana são iguais.¹³⁷

Nos estudos 3D prévios³⁴⁻⁴⁰, existe uma predominância de utilização de testes paramétricos, porque a teoria adjacente a estes procedimentos é mais desenvolvida e permite a análise e a interpretação de investigações mais complexas. Todavia, no presente estudo, para evitar que os valores de significância estatística fossem superestimados, e para que as possíveis oscilações de resultados entre os pacientes (pela variabilidade biológica normal) influenciassem de forma correta as medidas de tendência central, foram utilizados testes não paramétricos, e as medidas de tendência central adotadas foram as medianas e variâncias.

5.2 Dos Resultados

A análise dos resultados deste estudo foi efetuada através da comparação das diferenças do posicionamento dos centroides de cada estrutura entre os dois tempos (pré e pós tratamento). O posicionamento de cada ponto centroide foi decomposto nas coordenadas cartesianas do espaço: X, Y e Z. A análise de deslocamento de estruturas anatômicas por decomposição de pontos marcados manualmente por um examinador nas três coordenadas cartesianas foi inicialmente utilizada em estudos de validação de planejamento ortocirúrgico¹⁴⁶⁻¹⁴⁹, desde 2012. Posteriormente, a partir de 2016, esta análise foi utilizada nos

estudos 3D ortodônticos sobre o uso de um sistema de coordenadas comum de Ruellas et al.³⁴, de avaliação dos efeitos do aparelho de Herbst de Souki et al.³⁷, Atresh et al.³⁶ e Cheib et al.¹²⁴ e na análise das alterações condilares causadas pelo aparelho Twin Block de Yildirim et al.⁴⁰

A decomposição do ponto centroide nas coordenadas cartesianas 3 eixos foi efetuada previamente somente nos estudos de avaliação de acurácia de planejamento cirúrgico virtual de Hsu et al.¹⁵⁰ e Teixeira et al.³⁵. De acordo com Gaber¹⁴⁴, essa decomposição nas coordenadas x, y e z fornece dados de avaliação 3D mais precisos do que outros métodos.

5.2.1 Resultados dos deslocamentos das estruturas esqueléticas e dentárias do aparelho de Twin Block

No presente estudo, a principal alteração detectada nos pacientes tratados com o aparelho Twin Block foi uma diferença significativa no crescimento vertical da maxila ($1,51 \pm 3,47$ mm) e da mandíbula, refletido pela posição do mento ($3,77 \pm 3,93$ mm) e dos côndilos direito ($3,88 \pm 4,60$ mm) e esquerdo ($3,62 \pm 4,84$ mm). De forma similar, o estudo 3D de Elfeky et al.³⁹ detectou um aumento da altura facial posterior e dos côndilos (de 1,10 a 1,59 mm) em meninas tratadas com Twin Block por 9 meses.

No sentido anteroposterior, a contribuição para a correção da má oclusão Classe II ocorreu na restrição do crescimento maxilar ($-0,25 \pm 0,66$ mm), que pode ser justificada pela força recíproca distal exercida na maxila (efeito extraoral) pelo aparelho, e corroborou os achados dos estudos 3D de Elfeky et al.³⁹ e de Yildirim et al.⁴⁰, e da revisão sistemática 2D de D'Antò et al.²³.

O deslocamento anteroposterior do mento ($+1,24 \pm 3,36$ mm) não foi significativo; todavia, a variância deste deslocamento do mento demonstra que houve variabilidade considerável entre os pacientes tratados, a qual pode ser devido a diferentes padrões de crescimento ou de cooperação no uso do aparelho removível. Este achado diferiu dos obtidos pelos estudos 3D de Elfeky et al.³⁹ e de Yildirim et al.⁴⁰, que detectaram um expressivo aumento no comprimento mandibular, de aproximadamente 3 mm, após o tratamento com Twin Block. Todavia, ambos os estudos utilizaram marcação manual de pontos anatômicos para avaliar estas alterações por análise cefalométrica 3D, não efetuaram orientação de cabeça nem análise de dados nos planos cartesianos, o que pode gerar diferenças de resultados. A medida do comprimento mandibular em ambos os estudos foi determinada pelos pontos Condílio e Gnátio, a qual possui um vetor resultante anteroinferior, que pode ser decomposto nas alterações vertical e anteroposterior. Por isso, as medidas obtidas pelo presente estudo,

que foram decompostas nos 3 planos, não foram plenamente comparáveis às utilizadas para avaliação do deslocamento mandibular total.

No presente estudo, foi observada alteração anteroposterior significativa somente no côndilo esquerdo ($1,22 \pm 0,76$ mm); todavia, o deslocamento anteroposterior do côndilo direito ($1,25 \pm 1,28$ mm) obteve um p-valor (0,051) muito próximo ao considerado significativo. Estes resultados corroboraram os obtidos pelo estudo 3D de Elfeky et al.³⁹ que detectou um aumento anteroposterior condilar similar (direito = 1,28 mm; esquerdo = 1,60 mm).

No arco superior, os incisivos foram extruídos de forma significativa ($0,47 \pm 0,22$ mm) e mantiveram sua posição no sentido anteroposterior ($0,05 \pm 0,32$ mm; $p > 0,05$). Não foram detectadas diferenças significantes na movimentação vertical, transversa e anteroposterior dos 1^{os} molares superiores. O elemento 16 exibiu mínima perda de ancoragem ($0,30 \pm 0,18$ mm) e extrusão ($0,28 \pm 0,58$ mm); e o 26 manteve sua posição no sentido anteroposterior ($-0,01 \pm 0,45$ mm), e também sofreu suave extrusão ($0,28 \pm 0,58$ mm). Estes dados diferiram dos obtidos pelo único estudo 3D prévio que avaliou efeitos dentários do Twin Block, de Elfeky et al.³⁹, que observaram retroinclinação dos incisivos superiores, distalização de 1mm e intrusão de 0,36 mm nos 1^{os} molares superiores. Todavia, este estudo prévio não efetuou registro regional maxilar para isolar o efeito esquelético do dentário, o que reduz a confiabilidade na análise destes efeitos.

No arco inferior, a principal movimentação dentária observada foi a perda de ancoragem dos elementos 36 ($1,44 \pm 0,74$ mm) e 46 ($1,45 \pm 1,13$ mm), que contribuiu para a correção dentária da má oclusão Classe II de Angle. Os incisivos exibiram mínima projeção ($0,27 \pm 0,18$ mm) e extrusão ($0,42 \pm 0,18$ mm), as quais não foram significantes nem clinicamente relevantes. A movimentação significativa ocorreu na extrusão do 36 ($0,59 \pm 0,49$ mm) e do 46 ($0,85 \pm 0,46$ mm). O estudo 3D de Elfeky et al.³⁹ também detectou projeção de incisivos inferiores e perda de ancoragem dos inferiores (2,18 mm); todavia, observou intrusão dos molares. Esta diferença pode ser devida ao *design* do aparelho utilizado pelo estudo, o qual foi modificado para pacientes verticais³⁹.

É preciso destacar que embora todos os valores anteroposteriores obtidos tenham sido mínimos, como previamente relatados na literatura, o somatório das alterações permitiu obter uma correção da relação molar de 3 mm: (1) restrição do crescimento maxilar, que distaliza todo o arco superior ($-0,25$ mm); (2) crescimento mandibular, que avança todo o arco inferior ($+1,24$ mm); (3) movimentação exclusivamente dentária de perda de ancoragem dos 1^{os} molares inferiores ($+1,45$ mm). Embora 3 mm seja um baixo valor, é clinicamente relevante,

pois o diâmetro mésiodistal de uma cúspide de 1º molar é de aproximadamente 4,8 mm¹⁵¹. E a largura de uma cúspide é tão importante que Andrews⁴² estabeleceu subclassificações da discrepância oclusal anteroposterior da Classe II (Figura 1) com base nesse parâmetro: Classe II com desvio de ¼ de cúspide, de ½ cúspide, de ¾ de cúspide e de 1 cúspide completa.

Este conjunto de alterações anteroposteriores, associado ao crescimento vertical mandibular significante de +3,77 mm, contribuiu para a correção desta má oclusão, a qual não se autocorrigiria com o crescimento normal.

5.2.2 Resultados dos deslocamentos das estruturas esqueléticas e dentárias do aparelho de Herbst

Na presente pesquisa, as principais alterações observadas nos pacientes tratados com o aparelho de Herbst ocorreram no crescimento vertical, anteroposterior e transversal da mandíbula (refletido pelo deslocamento do mento e dos côndilos) e no crescimento exclusivamente vertical da maxila, que contribuíram para a correção esquelética da má oclusão de Classe II de Angle.

No sentido anteroposterior (AP), foi mantida a posição da maxila ($0,18 \pm 0,87$ mm) e foi detectado um deslocamento anterior significativo e clinicamente relevante do mento ($+3,49 \pm 3,74$ mm) e dos côndilos esquerdo ($2,45 \pm 2,45$ mm) e direito ($2,02 \pm 1,1$ mm).

As alterações anteroposteriores detectadas pelos estudos 3D prévios que utilizaram aparelho de Herbst foram semelhantes em alguns aspectos. LeCornu³⁸ detectou restrição do crescimento maxilar ($-1,22 \pm 0,43$ mm); projeção anterior da mandíbula no ponto B ($2,62 \pm 1,08$ mm) e crescimento condilar de $1,29 \pm 0,57$ mm. Atresh³⁶ referiu mínimo deslocamento maxilar (de 0,02 a 0,43 mm) e menores alterações no pogônio (1,25 mm) e nos côndilos (1 mm) do que no presente estudo. Souki et al.³⁷ também relataram menores deslocamentos anteriores do pogônio (2,20 mm) e dos côndilos (de 0,95 a 2,47 mm) do que nesta pesquisa.

No sentido vertical, no presente estudo, ocorreu um crescimento significante da maxila ($1,54 \pm 2,75$ mm) e da mandíbula, detectado no mento ($3,63 \pm 4,85$ mm) e nos côndilos esquerdo ($4,51 \pm 4,91$ mm) e direito ($4,41 \pm 3,68$ mm). A variância do deslocamento vertical e anteroposterior do mento e dos côndilos indica que houve oscilação considerável entre os pacientes tratados, a qual pode ser atribuída à diversidade quanto ao tamanho das estruturas (pacientes com cabeças maiores ou menores), aos padrões de crescimento (vertical, horizontal ou equilibrado) e à variabilidade individual de resposta biológica ao tratamento.

No aspecto vertical, Atresh et al.³⁶ detectaram uma alteração similar na maxila (1,44 mm), maior no deslocamento do mento (4,88 mm) e menor nos côndilos (0,4 mm). Souki et al.³⁷ também relataram um menor deslocamento vertical do pogônio (2,4 mm) e dos côndilos (2,56 mm). Estes menores resultados obtidos por Atresh et al.³⁶ e Souki et al.³⁷ podem ser atribuídos ao menor tempo de tratamento destes estudos: 7,6 meses e 8 meses. Outro possível fator foi a diferença no *design* do aparelho de Herbst: ambos os estudos utilizaram versões em cantilever, enquanto o presente trabalho adotou a versão fundida, que possui ancoragem dentária em todos os dentes posteriores.

No arco superior, não foram detectadas diferenças significantes na movimentação vertical, transversa e anteroposterior dos incisivos e 1^{os} molares superiores, que foram inferiores a 1 mm nos três eixos. Os incisivos exibiram mínima extrusão ($0,66 \pm 0,41$ mm) e projeção ($0,18 \pm 0,36$ mm). Foi observada mínima distalização dos elementos 16 ($-0,08 \pm 0,85$ mm) e 26 ($-0,20 \pm 1,39$ mm), os quais mantiveram suas posições no eixo vertical.

No arco inferior, a principal movimentação dentária observada foi a perda de ancoragem dos elementos 36 ($1,48 \pm 0,46$ mm) e 46 ($1,73 \pm 0,64$ mm), que contribuiu para a correção dentária da má oclusão Classe II de Angle. Os incisivos exibiram mínima projeção ($0,54 \pm 0,36$ mm) e extrusão ($0,65 \pm 0,07$ mm), as quais não foram clinicamente relevantes.

O somatório das alterações anteroposteriores permitiu obter uma correção da relação molar de aproximadamente 5 mm: (1) crescimento mandibular, que avança todo o arco inferior (+3,5 mm); (2) movimentação exclusivamente dentária de perda de ancoragem dos 1^{os} molares inferiores (+1,5 mm); (3) manutenção da posição anteroposterior da maxila. Este valor de 5 mm é clinicamente relevante, pois o diâmetro mésiodistal de uma cúspide de molar é de aproximadamente 4,8 mm¹⁵¹; e permite a correção ou sobrecorreção de um desvio de Classe II de uma cúspide completa, de acordo com a subclassificação de Andrews⁴² (Figura 1).

Estes dados corroboraram os resultados da revisão sistemática de Yang et al.²⁴ que demonstraram que o aparelho de Herbst é efetivo a curto prazo na correção da má oclusão de Classe II, pela associação de efeitos esqueléticos e dentários favoráveis, que tem o potencial de obter uma correção de relação molar de 5,70 mm.

5.2.3 Resultados dos deslocamentos das estruturas esqueléticas e dentárias do aparelho de Herbst associado à ancoragem esquelética

Neste trabalho, as principais alterações detectadas nos pacientes tratados com o aparelho de Herbst associado à ancoragem esquelética ocorreram no expressivo crescimento anteroposterior, vertical e transversal da mandíbula (refletido pelo deslocamento do mento e dos côndilos) e na restrição do crescimento anteroposterior da maxila, que contribuíram para a correção esquelética da má oclusão de Classe II de Angle.

No sentido anteroposterior, a maxila sofreu uma suave distalização ($-0,26 \pm 2,88$ mm) e foi detectado um deslocamento significativo e clinicamente relevante do mento ($4,21 \pm 2,96$ mm) e dos côndilos esquerdo ($1,65 \pm 0,37$ mm) e direito ($1,36 \pm 0,68$ mm).

No sentido vertical, ocorreu um crescimento significativo da maxila ($1,47 \pm 4,25$ mm) e da mandíbula, detectado no mento ($5,64 \pm 2,87$ mm) e nos côndilos esquerdo ($4,89 \pm 4,01$ mm) e direito ($5,20 \pm 1,46$ mm).

No arco superior, a movimentação vertical, transversal e anteroposterior dos incisivos e 1^{os} molares superiores foi inferior a 0,6 mm nos três eixos do espaço. Os incisivos exibiram mínima extrusão ($0,28 \pm 0,18$ mm) e projeção ($0,16 \pm 0,08$ mm). Foi observada uma suave distalização dos elementos 16 ($-0,46 \pm 0,50$ mm) e 26 ($-0,56 \pm 1,16$ mm), os quais mantiveram suas posições no eixo vertical.

No arco inferior, os incisivos exibiram projeção significativa ($0,93 \pm 0,08$ mm) e mínima extrusão ($0,42 \pm 0,71$ mm). Este resultado foi o oposto ao relatado pela revisão sistemática de Elkordy⁷, que sugeriu que o uso de ancoragem esquelética evitou a projeção de incisivos inferiores. Possivelmente, esta mínima projeção ocorreu porque a ancoragem esquelética foi associada à região dos caninos inferiores, por meio de amarrilhos metálicos, e não em relação ao incisivos inferiores.

Também foi observada a perda de ancoragem do 36 ($1,07 \pm 0,23$ mm) e 46 ($0,80 \pm 0,39$ mm), que contribuiu para a correção dentária da má oclusão Classe II de Angle. No sentido vertical, ocorreu extrusão do 36 ($1,34 \pm 0,52$ mm) e 46 ($1,09 \pm 0,87$ mm).

O somatório das alterações anteroposteriores permitiu obter uma correção da relação molar de aproximadamente 5,86 mm: (1) restrição do crescimento da maxila, com suave distalização de todo o arco superior ($-0,26$ mm); (2) movimentação exclusivamente dentária de distalização dos 1^{os} molares superiores ($-0,5$ mm); (3) crescimento mandibular, que avançou todo o arco inferior ($+4,2$ mm); (4) movimentação exclusivamente dentária de perda de ancoragem dos 1^{os} molares inferiores ($+0,9$ mm). Este valor de 5,86 mm é clinicamente

relevante, pois supera o diâmetro mésiodistal de uma cúspide de molar (aproximadamente 4,8 mm¹⁵¹) e permite a correção ou sobrecorreção de um desvio de Classe II de uma cúspide completa, de acordo com a subclassificação de Andrews⁴² (Figura 1).

5.2.4 Comparação dos deslocamentos das estruturas avaliadas entre os aparelhos Twin Block, Herbst e Herbst com ancoragem esquelética

No presente estudo, a única diferença esquelética estatisticamente significativa entre os três grupos foi detectada no deslocamento transversal do mento, o qual não possui relevância clínica, porque representa o vetor de crescimento para esquerda ou direita individual dos pacientes. Todavia, foram observadas diferenças clinicamente relevantes entre os três grupos quanto às alterações esqueléticas e dentárias avaliadas, abaixo descritas.

Dentre as variáveis esqueléticas analisadas, as principais diferenças foram detectadas na quantidade de crescimento anteroposterior e vertical da mandíbula (refletido pelo deslocamento do mento e dos côndilos) e na restrição do crescimento anteroposterior da maxila, que contribuíram para a correção esquelética da má oclusão de Classe II de Angle: os efeitos esqueléticos mais acentuados ocorreram no grupo HAE. Isto sugere que a instalação dos mini-implantes potencializou os efeitos esqueléticos obtidos, o que contrariou os resultados da revisão sistemática de Elkordy et al.⁷, que concluiu que o uso de ancoragem esquelética não potencializou os efeitos esqueléticos obtidos. Esta diferença pode ser devido às diferenças quanto à padronização do estágio de maturação esquelética dos indivíduos tratados: no presente estudo, todos no pico do surto, e na revisão de Elkordy et al.⁷, não houve restrição na seleção dos estudos quanto a este aspecto.

O crescimento inferior da maxila foi similar nos três grupos, de aproximadamente 1,5 mm: o maior no grupo HAD (1,54 mm), seguido dos grupos TB (1,51 mm) e HAE (1,47 mm). No sentido anteroposterior, a maior restrição de crescimento maxilar, com suave distalização, ocorreu nos grupos HAE (-0,26 ± 2,88 mm) e TB (-0,25 ± 0,66 mm), seguidos pelo grupo HAD (+0,18 ± 0,87 mm). Considerando-se que a má oclusão de Classe II não se autocorrigem com o crescimento⁵⁸⁻⁶⁰, e que o vetor de crescimento normal da maxila é anterior e inferior⁵³⁻⁵⁵, é preciso considerar que houve uma restrição do crescimento anteroposterior maxilar, dados os valores observados após 12 meses de tratamento durante o pico do surto de crescimento puberal.

O crescimento anteroposterior mandibular mais acentuado foi detectado no mento do grupo HAE (4,21 ± 2,96 mm), seguido dos grupos HAD (3,49 ± 3,74 mm) e TB (1,24 ± 3,36

mm). No sentido vertical, o maior crescimento inferior ocorreu no grupo HAE ($5,64 \pm 2,87$ mm), seguido dos grupos TB ($3,77 \pm 3,93$ mm) e HAD ($3,63 \pm 4,85$ mm).

Nos côndilos mandibulares, as principais alterações observadas ocorreram no sentido vertical, que foram mais acentuadas no grupo HAE ($5,20 \pm 4,46$ mm), seguido pelos grupos HAD ($4,51 \pm 4,91$ mm) e TB ($3,88 \pm 4,60$ mm). No sentido anteroposterior, as maiores alterações condilares foram aferidas no grupo HAD ($2,45 \pm 2,45$ mm), seguido dos grupos HAE ($1,65 \pm 0,37$ mm) e TB ($1,25 \pm 1,28$ mm). No sentido transversal, o maior crescimento condilar foi detectado no grupo HAE ($0,89 \pm 0,58$ mm), seguido pelos grupos HAD ($0,88 \pm 1,66$ mm) e TB ($0,56 \pm 0,26$ mm).

Dentre as variáveis dentárias, a única diferença estatisticamente significativa entre os três grupos foi detectada nos incisivos inferiores, quanto à movimentação transversal (entre os grupos HAD e HAE) e anteroposterior (entre os grupos TB e HAE).

No arco superior, a movimentação vertical, transversal e anteroposterior dos incisivos e 1^{os} molares superiores foi inferior a 0,7 mm em todos os grupos. Este dado sugere que os três tipos de propulsores são efetivos em estabilizar os dentes superiores. No sentido vertical, a maior extrusão de incisivos foi observada no grupo HAD ($0,66 \pm 0,41$ mm), seguido dos grupos TB ($0,47 \pm 0,22$ mm) e HAE ($0,28 \pm 0,18$ mm). No anteroposterior, a maior projeção de incisivos ocorreu no grupo HAD ($0,18 \pm 0,36$ mm), seguido dos grupos HAE ($0,16 \pm 0,08$ mm) e TB ($0,05 \pm 0,32$ mm). A maior distalização dos 1^{os} molares superiores (16 e 26) ocorreu no grupo HAE ($-0,56 \pm 1,16$ mm), seguido dos grupos HAD ($-0,20 \pm 1,39$ mm) e TB ($-0,01 \pm 0,45$ mm). No eixo vertical, 16 e 26 mantiveram suas posições.

No arco inferior, a maior projeção de incisivos foi detectada no grupo HAE ($0,93 \pm 0,08$ mm), seguido pelos grupos HAD ($0,54 \pm 0,36$ mm) e TB ($0,27 \pm 0,18$ mm). A maior extrusão destes elementos foi aferida no grupo HAD ($0,65 \pm 0,07$ mm), seguido dos grupos HAE ($0,42 \pm 0,71$ mm) e TB ($-0,42 \pm 0,18$ mm).

A perda de ancoragem mais acentuada dos 1^{os} molares inferiores (36 e 46) ocorreu no grupo HAD ($1,73 \pm 0,64$ mm), seguido dos grupos TB ($1,45 \pm 1,13$ mm) e HAE ($1,07 \pm 0,23$ mm), o que contribuiu para a correção dentária da má oclusão Classe II de Angle. Este resultado sugere que a instalação dos mini-implantes no arco inferior, na região de pré-molares, atingiu o objetivo de reduzir a perda de ancoragem inferior. No sentido vertical, a maior extrusão destes molares ocorreu no grupo HAE ($1,34 \pm 0,52$ mm), seguido dos grupos HAD ($1,11 \pm 1,11$ mm) e TB ($0,85 \pm 0,46$ mm).

De forma geral, no grupo tratado com aparelho de Herbst associado a mini-implantes foram observados os efeitos esqueléticos mais acentuados, quanto à restrição de crescimento

maxilar anteroposterior e crescimento mandibular anteroinferior; no aspecto dentário, foi obtida a menor perda de ancoragem do arco inferior e a maior distalização dos molares superiores. Todos estes resultados foram os mais favoráveis para o tratamento da má oclusão de Classe II: o somatório das alterações anteroposteriores permitiu obter uma correção da relação molar de aproximadamente 5,86 mm. O único aspecto em que este grupo apresentou um resultado menos vantajoso do que HAD e TB foi na projeção dos incisivos inferiores, a mais acentuada da amostra. Todavia, esta projeção obteve um valor baixo ($0,93 \pm 0,08$ mm), inferior a 1 mm, e foi clinicamente aceitável. Os benefícios esqueléticos foram proporcionalmente muito mais relevantes.

Em segundo lugar, o aparelho de Herbst também obteve excelentes resultados esqueléticos, principalmente no crescimento mandibular anteroinferior, e dentários, com pouca projeção de incisivo inferior ($0,54 \pm 0,36$ mm) e estabilização dos dentes superiores (movimentação quase nula). Todavia, neste grupo ocorreu a perda de ancoragem inferior mais acentuada avaliada na amostra: a correção de má oclusão Classe II obteve um componente dentário mais proeminente neste aspecto. O somatório das alterações anteroposteriores esqueléticas e dentárias permitiu obter uma correção da relação molar de aproximadamente 5 mm.

Finalmente, no grupo tratado pelo aparelho Twin Block foram observados um excelente efeito de restrição do crescimento anteroposterior da maxila e o menor efeito no crescimento mandibular anteroinferior detectado na amostra. A movimentação dentária foi praticamente nula, com mínima projeção de incisivos inferiores e perda de ancoragem inferior. O somatório das alterações esqueléticas e dentárias permitiu uma correção da relação molar de 3 mm. Este pior resultado pode ser atribuído a problemas de cooperação com este dispositivo removível. Em estudos retrospectivos que selecionaram somente pacientes que concluíram o tratamento e obtiveram correção plena da Classe II, o panorama do estudo não reflete a realidade clínica deste tipo de problema de cooperação quanto ao uso do aparelho, frequência nas consultas e conclusão do tratamento. Esta é uma das grandes vantagens dos estudos prospectivos, como a presente pesquisa, que distribuiu os pacientes de forma aleatória nos grupos de tratamento, os acompanhou por um período padronizado, e interrompeu a terapia neste momento, independente da correção da má oclusão.

Os resultados do presente estudo corroboraram os referidos por Pacha et al.²¹, de que os aparelhos de Herbst e Twin Block melhoraram a discrepância esquelética anteroposterior, aumentaram o comprimento mandibular e reduziram o *overjet*.

5.2.5 Resultados da comparação de eficácia

Conforme discutido no item 5.1.1, os estudos experimentais devem ser delineados para avaliar a eficácia, efetividade ou eficiência das intervenções testadas e devem avaliar as frequências de cura ou sucesso entre os grupos de estudo. No presente estudo, foi analisada a eficácia das três modalidades de tratamento da má oclusão de Classe II de Angle, 1ª divisão, quanto à correção da sobressaliência (ou *overjet*) e da relação molar, que permitiram comparar as frequências de sucesso e insucesso dos grupos. Para esta avaliação, a referência de deslocamento dos incisivos adotada não foi o ponto centroide (cujo deslocamento representa o movimento de corpo, de translação da estrutura), e sim a máxima distância entre as extremidades incisais das coroas dos incisivos superiores e inferiores, que determina o *overjet* e representa as mudanças de inclinação dos incisivos.

Quanto ao *overjet*, a comparação pré e pós tratamento revelou que ocorreram alterações significativas e clinicamente relevantes nos três grupos tratados. O grupo HAE apresentava o *overjet* inicial mais acentuado, de 8,28 ($\pm 2,36$) mm que foi reduzido para um valor próximo ao ideal de 3,42 ($\pm 1,39$) mm. A seguir, o grupo HAD possuía um *overjet* ligeiramente menor, porém também acentuado, de 7 ($\pm 0,81$) mm, o qual foi diminuído para 2,90 ($\pm 0,87$) mm: o menor *overjet* final obtido na amostra. No grupo TB, o *overjet* inicial de 6,89 ($\pm 1,05$) mm sofreu redução para 3,56 ($\pm 1,05$) mm: foi o *overjet* final mais acentuado da amostra, porém apresentou valores similares aos dos outros grupos. Estes dados corroboraram os referidos pela revisão sistemática 2D de D'Antò et al.²³ de que o aparelho Twin Block reduz o *overjet* de forma efetiva (de -3,3 a -6,9 mm).

A comparação das diferenças entre T1 e T2 dos três grupos demonstrou que as maiores correções do *overjet* foram obtidas pelos grupos HAD (-4,00 \pm 1,65 mm) e HAE (-4,00 \pm 1,47 mm), seguidos pelo grupo TB (-3,00 \pm 3,25 mm). Todavia, esta diferença não foi estatisticamente significativa. Deve-se destacar que a variância da correção do *overjet* do grupo TB foi maior do que a dos outros grupos. Clinicamente, esse dado reflete a variabilidade de resultados obtidos na redução do *overjet*. A equipe de pesquisadores observou no acompanhamento clínico que haviam pacientes ótimos cooperadores (assíduos às consultas, com excelente grau de higiene, motivados e felizes com o uso do aparelho), que obtiveram excelente redução no *overjet*, e outros indivíduos não apresentavam o mesmo grau de cooperação (faltavam às consultas, perdiam os aparelhos, reclamavam do desconforto) e obtiveram resultados clínicos menos expressivos. Todavia, no início deste estudo, não foi planejada uma forma padronizada de registrar a cooperação dos pacientes. Nos grupos

tratados com aparelho de Herbst, a variabilidade de resultados foi menor, como também foi observado na análise da alteração da relação molar. Isto pode estar relacionado à maior cooperação no uso do propulsor mandibular fixo.

Em T2, no grupo tratado com Twin Block, dos nove pacientes, apenas cinco (55,6%) obtiveram a Classe I de Angle. No grupo tratado com aparelho de Herbst, todos os 10 pacientes (100%) obtiveram sucesso na correção (30% em Classe I) ou sobrecorreção (70% em Classe III). No grupo HAE, todos os 7 pacientes (100%) atingiram a correção (14,3% em Classe I) ou sobrecorreção (85,7% em Classe III). Neste quesito, foi observada que a maior eficácia de tratamento foi obtida pelo aparelho de Herbst associado à ancoragem esquelética quanto à sobrecorreção (que além do índice de 100% de sucesso, atingiu o índice mais elevado de sobrecorreção, de 85,7%), seguido pelo aparelho de Herbst com ancoragem dentária (índice de 100% de sucesso, e 70% de sobrecorreção), e por último, o aparelho Twin Block (índice de 55,6% de sucesso).

Estes elevados índices de sucesso corroboram os resultados relatados pela revisão sistemática 2D de Yang et al.²⁴, que calculou um potencial de redução do *overjet* de -4,82 mm e de correção da relação molar de -5,70 mm do aparelho de Herbst.

Como os pacientes da amostra foram dicotomizados quanto ao sucesso (n = 22) ou insucesso (n = 4) na correção da má oclusão, também foi efetuada uma análise estatística para avaliar quais estruturas sofreram deslocamento anteroposterior de forma significativamente diferente entre ambos os tipos de casos. A única variável que demonstrou uma diferença significativa foi o deslocamento anteroposterior do mento, o que indica que esta é a chave para obtenção de sucesso no tratamento com propulsores mandibulares, e não os efeitos dentários, como defendido pelas revisões sistemáticas de estudos 2D^{7,21,24,25}.

5.2.6 Resultados da análise da proporção de efeito esquelético e dentário

A análise das revisões sistemáticas^{7,20,21,23-25} e ensaios clínicos^{10-16,19,22,39} disponíveis demonstrou que os dados disponíveis sobre a proporção entre os efeitos esqueléticos e dentários na correção do *overjet* e relação molar pelos propulsores mandibulares são controversos e imprecisos. Por exemplo, os índices de correção do componente esquelético da Classe II obtidos pelo aparelho de Herbst variaram de 13% a 85%^{152,153}.

Na década de 1990, a análise de pitchfork de Johnston^{154, 155} tornou-se o principal método utilizado para distinguir os efeitos esqueléticos dos dentários obtidos no tratamento da má oclusão de Classe II nas telerradiografias de perfil, com excelente aceitação entre

pesquisadores e clínicos¹⁵⁶. Todavia, em 2001, Männchen¹⁵⁶ demonstrou que esta análise superestima os efeitos esqueléticos, subestima os efeitos dentários e não é suficientemente sensível para diferenciá-los. Isto ocorre particularmente se o paciente tiver um plano oclusal muito inclinado ou forem utilizados aparelhos com potencial efeito rotacional da maxila, como pode ocorrer com o aparelho de Herbst^{15,68}, o Jasper Jumper e o extraoral¹⁵⁶. Outra deficiência é que a análise de pitchfork não possui reprodutibilidade elevada¹⁵⁷. O ponto crucial na análise cefalométrica é se a técnica de superposição selecionada fornece interpretação clinicamente confiável das mudanças biológicas ocorridas. Na análise de pitchfork, a superposição da maxila e a referência ao plano oclusal são cruciais, pois dependendo das modalidades de tratamento, podem ocorrer efeitos rotacionais nas estruturas do crânio. Para comparar estratégias de tratamento, uma base sólida de análise é de extrema importância para chegar a dados quantitativos que reflitam os eventos biológicos reais. Devem ser utilizados métodos de superposição em estruturas que não são alteradas pelo tratamento ortodôntico/ortopédico de elevada acurácia.

No presente estudo, como foram obtidos centroides dos incisivos centrais e 1^{os} molares permanentes com registros 3D automáticos totais e regionais, foi possível aferir o deslocamento decorrente da associação de crescimento e movimento dentário (registro total) e também isolar o movimento exclusivamente dentário (registros regionais). Subtraindo-se um valor pelo outro, foi calculado o deslocamento anteroposterior de cada estrutura dentária causado exclusivamente pelo crescimento esquelético do complexo craniofacial. Esta análise foi restrita ao eixo sagital porque a meta principal do tratamento foi corrigir a relação molar e reduzir a sobressaliência no sentido anteroposterior. Todavia, a mesma análise poderia ser efetuada nos sentidos vertical e transversal, para outros fins.

No incisivo inferior, o maior deslocamento anteroposterior total do incisivo inferior foi detectado no grupo HAD, de 3,52 mm (20,45% dentário e 79,55% esquelético); a seguir, no grupo HAE o deslocamento médio total foi de 3,16 mm (27,85% dentário e 72,15% esquelético); e no grupo TB, foi detectado o menor deslocamento total de 1,25 mm (21,6% dentário e 78,4% esquelético). Nestes resultados, foi observada a influência da maior projeção exclusivamente dentária ocorrida no incisivo inferior detectada no grupo HAE: obteve o índice de correção dentária mais elevado da amostra (27,85%) neste elemento, seguido pelos grupos HAD e TB. Porém, o dado mais relevante é que, de forma geral, os três propulsores obtiveram correção de posição anteroposterior do incisivo inferior predominantemente esquelética, que oscilou de 72,15% a 79,55%.

Nos 1^{os} molares inferiores, ocorreu bastante variabilidade nos deslocamentos totais observados entre 36 e 46. Os maiores deslocamentos totais ocorreram nos grupos HAD (4,23 mm) e HAE (3,51 mm), os quais foram superiores aos observados no grupo TB (1,44 mm). A correção esquelética da posição do elemento 36 foi de 80,34% no grupo HAE, de 83,53% no grupo HAD e de 85,42% no grupo TB. Neste dado, foi refletida a influência da maior perda de ancoragem ocorrida no grupo HAD, que resultou no deslocamento total destes molares mais acentuado do que o grupo HAE. Todavia, de forma geral, o índice de correção esquelética da relação molar foi elevado nos três grupos.

Nos incisivos superiores, os deslocamentos totais foram inferiores a 1mm nos 3 grupos e predominantemente esqueléticos: 76% no grupo TB; 69,79% no grupo HAD; e 65,45% no grupo HAE.

Nos 1^{os} molares superiores, ocorreu bastante variabilidade nos deslocamentos totais observados entre 16 e 26. Os maiores deslocamentos totais foram observados no 26: de 4,15 mm no grupo HAD; 2,09 mm no HAE; e 1,29mm no TB. No elemento 16, os deslocamentos totais foram inferiores a 1,2 mm nos três grupos. As menores taxas de correção esquelética observadas nestes elementos foram de 54,78% no grupo HAD, 67% no grupo HAE e de 82,95% no grupo TB. Estes resultados corroboram os dados de Yang et al.²⁴, que demonstraram que o aparelho de Herbst pode corrigir a má oclusão de Classe II através de uma combinação de efeitos esqueléticos e dentários.

Como esta análise foi restrita à posição espacial de incisivos e 1^{os} molares, as conclusões de proporção esquelética e dentária obtidas a partir destes dados são restritas à correção do *overjet* e relação molar. A análise do efeito esquelético maxilomandibular total dos propulsores foi efetuada pela comparação dos centroides de maxila, mento e côndilos, como previamente discutido.

5.3 Análise crítica

Os resultados desta análise interina de um ensaio clínico randomizado que avaliou pacientes puberais demonstraram que o aparelho de Herbst associado aos mini-implantes obteve maior correção esquelética e menor efeito dentário no tratamento da má oclusão de Classe II do que o aparelho de Herbst convencional e do que o aparelho Twin Block, após 12 meses de acompanhamento.

Quanto aos efeitos esqueléticos, foi observada uma restrição de crescimento anteroposterior da maxila e crescimento mandibular anteroinferior. Nos efeitos dentários, ocorreu mínima movimentação do arco superior (com suave distalização dos 1^{os} molares no grupo HAE) e os principais efeitos ocorreram no arco inferior, na perda de ancoragem dos 1^{os} molares (mais acentuada no grupo tratado com aparelho de Herbst) e mínima projeção de incisivo central (inferior a 1 mm).

Nos resultados clínicos, o aparelho de Herbst com ancoragem dentária convencional apresentou a mesma excelente eficácia de redução de *overjet* e correção da relação molar do que o propulsor associado aos mini-implantes; todavia, os índices de sobrecorreção do aparelho de Herbst com ancoragem esquelética foram superiores ao mesmo dispositivo com ancoragem dentária. Ambas as modalidades que utilizaram propulsor fixo foram mais eficazes do que o aparelho funcional removível Twin Block.

Ambos os grupos tratados com aparelho de Herbst obtiveram a mesma excelente eficácia de redução de *overjet* e correção da relação molar. Todavia, a associação dos mini-implantes elevou os índices de sobrecorreção da relação molar. Ambas as modalidades que utilizaram propulsor fixo foram mais eficazes do que o aparelho funcional removível Twin Block.

As principais vantagens deste estudo foram: o desenho de ensaio clínico randomizado; pioneirismo na análise 3D de comparação de aparelho funcional removível, fixo e fixo associado à ancoragem esquelética; adoção de metodologia 3D com técnicas de superposição automática das tomografias totais e regionais; padronização da orientação de cabeça nas tomografias; utilização de análises do deslocamento nas coordenadas dos planos cartesianos; determinação automática do ponto que representa a posição espacial das estruturas (centroide); uso do centroide para avaliar o crescimento e deslocamento das estruturas e a proporção dos efeitos esqueléticos e dentários envolvidos na correção da relação molar e interincisal. As técnicas automáticas de superposição 3D e de determinação do ponto centroide permitiram uma aferição precisa dos mínimos deslocamentos envolvidos nos efeitos dos propulsores mandibulares que resultaram na correção da má oclusão de Classe II de Angle, 1^a divisão. O conjunto destas alterações foi clinicamente significativo para permitir a correção ou sobrecorreção de um desvio de uma cúspide completa em Classe II.

As principais limitações deste estudo foram: tamanho amostral pequeno (n = 26); os rígidos critérios de seleção tornam as conclusões limitadas ao grupo estudado, principalmente quanto ao grau de maturação esquelética (pico do surto de crescimento puberal); o acompanhamento a curto prazo de 12 meses (porém, foi maior do que os estudos 3D similares

prévios); os pacientes foram tratados por diversos alunos de pós-graduação em um centro de ensino e não por um único profissional; ausência de um grupo controle. Todavia, dentre os estudos que também utilizaram metodologia 3D há tamanhos amostrais similares; e os que apresentaram amostras maiores apresentaram menor qualidade metodológica e desenho do estudo retrospectivo. A execução do tratamento por diversos ortodontistas em um único centro teve a virtude de demonstrar que os aparelhos foram efetivos independente do profissional, um aspecto que os estudos multicentro buscam avaliar. Um grupo controle teria sido ideal para quantificar o quanto do ganho esquelético foi suplementar em relação ao crescimento normal. Todavia, como foram avaliados pacientes puberais, as questões éticas impediram a inclusão de um grupo Classe II sem tratamento ortopédico.

A presente pesquisa contribuiu para prover evidência científica que consubstancia o uso clínico de propulsores mandibulares para o tratamento ortopédico efetivo da má oclusão de Classe II de Angle, 1ª divisão durante o pico do surto de crescimento puberal. Esta análise interina indica que o ensaio clínico deve continuar a coleta de dados. Estudos futuros devem efetuar acompanhamento a longo prazo em amostras maiores, incluir a análise do tecido mole, da percepção subjetiva dos pacientes e dos aspectos que afetam sua cooperação com o tratamento.

CONCLUSÃO

Pela análise dos dados estatísticos e de relevância clínica das avaliações tridimensionais, de acordo com o que foi proposto, foi possível concluir, em relação aos efeitos dento-esqueléticos dos aparelhos funcionais de Twin Block, de Herbst com ancoragem dentária e Herbst associado a mini-implantes na correção da má oclusão Classe II de Angle durante o pico do surto de crescimento puberal, que:

- a) quanto aos efeitos esqueléticos, foi observada uma restrição de crescimento anteroposterior da maxila e crescimento mandibular no sentido anteroinferior. Nos efeitos dentários, ocorreu mínima movimentação dos incisivos e 1^{os} molares superiores. Os principais efeitos dentários ocorreram na perda de ancoragem dos 1^{os} molares inferiores (mais acentuada após tratamento com aparelho de Herbst) e mínima projeção dos incisivos centrais (inferior a 1 mm);
- b) o aparelho de Herbst convencional ou associado aos mini-implantes obteve maior correção esquelética e menor efeito dentário no tratamento da má oclusão de Classe II do que o aparelho Twin Block, após 12 meses de acompanhamento;
- c) os índices de sobrecorreção da relação molar e do *overjet* obtidos pelo aparelho de Herbst associado à ancoragem esquelética foram superiores ao mesmo dispositivo com ancoragem dentária. Ambas as modalidades que utilizaram propulsor fixo de Herbst apresentaram excelente eficácia na correção da relação molar e na redução de *overjet*, e foram mais eficazes do que o aparelho funcional removível Twin Block;
- d) foi observada correção da relação molar e *overjet* na maioria dos pacientes tratados. Parte dos deslocamentos dentários foi relacionado à mudanças esqueléticas. A movimentação envolvida na correção da relação molar e do *overjet* foi predominantemente esquelética nas três modalidades avaliadas.

REFERÊNCIAS

1. Silva Filho OG, Freitas SF, Cavassan AO. Prevalence of normal occlusion and malocclusion in Bauru (Sao Paulo) students. 1. Sagittal relation. *Rev Odontol Univ Sao Paulo*. 1990;4(2):130-7.
2. Proffit WR, Fields HW Jr, Moray LJ. Prevalence of malocclusion and orthodontic treatment need in the United States: estimates from the NHANES III survey. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg*. 1998;13(2):97-106.
3. Agronin KJ, Kokich VG. Displacement of the glenoid fossa: a cephalometric evaluation of growth during treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1987;91:42-8.
4. Tung AW, Kiyak HA. Psychological influences on the timing of orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1998;113:29-39.
5. Thiruvengkatachari B, Harrison J, Worthington H, O'Brien K. Early orthodontic treatment for Class II malocclusion reduces the chance of incisal trauma: Results of a Cochrane systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2015;148:47-59.
6. Bittencourt MAV, Machado AW. An overview of the prevalence of malocclusion in 6 to 10-year-old children in Brazil. *Dental Press J Orthod*. 2010;15(6):113-22.
7. Elkordy SA, Aboelnaga AA, Fayed MMS, AboulFotouh MH, Abouelezz AM. Can the use of skeletal anchors in conjunction with fixed functional appliances promote skeletal changes? A systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod*. 2016;38(5):532-45.
8. Proffit WH. A comparison of outcomes of orthodontic and surgical-orthodontic treatment of Class II malocclusion in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1992;101:556-65.
9. Bremen JV, Pancherz H. Efficiency of Class II division 1 and Class II division 2 treatment in relation to different treatment approaches. *Semin Orthod*. 2003;9(1):87-2.
10. Nelson C, Harkness M, Herbison P. Mandibular changes during functional appliance treatment. *Am J Orthod Dentofac Orthod*. 1993;104:153-61.
11. Tulloch JFC, Phillips C, Koch G, Proffit WR. The effect of early intervention on skeletal pattern in Class II malocclusion: A randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1997;111:391-400.
12. O'Brien K, Wright J, Conboy F et al. Effectiveness of early orthodontic treatment with the Twin-block appliance: A multicenter, randomized, controlled trial. Part 1: Dental and skeletal effects. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2003;124:234-43.
13. Mills C, Culloch KJ. Posttreatment changes after successful correction of Class II malocclusions with the Twin Block appliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2000;118:24-33.

14. Pancherz H, Hansen K. Mandibular anchorage in Herbst treatment. *Eur J Orthod.* 1988;10:149-64.
15. Pancherz H, Hansen K. Occlusal changes during and after Herbst treatment: a cephalometric study. *Eur J Orthod.* 1986;8:215-28.
16. Baccetti T, Franchi L, Toth RL. Treatment timing for Twin-block therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2000;118:159-70.
17. Clark WJ. The twin block technique. A functional orthopedic appliance system. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1988;93:1-18.
18. Clark W. *Twin-block functional therapy: application in dentofacial orthopaedics.* 1^a ed. London: Mosby-Wolfe; 1995. 384p.
19. Caldwell S, Caldwell P. Predicting the outcome of twin block functional appliance treatment: a prospective study. *Eur J Orthod.* 1999;21:533-9.
20. Flores-Mir C, Major PW. Cephalometric facial soft tissue changes with the Twin Block appliance in Class II division 1 malocclusion patients. *Angle Orthodontist.* 2006; 76:(5):876-81.
21. Pacha MM, Fleming PS, Johal A. A comparison of the efficacy of fixed versus removable functional appliances in children with Class II malocclusion: A systematic review. *Eur J Orthod.* 2016;38(6):621–30.
22. Pancherz H. Treatment of Class II malocclusion by jumping the bite with the Herbst appliance: a cephalometric investigation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1979;76 (4):432-42.
23. D'Antò V, Bucci R, Franchi L, Rongo R, Michelotti A et al. Class II functional orthopaedic treatment: a systematic review of systematic reviews. *J Oral Rehab.* 2015;42:624-42.
24. Yang X, Zhu Y, Long H et al, Zhou Y, Jian Fe, Ye N, Gao M, Lai W. The effectiveness of the Herbst appliance for patients with Class II malocclusion: a meta-analysis. *Eur J Orthod.* 2016;38(3):324–33.
25. Zymperdikas VF, Koretsi V, Papageorgiou SN, Papadopoulos MA. Treatment effects of fixed functional appliances in patients with Class II malocclusion: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod.* 2016;38(2):113–26.
26. Burkhardt DR, McNamara JA Jr, Baccetti T. Maxillary molar distalization or mandibular enhancement: a cephalometric comparison of comprehensive orthodontic treatment including the pendulum and the Herbst appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003;123:108-16.
27. Mah J, Huang J, Bumman A. The cone-beam decision in orthodontics. *Proceedings of the 32nd anual Moyers Symposium. Ann Arbor.* 2006;130(2):257-65.

28. Cevidanes L, Bailey LJ, Tucker GR Jr, Styner MA, Mol A, Phillips CL, Proffit WR, Turvey T. Superimposition of 3D cone-beam CT models of orthognathic surgery patients. *Dentomaxillofac Radiol.* 2005;34(6):369-75.
29. Cevidanes LHS, Styner MA, Proffit WR. Image analysis and superimposition of 3-dimensional cone-beam computed tomography models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006; 129(5):611–8.
30. 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;131(1):44-50.
31. Cevidanes LHC, Heymann G, Cornelis MA, DeClerck HJ, Tulloch JFC. Superimposition of 3-dimensional cone-beam computed tomography models of growing patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009; 136(1):94-9.
32. Cevidanes LHC, Oliveira AEF, Grauer D, Styner M, Proffit WR. Clinical application of 3D imaging for assessment of treatment outcomes. *Semin Orthod.* 2011;17:72-80.
33. Grauer D, Cevidanes LHS, Phillips C, Mol A, Styner M, Proffit W. Assessment of maxillary surgery outcomes one year post-surgery. *J Dent Res.* 2006; Special Issue (A): 0813.
34. Ruellas ACO, Tonello C, Gomes LR et al. Common 3-dimensional coordinate system for assessment of directional changes. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2016;149:645-56.
35. Teixeira AOB, Almeida MAO, Cunha RCA, Maués CPR, Pimentel T, et al. Three-dimensional accuracy of virtual planning in orthognathic surgery. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2020. *In press.*
36. Atresh A, Cevidanes LHS, Yatabe M, et al. Three-dimensional treatment outcomes in Class II patients with different vertical facial patterns treated with the Herbst appliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2018; 154(2): 238–248.e1.
37. Souki BQ, Vilefort PLC, Oliveira DD et al. Three-dimensional skeletal mandibular changes associated with Herbst appliance treatment. *Orthod Craniofac Res.* 2017; 20:111–8.
38. LeCornu M, Cevidanes LHS, Zhu H et al. Three-dimensional treatment outcomes in Class II patients treated with the Herbst appliance: A pilot study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;144(6):818–30.
39. Elfeky HY, Fayed MS, Alhammadi MS, Soliman SAZ, Boghdadi DME. Three-dimensional skeletal, dentoalveolar and temporomandibular joint changes produced by Twin Block functional appliance. *J Orofac Orthop.* 2018; 79(4):245-58.
40. Yildirim E, Karacay S, Erkan M. Condylar response to functional therapy with Twin Block as shown by cone-beam computed tomography. *Angle Orthod.* 2014;84:1018–25.

41. Angle EH. Classification of malocclusion. *Dent Cosmos*. 1899;41:248-64,350-7.
42. Andrews LF. The six keys to normal occlusion. *Am J Orthod*.1972;62(3):296-309.
43. Bishara SE, Cummins DM, Zaher AR. Treatment and posttreatment changes in patients with Class II, Division 1 malocclusion after extraction and nonextraction treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1997;111(1):18-27.
44. Janson M, Janson G, Sant'Ana E, Simão TM, Freitas MR. An orthodonticsurgical approach to Class II subdivision malocclusion treatment. *J Appl Oral Sci*. 2009; 17(3):266-73.
45. Janson G, Valarelli FP, Cançado RH, Freitas MR, Pinzan A. Relationship between malocclusion severity and treatment success rate in Class II nonextraction therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2009;135(3):274e1-8;274-5.
46. Keeling SD, McGorray S, Wheeler TT, King GJ. Imprecision in orthodontic diagnosis: reliability of clinical measures of malocclusion. *Angle Orthod*. 1996;66(5):381-91.
47. Tulloch JF, Medland W, Tuncay OC. Methods used to evaluate growth modification in Class II malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1990;98(4):340-7.
48. Ghafari J, Jacobsson-Hunt U, Markowitz DL, Shofer FS, Laster LL. Changes of arch width in the early treatment of Class II, division 1 malocclusions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1994;106(5):496-502.
49. Hoffelder LB, de Lima EM, Martinelli FL, Bolognese AM. Soft-tissue changes during facial growth in skeletal Class II individuals. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2007;131(4):490-5.
50. Zupancic S, Pohar M, Farcnik F, Ovsenik M. Overjet as a predictor of sagittal skeletal relationships. *Eur J Orthod*. 2008;30(3):269-73.
51. Janson G, Brambilla AC, Henriques JF, Freitas MR, Neves LS. Class II treatment success rate in 2- and 4-premolar extraction protocols. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2004;125(4):472-9.
52. Angle EH. *Malocclusion of the teeth*. Philadelphia: The SS White Dental Manufacturing Co.; 1907. 7. ed. 207 p.
53. King TB. A cephalometric study of the positional relationship of the incisors and apical bases to each other in Class I and Class II, division 1. *Am J Orthod*. 1962;48(8):629-30.
54. Rothstein TL. Facial morphology and growth from 10 to 14 years of age in children presenting Class II, Division 1 Malocclusion: a comparative roentgenographic cephalometric study. *Am J Orthod*. 1971;60:619-20.
55. Vigorito JW. Comparative study of some mandibular characteristics in Class I and Class II, division 1, malocclusion. *Rev Fac Odontol Sao Paulo*. 1972;11(1):75-82.

56. McNamara Jr JA. Components of Class II malocclusion in children 8-10 years of age. *Angle Orthod.* 1981;51:177-202.
57. Woodside D. *Cephalometric roentgenography*. 2^a ed. Toronto. Raybow; 1980. 78p.
58. Bishara SE, Jakobsen JR, Vorhies B, Bayati P. Changes in dentofacial structures in untreated Class II division 1 and normal subjects: a longitudinal study. *Angle Orthod.* 1997;67:55-66.
59. Baccetti T, Franchi L, McNamara Jr JA, Tollaro I. Early dentofacial features of Class II malocclusion: a longitudinal study from the deciduous through the mixed dentition. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1997;111:502-9.
60. Stahl F, Baccetti T, Franchi L, McNamara Jr JA. Longitudinal growth changes in untreated subjects with Class II Division 1 malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;134:125-37.
61. Bedoya A, Landa Nieto Z, Zuluaga LL, Rocabado M. Morphometry of the cranial base and the cranial-cervical-mandibular system in young patients with type II, division 1 malocclusion, using tomographic cone beam. *Cranio.* 2014;32:199-207.
62. Pfeiffer JP, Grobety D. The Class II malocclusion: differential diagnosis and clinical application of activators, extraoral traction, and fixed appliances. *Am J Orthod* 1975;68:499-544.
63. Proffit WH, Fields JR HW, Sarver DM. *Ortodontia Contemporânea*. 4^a ed. Editora Elsevier; 2007. 720 p.
64. Proffit WR., Fields JR HW, Sarver DM. *Tratamento Contemporâneo de Deformidades Dentofaciais*. 1^a ed. Editora Artmed; 2005. 784 p.
65. Graber TM, Vanarsdall JR, Robert L. *Ortodontia: Princípios e Técnicas Atuais*. 3^a ed. Editora Guanabara Koogan; 2002. 936 p.
66. Lavergne J, Gasson N. Analysis and classification of the rotational growth pattern without implants. *Br J Orthod.* 1982;9:51-6.
67. Aelbers CMF, Dermaut LR. Orthopedics in orthodontics: part I, fiction or reality? A review of literature. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2002;121:560-2.
68. Pancherz H. The mechanism of Class II correction in Herbst appliance treatment. A cephalometric investigation. *Am J Orthod.* 1982; 82:104-13.
69. Pancherz H. History, background, and development of the Herbst appliance. *Sem Orthod.* 2003;9:3-11.
70. Cozza P, Baccetti T, Franchi L, De Toffol L, McNamara Jr JA. Mandibular changes produced by functional appliances in Class II malocclusion: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;129:599 e1-12.

71. Ghafari J, Baumrind S, Efstratiadis S. Misinterpreting growth and treatment outcome from serial cephalographs. *Clin Orthod Res.* 1998;1:102–6.
72. Papadopoulos MA, Gkiaouris I. A critical evaluation of meta-analyses in orthodontics. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2007;131:589–99.
73. Becker LA, Oxman AD. *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions version 5.1.0 [updated March 2011].* In: Higgins JPT, Green S, eds. *The Cochrane collaboration.* 2011.
74. Garg AX, Hackam D, Tonelli M. Systematic review and meta-analysis: when one study is just not enough. *Clin J Am Soc Nephrol.* 2008;3:253–60.
75. Mulrow CD. Rationale for systematic reviews. *Br Med J.* 1994;3:597–9.
76. Jüni P, Altman DG, Egger M. Systematic reviews in health care: assessing the quality of controlled clinical trials. *Br Med J.* 2001;323:42–46.
77. Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gøtzsche PC, Ioannidis JP et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration. *Br Med J.* 2009;339(21):b2700.
78. Bastian H, Glasziou P, Chalmers I. Seventy-five trials and eleven systematic reviews a day: how will we ever keep up? *PLoS Med.* 2010;7(9):e1000326.
79. Smith V, Devane D, Begley CM, Clarke M. Methodology in conducting a systematic review of systematic reviews of healthcare interventions. *BMC Med Res Methodol.* 2011;11(1):15.
80. Bazina M, Cevidanes L, Ruellas A, Valiathan M, Quereshy F et al. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2018;153(4):599-606.
81. Barnett GA, Higgins DW, Major PW, Flores-Mir C. Immediate skeletal and dentoalveolar effects of the crown- or banded type Herbst appliance on Class II division 1 malocclusion. *Angle Orthod.* 2008;78:361–9.
82. Flores-Mir C, Ayeh A, Goswami A, Charkhandeh S. Skeletal and dental changes in Class II division 1 malocclusions treated with splint-type Herbst appliances. A systematic review. *Angle Orthod.* 2007;77:376–81.
83. Flores-Mir C, Major MP, Major PW. Soft tissue changes with fixed functional appliances in Class II division 1. *Angle Orthod.* 2006;76:712–20.
84. Flores-Mir C, Major PW. A systematic review of cephalometric facial soft tissue changes with the Activator and Bionator appliances in Class II division 1 subjects. *Eur J Orthod.* 2006;28:586–93.

85. Thiruvengkatachari B, Harrison JE, Worthington HV, O'Brien KD. Orthodontic treatment for prominent upper front teeth (Class II malocclusion) in children. *Cochrane Database Syst Rev.* 2013;13(11):CD003452.
86. Jacob HB, Buschang PH, dos Santos-Pinto A. Class II malocclusion treatment using high-pull headgear with a splint: a systematic review. *Dental Press J Orthod.* 2013;18:e1–e7.
87. Antonarakis GS, Kiliaridis S. Short-term anteroposterior treatment effects of functional appliances and extraoral traction on class II malocclusion. A meta-analysis. *Angle Orthod.* 2007;77:907–14.
88. Ehsani S, Nebbe B, Normando D, Lagravere MO, Flores-Mir C. Short-term treatment effects produced by the Twin-block appliance: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod.* 2014;37:170–6.
89. Olibone V, Lys L, Guimarães AS, Atta JY. Influence of the Twin Block propulsor appliance in the mandibular growth: systematic review of literature. *Dental Press J Orthod.* 2006;11:19–27.
90. Chen JY, Will LA, Niederman R. Analysis of efficacy of functional appliances on mandibular growth. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2002;122:470–6.
91. Perillo L, Cannavale R, Ferro F, Franchi L, Masucci C, Chiodini P et al. Meta-analysis of skeletal mandibular changes during Frankel appliance treatment. *Eur J Orthod.* 2011;33:84–92.
92. Marsico E, Gatto E, Burrascano M, Matarese G, Cordasco G. Effectiveness of orthodontic treatment with functional appliances on mandibular growth in the short term. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2011;139:24–36.
93. Baysal A, Uysal T. Dentoskeletal effects of Twin Block and Herbst appliances in patients with Class II division 1 mandibular retrognathia. *Eur J Orthod.* 2014;36:164–72.
94. Bilgiç F, Hamamci O, Başaran G. Comparison of the effects of fixed and removable functional appliances on the skeletal and dentoalveolar structures. *Austr Orthod J.* 2011; 27:110–6.
95. Dalci O, Altug AT, Memikoglu UT. Treatment effects of a twinforce bite corrector versus an activator in comparison with an untreated Class II sample: a preliminary report. *Austr Orthod J.* 2014;30:45–53.
96. Koretsi V, Zymperdikas VF, Papageorgiou, S.N. and Papadopoulos, M.A. Treatment effects of removable functional appliances in patients with class II malocclusion: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod.* 2015;37(4):418–34.

97. Santamaría-Villegas A, Manrique-Hernandez R, Alvarez-Varela E, Restrepo-Serna C. Effect of removable functional appliances on mandibular length in patients with class II with retrognathism: systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*. 2017;17:52.
98. Broadbent BH. A new x-ray technique and its Application to orthodontia. *Angle Orthod*. 1931; 1:45-66.
99. Baumrind S, Moffit FH, Curry S. The geometry of three-dimensional measurements from paired colpanar x-ray images. *Am J Orthod*. 1983; 84:313-22.
100. Vig PS. Orthodontic controversies: their origins, controversies and resolution. In: Melsen B. *Current controversies in orthodontics*. Chicago: Editora Quintessence; 1991.
101. Hatcher DC. NewTom 9000. *AADMRT Newsletter*. 2002;2(1):16-7.
102. Garib DG, Raymundo Jr R, Raymundo MV et al. Tomografia computadorizada de feixe cônico (Cone beam): entendendo este novo método de diagnóstico por imagem com promissora aplicabilidade na Ortodontia. *R Dental Press Ortodon Ortop Facial*. 2007; 12(2):139-56.
103. Kirchgeorg MA, Prokop M. Increasing spiral CT benefits with postprocessing applications. *Eur J Radiol*. 1998;28(1):39-54.
104. Carvalho FAR. Avaliação da estabilidade da cirurgia de avanço mandibular através da superposição de modelos tridimensionais. 2009. 79f. Dissertação (Mestrado em Odontologia) - Faculdade de Odontologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
105. Yushkevich PA, Piven J, Hazlett HC et al. User-guided 3D active contour segmentation of anatomical structures: significantly improved efficiency and reliability. *Neuroimage*. 2006;31:1116-28.
106. Cevidanes LH, Tucker S, Styner H. Three-dimensional surgical simulation. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2010;138(3):361-71.
107. Hemmy DC, Tessier PL. CT of dry skulls with craniofacial deformities: accuracy of three-dimensional reconstruction. *Radiology*. 1985;157(1):113-6.
108. Baster M, Rosas A, O'Higgins P. Craniofacial levels and the morphological maturation of the human skull. *J Anat*. 2006; 209:637-54.
109. Baumrind S, Ben-Bassat Y, Bravo LA et al. Partitioning the components of maxillary tooth displacement by the comparison of data from three cephalometric superimpositions. *Angle Orthod*. 1996;66:111-24.
110. Efstratiadis S, Baumrind S, Shofer F et al. Evaluation of Class II treatment by cephalometric regional superimpositions versus conventional measurements. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2005;128:607-18.

111. Cevidanes LH, Franco AA, Gerig G et al. Assessment of mandibular growth and response to orthopedic treatment with 3-dimensional magnetic resonance images. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2005;128:16-26.
112. Lagravère MO, Han J, Bogowicz P, Heo G. Cranial base growth in adolescence assessed through cone-beam computerized tomographies – pilot study. *Int Orthod.* 2015;13(3):302-19.
113. Gkantidis N, Schauseil M, Pazera P, Zorkun B, Katsaros C, Ludwig B. Evaluation of 3-dimensional superimposition techniques on various skeletal structures of the head using surface models. *PloS ONE.* 2015;10(2):e0118810.
114. Tai K, Park JH, Mishima K, Hotokezaka H. Using superimposition of 3-dimensional cone-beam computed tomography images with surface-based registration in growing patients. *J Clin Ped Dent.* 2010; 34(4):361-7.
115. Almkhatar A, Xiangyang J, Balvinder K, McDonald J, Ayoub A. Comparison of the accuracy of voxel based registration and surface based registration for 3D assessment of surgical change following orthognathic surgery. *PloS ONE.* 2014;9(4):e93402.
116. Bookstein FL, Schafer K, Prossinger H et al. Comparing frontal cranial profiles in archaic and modern homo by morphometric analysis. *Anat Rec.* 1999;257:217-24.
117. Bookstein FL. *Morphometric Tools for Landmark Data.* 1^a ed. Cambridge, Cambridge University Press, 1991.
118. Melsen B. The cranial base. *Acta Odontol Scand.* 1974;32(suppl 62):323-34.
119. Chapuis J, Schramm A, Pappas I et al. A new system for computer-aided preoperative planning and intraoperative navigation during corrective jaw surgery. *IEEE Trans Inf Technol Biomed.* 2007;11:274-87.
120. Andresen R, Bookstein FL, Conradsen K et al. Surfacebounded growth modeling applied to human mandibles. *IEEE Trans Med Imaging.* 2000;19:1053-63.
121. Mitteroecker P, Gunz P, Bookstein FL. Semilandmarks in three dimensions. *Evol Dev.* 2005;7:244-58.
122. Gerig G, Jomier M, Chakos M, et al: A new validation tool for assessing and improving 3D object segmentation. *Med Image Comput Comput Assist Interv Int Conference. Med Image Comput. Comput Assist Interv.* 2001;2208:516-28.
123. Fränkel, R. The applicability of the occipital reference base in cephalometrics. *Am J Orthod.* 1980;77(4):379-95.
124. Cheib PL, Cevidanes LHS, Ruellas ACO et al. Displacement of the Mandibular Condyles Immediately after Herbst Appliance Insertion - 3D Assessment. *Turk J Orthod.* 2016; 29(2):31-7.

125. Moher D, Hopewell S, Schulz KF, Montori V, Gøtzsche PC, Devereaux PJ, Elbourne D, Egger M, Altman DG, Consolidated Standards of Reporting Trials Group. CONSORT 2010 Explanation and Elaboration: Updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *J Clin Epidemiol.* 2010;63(8):e1-37.
126. Martin J, Pancherz H. Mandibular incisor position changes in relation to amount of bite jumping during Herbst/multibracket appliance treatment: a radiographic-cephalometric study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;136(1):44-51.
127. Baccetti T, Franchi L, McNamara Jr JA. The Cervical Vertebral Maturation (CVM) Method for the Assessment of Optimal Treatment Timing in Dentofacial Orthopedics. *Semin Orthod.* 2005;11(3):119-29.
128. Mercadante MMN. Radiografia de mão e punho. In: FERREIRA, F. V. Ortodontia: diagnóstico e planejamento clínico. 1ª ed. São Paulo: Artes Médicas, 1996:187-216.
129. Brunharo IHVP, Quintão CA. O aparelho Twin Block - técnica de confecção e aplicação clínica. *Rev Bras Odontol.* 2001;58:373-7.
130. Clark W. Design and management of Twin Blocks: reflections after 30 years of clinical use. *J Orthod.* 2010;37:204-11.
131. Brunharo IHVP, Quintão CA, Almeida MAO, Motta A, Barreto SY N. Alterações dentoesceléticas decorrentes do tratamento com aparelho ortopédico funcional Twin Block em pacientes portadores de má oclusão de Classe II esquelética. *Dental Press J Orthod* 2011;16:1-8.
132. Pancherz H, Ruf S. The Herbst Appliance. Research-based clinical management. Alemanha. Quintessence. 2008. 266 p.
133. Ruellas ACO, Yatabe MS, Souki BQ, Benavides E, Nguyen T, Luiz RR et al. 3D Mandibular superimposition: comparison of regions of reference for voxel based registration. *PLoS ONE.* 2016;11(6):e0157625.
134. Illing HM, Morris DO, Lee RT. A prospective evaluation of Bass, Bionator and Twin Block appliances. Part I – the hard tissues. *Eur J Orthod.* 1998;20:501-16.
135. Chan YH. Randomised Controlled Trials (RCTs) – Sample Size: The Magic Number?. *Singapore Med J.* 2003;44(4):172-4.
136. American Dental Association. ADA Policy on evidence-based dentistry. Definition of evidence based dentistry. Chicago: ADA; 2008.
137. Luiz RR, Costa AJL, Nadanovksy P. Epidemiologia e bioestatística na pesquisa odontológica. São Paulo: Editora Atheneu, 2005.
138. Oliveira MAP, Velarde LGC, Sá RAM. Ensaios clínicos randomizados: Série Entendendo a Pesquisa Clínica 2. *FEMINA.* 2015;43(1):7-11.

139. Batista K, Thiruvengkatachari B, O'Brien K. Intention-to-treat analysis: Are we managing dropouts and missing data properly in research on orthodontic treatment? A systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2019;155:19-27.
140. Borba AM, Haupt D, de Almeida Romualdo LT, da Silva AL, da Graca Naclerio-Homem M, Miloro M. How many pral and maxillofacial surgeons does it take to perform virtual orthognathic surgical planning? *J Oral Maxillofac Surg.* 2016;74(9): 1807-26.
141. Borba AM, Haupt DB, Silva ALF, Brozoski MA, Naclerio-Homem MDG, Miloro M. Inaccuracies on Virtual Planned Orthognathic Cases: a retrospective evaluation. *J Oral Maxillofac Surg.* 2016;74(9):e-25-6.
142. Li Y, Jiang Y, Zhang N, Xu R, Hu J, Zhu S. Clinical feasibility and efficacy of using virtual surgical planning in bimaxillary orthognathic surgery without intermediate splint. *J Craniofac Surg.* 2015;26(2):501-5.
143. Stokbro K, Aagaard E, Torkov P, Bell RB, Thygesen T. Surgical accuracy of three-dimensional virtual planning: a pilot study of bimaxillary orthognathic procedures including maxillary segmentation. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2016;45(1):8-18.
144. Gaber RM, Shaheen E, Falter B, Araya S, Politis C, Swennen GRJ, et al. A Systematic Review to Uncover a Universal Protocol for Accuracy Assessment of 3-Dimensional Virtually Planned Orthognathic Surgery. *J Oral Maxillofac Surg.* 2017;75(11):2430-40.
145. Rosner B. *Fundamentals of biostatistics.* Brooks Cole. Pacific Grove, California, EUA. 5^a Ed. 2000. 792 p.
146. Bobek SL, Farrell BB, Farrel BB, Tucker M. Simplified Protocol of Virtual Surgical Planning for Orthognathic Surgery. *J Oral Maxillofac Surg.* 2012;70(90): e-68-9.
147. Zinser MJ, Mischkowski RA, Sailer HF, Zoller JE. Computer-assisted orthognathic surgery: feasibility study using multiple CAD/CAM surgical splints. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2012;113(5):673-87.
148. Hernandez-Alfaro F, Guijarro-Martinez R. New protocol for three-dimensional surgical planning and CAD/CAM splint generation in orthognathic surgery: an in vitro and in vivo study. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2013;42(12):1547-56.
149. Schouman T, Rouch P, Imholz B, Fasel J, Courvoisier D, Scolozzi P. Accuracy evaluation of CAD/CAM generated splints in orthognathic surgery: a cadaveric study. *Head Face Med.* 2015;11:24.
150. Hsu SS, Gateno J, Bell RB, Hirsch DL, Markiewicz MR, Teichgraeber JF, et al. Accuracy of a computer-aided surgical simulation (CASS) protocol for orthognathic surgery: a prospective multicenter study. *J Oral Maxillofac Surg.* 2013;71(1):128-42.
151. Kondo S, Townsend G, Yamada H. Sexual dimorfism of cusp dimensions in human maxillary molars. *Am J Physical Antropol.* 2005; 128:870-7.

152. Hansen K, Pancherz H, Hägg U. Long-term effects of the Herbst appliance in relation to the treatment growth period: a cephalometric study. *Eur J Orthod.* 1991;13:471–81.
153. Nelson B, Hansen K, Hägg U. Class II correction in patients treated with Class II elastics and with fixed functional appliances: a comparative study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000;118:142–9.
154. Johnston LE. A comparative analysis of Class II treatments. In: Vig P S, Ribbens K A (eds). *Science and clinical judgment in orthodontics, Craniofacial Growth Series.* 1985. Centre for Human Growth and Development, Ann Arbor, p. 103–148.
155. Johnston LE. Balancing the books on orthodontic treatment: an integrated analysis of change. *Br J Orthod.* 1996;23:93–102.
156. Männchen R. A critical evaluation of the pitchfork analysis. *Eur J Orthod.* 2001;23:1–14.
157. Hashim HA, Godfrey K. The reproducibility of Johnston's cephalometric superimposition method. *Austr Orthod J.* 1990;11(4):227–31.

APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido Pós-informação.



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
Faculdade de Odontologia

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido Pós-Informação

“AVALIAÇÃO TOMOGRÁFICA DOS EFEITOS DE PROPULSORES MANDIBULARES NO TRATAMENTO DE PACIENTES RETROGNATAS EM CRESCIMENTO”

Prezado Sr (a):

A Faculdade de Odontologia da UERJ está realizando uma pesquisa com o objetivo de avaliar o crescimento esquelético e as características dentárias de pacientes retrognatas em crescimento, com idade de 10 a 14 anos, submetidos a tratamento ortodôntico com aparelhos propulsores mandibulares. Para isto, será necessária a coleta de informações utilizando-se exames de tomografia computadorizada ao longo do tratamento dos pacientes da Clínica de Ortodontia da UERJ com os propulsores tipo Herbst ou Twin Block, com uso de ancoragem dentária ou com o auxílio de mini-implantes. A participação na pesquisa é voluntária, o que significa que você poderá desistir a qualquer momento, retirando seu consentimento, sem que isso lhe traga nenhum prejuízo ou penalidade. Os procedimentos realizados não apresentam riscos para quem será tratado. Mesmo que o paciente não aceite participar da pesquisa permanecerá sob acompanhamento sem nenhum constrangimento ou discriminação. Caso não haja interesse em participar do estudo, sua recusa não causará nenhum prejuízo ao seu possível tratamento nesta instituição. Se você tiver algum gasto que seja devido à sua participação na pesquisa, você será ressarcido, caso solicite. Em qualquer momento, se você sofrer algum dano comprovadamente decorrente desta pesquisa, você terá direito a indenização. Os pacientes receberão uma cópia deste termo devidamente assinada pelos responsáveis pela pesquisa. Em qualquer etapa do estudo, você poderá ter acesso ao profissional responsável (Nathália) para informação adicional pelo telefone (21) 988830124. Para maiores esclarecimentos quanto às questões éticas da pesquisa, por favor, entrar em contato com a Secretária do Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário Pedro Ernesto, CEP-HUPE no telefone (21) 2868-8253 na Boulevard 28 de setembro, 77 – Vila Isabel – Rio de Janeiro/RJ. Os dados coletados serão mantidos em sigilo, manipulados apenas pelos responsáveis pela pesquisa e arquivados por período indeterminado. Entretanto, os resultados em sua totalidade serão publicados em literatura científica especializada, e estarão também disponíveis para consulta na Biblioteca da Faculdade de Odontologia da UERJ.

Atenciosamente,

Nathália Barbosa Palomares, CD
Doutoranda em Ortodontia – UERJ

Prof. Klaus Barretto Lopes, CD, DO
Professor - UERJ

Prof. José Augusto Miguel, CD, DO
Professor Adjunto de Ortodontia da UERJ e orientador da pesquisa

Declaro que compreendi os objetivos deste estudo, como ele será realizado, os riscos e benefícios envolvidos e autorizo a participação de meu(minha) filho(a) na pesquisa acima discriminada.

Rio de Janeiro, ____ de _____ de _____.

Nome do responsável pelo(a) paciente em letra de forma: _____

Número do documento de identidade do responsável pelo(a) paciente: _____

Nome do(a) paciente em letra de forma: _____

Endereço: _____

Telefones: _____

Assinatura ou impressão dactiloscópica



APÊNDICE B – Sequência detalhada de comandos efetuados no programa ITK-SNAP.

1. Para abrir o arquivo DICOM das tomografias:
 - 1.1. Copiar a pasta que contém o arquivo dos cortes de tomografia gravado no CD-ROM enviado pelo centro de documentação para o computador.
 - 1.2. Abrir o programa ITK-SNAP.
 - 1.3. Clicar no menu “File”, à esquerda na barra superior do menu do software, depois selecionar a opção “Open image”.
 - 1.4. Na janela “Open Main Image”, clicar no ícone “Browse”. Uma nova janela será aberta, que permite localizar o arquivo de tomografia que foi copiado para o “Desktop”. Deve-se abrir a pasta de arquivos e selecionar um corte “.dcm” da pasta. Clicar em “Open Image”. A janela secundária vai fechar e retornar para a janela anterior. Clicar em “Next”.
 - 1.5 Na próxima janela, clicar em “Next”.
 - 1.6 Na próxima janela, clicar em “Finish”.
 - 1.7 Surgirá a tela principal do ITK-SNAP com a tomografia do paciente exibida nas quatro janelas: visões axial, coronal e sagital dos cortes e a tridimensional.

2. Para converter as tomografias em formato DICOM para o formato .GIPL:
 - 2.1 Na barra superior, clicar no menu “File”, na opção “Save Image” e “Main image”;
 - 2.2 Na janela que abrir, clicar em “Browse” para selecionar o local do seu computador em que será salvo o novo arquivo da tomografia do paciente. Crie uma pasta com o nome do seu paciente e clique em “OK”.
 - 2.3 No campo em branco, renomeie o arquivo, com final “.gipl”. *Exemplo:* “paciente1greyscale.gipl”. Clique no ícone “Next”.
 - 2.4 Na próxima janela, clique em “Finish”.
 - 2.5 A janela vai fechar e a tela principal do ITK-SNAP agora vai exibir o novo arquivo de tomografia, em formato .GIPL.

3. Para segmentar as estruturas anatômicas:
 - 3.1 Abrir a tomografia em formato “.gipl” no ITK-SNAP;
 - 3.2 No menu de ferramentas à esquerda, clicar no ícone “Segmentation” (símbolo de uma cobra em formato de S).
 - 3.3 Selecionar somente a estrutura anatômica de interesse que será segmentada (por exemplo, selecionar só os dentes desejados, maxila, mandíbula,), posicionando o ponteiro do mouse sobre a linha tracejada vermelha, clicando sobre a linha e arrastando-a.
 - 3.4 Depois de definir a área, clicar em “Segment 3D” no menu à esquerda;
 - 3.5 As janelas agora vão mostrar somente os cortes da área de interesse selecionada. No menu à direita, no item A, deve-se selecionar a ferramenta de segmentação a ser utilizada.
 - 3.5.1 **Para segmentar dentes ou osso cortical:**
 - 3.5.1.1 Na 1ª tela “Step 1/3”, selecionar a ferramenta “Thresholding”, que permite selecionar parâmetros em uma escala de tons de cinza das estruturas anatômicas na TC (que correspondem às diferentes densidades dos tecidos mineralizados). Surgirá uma tela similar à esta abaixo, na seleção de ferramenta “Thresholding”. Deve-se arrastar o cursor abaixo de “Upper threshold” o máximo possível para a direita. Já o cursor de “Lower threshold” deve ser manipulado lentamente para a direita/esquerda, até que a imagem a ser segmentada fique bem definida e branca, e o que não deve ser segmentado fique completamente azul. Clicar em “Next”.

3.5.1.2 Na tela “*Step 2/3 Initialization*”, clicar na região anatômica que se deseja segmentar e em seguida, clicar no comando “*Add bubble at cursor*”. Deve-se inserir algumas bolhas na estrutura que deve ser preenchida. Clicar em “*Next*”.

3.5.1.3 Na tela “*Step 3/3 Evolution*”, no comando “*Execute and control the evolution*”, há uma barra com os símbolos de setas correspondentes a “*Play*”, “*Backward*” e “*Forward*”. Para fazer as bolhas expandirem e preencherem a estrutura, deve-se clicar no comando “*Play*”. Logo que clicado o “*Play*”, o símbolo se torna um “*Pause*”. Deve-se ficar atento à expansão das bolhas; quando atingirem a forma desejada, clicar em “*Pause*”. Quando a estrutura estiver toda preenchida, clicar em “*Finish*”.

3.5.1.3 Retornará a tela principal do ITK-SNAP com a tomografia completa. Clicar no menu “*Update*”, logo abaixo da janela 3D, para visualizar a região segmentada.

3.5.1.4 Para mudar a camada de segmentação ativa, clicar no ícone  do menu de ferramentas à esquerda para mudar a camada da “*Foreground label*”.

3.5.2 Para segmentar osso medular ou cartilagem condilar: Na 1ª tela “*Step 1/3*”, no menu “*Pre-segmentation mode*”, selecionar a ferramenta “*Edge Attraction*”, que permite ajustar parâmetros de contorno e preenchimento das estruturas.

3.5.2.1 No menu à direita, deve-se ajustar o grau de lisura e de espessura de definição dos contornos. Depois de ajustar os parâmetros, clicar em “*Next*”;

3.5.2.2 Clicar dentro de uma estrutura a ser preenchida e selecionar “*Insert bubble*” para inserir uma bolha que vai iniciar o processo de preenchimento das imagens da estrutura anatômica de interesse. A área branca selecionada pelos parâmetros será preenchida pela bolha. Devem ser inseridas bolhas nas regiões brancas que não tiverem comunicação entre si. Depois de inserir todas as bolhas, clicar em “*Next*”;

3.5.2.2 A próxima tela tem controles de setas com os símbolos de “*Play*”, “*Back*” e “*Forward*” para controlar o crescimento das bolhas. Clicar no ícone do “*Play*”. Clicar em “*Pause*” quando se observar que a estrutura de interesse em branco já foi preenchida, para evitar vazamentos.

3.5.2.2 Quando o preenchimento pelas bolhas ficar adequado, clicar em “*Finish*” para finalizar a segmentação realizada. Se ficar inadequado, clicar em “*Back*” uma vez para alterar as bolhas (apagar ou acrescentar novas) ou clicar “*Back*” duas vezes para retornar ao ajuste de parâmetros iniciais e refazer todo o processo.

3.5.2.2 Depois de clicar em “*Finish*”, a tela retornará à inicial, com a área total de todos os cortes da tomografia do paciente, mostrando de forma colorida as regiões preenchidas pela segmentação. Para visualizar a segmentação na janela tridimensional (inferior esquerda), clicar em “*Update Mesh*”.

3.6 Para salvar a segmentação: No menu “*Segmentation*” da barra superior, clicar em “*Save segmentation image*”. Na janela que abrir, selecionar a pasta em que será salvo o arquivo, através do menu “*Browse*”. O nome do arquivo da segmentação também deve ser salvo no formato “.*gipl*”. Observação: a cada vez que for necessário retomar uma segmentação previamente realizada, deve-se primeiro abrir o arquivo “.*gipl*” da tomografia e depois abrir o arquivo da segmentação.

4. Para exportar os modelos 3D em formato .STL:

4.1 Na barra de tarefas superior, clicar no menu “*Segmentation*”, e a seguir no comando “*Export as surface mesh*”.

4.2 Na próxima tela, selecionar a opção “*Export a mesh for a single label*” e na barra abaixo, selecionar qual camada será exportada individualmente. Clicar em “*Next*” e selecionar onde será salvo o arquivo .STL do modelo 3D da camada selecionada. Clicar em “*Finish*”.

APÊNDICE C – Sequência detalhada de comandos efetuados no programa Dolphin Imaging®.

1. Para abrir as tomografias em formato DICOM e compactá-las em 30%:
 - 1.1 Na parte superior da barra lateral à esquerda da tela principal do programa, clicar no primeiro ícone, “*Patients*”;
 - 1.2 Na tela “*Patient lookup*”, clicar no comando “*New patient*” e a seguir, selecionar a opção “*New Patient from DICOM (with downsizing option)...*”. A nova janela permite localizar a pasta em que o arquivo DICOM está armazenado no computador. Clicar em “*Open*”.

2. Para orientar a cabeça nas tomografias T1:
 - 2.1 Na janela que surge imediatamente após a importação e compactação do arquivo DICOM da tomografia T1, na barra de tarefas à esquerda, clicar na ferramenta “*Orientation*”.
 - 2.2 Na janela “*Orientation calibration*”, no menu esquerdo superior, logo abaixo de “*Volume*”, clicar em “*Solid*”, na opção “*Hard tissue*”, para visualizar o volume sólido dos tecidos duros.
 - 2.3 No menu “*Auto alignment tool*” clicar no comando “*Using line*”, que permite escolher dois pontos de referência: o programa reorienta a tomografia de maneira que a linha determinada entre os pontos selecionados fique horizontal ou vertical.
 - 2.4 Na vista frontal das tomografias, posicionar o ponteiro do cursor em cima do ponto rosa que limita a linha verde, à esquerda. Clicar em cima do ponto e arrastar para o ponto mais inferior do orbital direito. Soltar. Posicionar o ponteiro do cursor em cima do ponto rosa que limita a linha verde, à direita. Clicar em cima do ponto e arrastar para o ponto mais inferior do orbital esquerdo. Soltar.
 - 2.5 No menu “*Auto alignment tool*”, à esquerda, clicar em “*Horizontal*”: o programa reorienta a tomografia para que o plano orbital se torne horizontal.
 - 2.6 Na barra de ferramentas superior “*Orientation*”, acima da imagem da tomografia, clicar em “*Right*” para visualizar a vista sagital direita.
 - 2.7 Na vista sagital direita das tomografias, posicionar o ponteiro do cursor em cima do ponto rosa que limita a linha verde, à esquerda. Clicar em cima do ponto e arrastar para o ponto mais superior do pório direito. Soltar. Posicionar o ponteiro do cursor em

cima do ponto rosa que limita a linha verde, à direita. Clicar em cima do ponto e arrastar para o ponto mais inferior do orbital direito. Soltar.

- 2.8 No menu “*Auto alignment tool*”, à esquerda, clicar em “Horizontal”: o programa reorienta a tomografia para que o plano horizontal de Frankfurt direito se torne horizontal.
 - 2.9 Na barra de ferramentas superior “*Orientation*”, acima da imagem da tomografia, clicar em “*Left*” para visualizar a vista sagital esquerda.
 - 2.10 Na vista sagital esquerda, arrastar os pontos para o pório esquerdo e o orbital esquerdo e utilizar o comando “horizontal” da mesma forma descrita nos itens 2.7 e 2.8: o programa reorienta a tomografia para que o plano horizontal de Frankfurt esquerdo se torne horizontal.
 - 2.11 Na barra de ferramentas superior “*Orientation*”, acima da imagem da tomografia, clicar em “*Front*” para visualizar a vista frontal. Posicionar o cursor do ponteiro em cima do plano médio sagital, clicar e arrastá-lo para atravessar o ponto glabella.
 - 2.12 Para salvar esta orientação de cabeça na base de dados do Dolphin: no menu à esquerda “*Database save/restore*”, clicar no comando “*Save*”.
 - 2.13 Na janela “*Save orientation*”, na lista de “*Slot/Name*” foi selecionada a opção “*0 / PNC*”. Clicar em “OK”.
 - 2.13 A janela se fecha e retorna à tela “*Orientation calibration*”. No menu inferior esquerdo, clicar em “OK”.
3. Para superpor as tomografias T2 em relação à base anterior do crânio de T1 e exportar os arquivos das TCFCs superpostas em .STL:
 - 3.1 Na interface do programa com a tomografia T1 aberta, na barra de ferramentas à esquerda, clicar no comando “*Superimposition*”.
 - 3.2 Na nova janela “*Volume chooser*”, clicar no ícone da tomografia T2. Em seguida, clicar em “OK”.
 - 3.3 Na janela “*Superimposition*” à esquerda, em “*Base Volume*”, localiza-se a tomografia de referência, T1. À direita, em “*2nd Volume*”, situa-se a tomografia T2. No menu à esquerda, os comandos “*Hard tissue*” e “*Solid*” devem estar selecionados.
 - 3.4 A 1ª etapa “*Method Side-by-Side Superimposition*” consiste em marcar 03 pontos de alinhamento na tomografia T1. Posicionar o ponteiro do cursor em cima do ponto 1 na tomografia T1 e arrastar para um ponto anatômico de fácil visualização. Efetuar o

mesmo com os pontos 2 e 3. Neste estudo, foram utilizados como referência os pontos mais superiores da órbitas esquerda e direita e a espinha nasal anterior.

- 3.5 Posicionar o ponteiro do cursor em cima do ponto 1 na tomografia T2 e arrastar para os pontos anatômicos correspondentes aos utilizados em T1 (descrito no item 3.4).
- 3.6 No menu à esquerda, clicar no comando “*Superimpose now!*”. O programa efetua um pré-alinhamento das duas tomografias, com base nos pontos anatômicos selecionados, para facilitar a futura superposição na região especificada.
- 3.7 No menu superior, clicar no comando para a 2ª etapa “*Method: Overlay Superimposition*”.
- 3.8 Na nova janela, visualiza-se as duas tomografias superpostas, nas cores branco e verde. No menu à esquerda, clicar no comando “*Auto Superimposition*”.
- 3.9 Na janela “*Volume/Volume auto superimposition*”, selecionar a opção “*Superimpose on a sub-region of the volumes*”. Esta opção permite restringir a área que o programa deve comparar nas duas tomografias para efetuar o registro baseado em *voxels*.
- 3.10 Colocar o ponteiro do cursor em cima da janela “*Volume/Volume auto superimposition*”, clicar e arrastar para a esquerda, para permitir visualizar a tela ao fundo, na qual visualiza-se os cortes coronais, sagitais e axiais e os modelos 3D de tecido duro (gerados pela segmentação automática do Dolphin Imaging®) das duas tomografias.
- 3.11 Para restringir a área da superposição à base do crânio anterior, na janela dos cortes coronais “*Coronal slice*”, posicionar o ponteiro do cursor em cima da linha do retângulo vermelho, clicar e arrastar. O retângulo deve ser modificado até incluir os limites anatômicos desejados. Efetuar o mesmo nas janelas “*Sagittal slice*” e “*Axial slice*”. Os limites anatômicos utilizados foram: parede anterior da sela, processos clinóides anteriores, plano esfenoidal, asas menores do esfenóide, aspecto superior do etmóide e da placa cribiforme, cristas corticais das superfícies mediais e superiores do teto das órbitas e cortical interna do osso frontal.
- 3.12 Na janela “*Volume/Volume auto superimposition*”, clicar em “*Superimpose now!*”. O programa efetuará movimentos de translação e rotação na tomografia de T2, comparando os *voxels* da região selecionada na base craniana anterior, até obter o melhor alinhamento possível, de forma automática.
- 3.13 Analisar o resultado da superposição automática efetuada pelo programa. Se necessário, os limites anatômicos podem ser reajustados para repetir o processo.

Quando for observado o perfeito alinhamento dos cortes de T1 e T2 na região selecionada, clicar em “Done” para finalizar a superposição.

- 3.14 No menu superior, clicar no comando para a 3ª etapa “*Analysis: Verify result*”.
Visualiza-se as duas tomografias superpostas.
- 3.15 Para exportar o arquivo da tomografia T2 registrada em relação a T1, no menu à esquerda, clicar no comando “*Convert 2nd Volume to STL*”.
- 3.16 Na nova janela “*Create surface from volume*”, visualiza-se o modelo 3D obtido pela segmentação automática do Dolphin Imaging. No menu à esquerda, “*Volume*”, deve-se arrastar o cursor para esquerda ou direita, para ajustar os parâmetros da segmentação automática, até visualizar uma imagem de boa qualidade dos tecidos duros do paciente.
- 3.17 No menu à esquerda, “*Surface creation*”, clicar na opções de “*Create at Resolution*” e selecionar “*Good (default)*”, para gerar um modelo 3D de boa qualidade.
- 3.18 Clicar no comando “*Create surface now!*”, para exportar o modelo 3D para formato .STL
- 3.19 Clicar no comando “*Save now*” para salvar o arquivo .STL do modelo 3D de T2 na base de dados do Dolphin Imaging®.
- 3.20 Na nova janela “*Select photo/surface*”, o programa oferece uma lista de opções de locais para salvar o arquivo .STL. Neste estudo, foi selecionada a opção “*Miscellaneous 1*” para todos os pacientes. Clicar em “OK”.
- 3.21 Fechar a janela “*Create surface from volume*”.
- 3.22 Na janela “*Superimposition*”, clicar em “OK”.
- 3.23 A interface do programa retorna à do início, do item 3.1, com a tomografia T1 aberta.
No menu à esquerda, logo abaixo de “*Photos/Surfaces*”, clicar no comando “*Add*” e a seguir selecionar a opção “*Create Soft Tissue Surface (From Volume)...*”, para exportar o modelo 3D de tecidos duros da tomografia T1 orientada.
- 3.24 Na nova janela “*Create surface from volume*”, no menu superior esquerdo “*Volume*”, arrastar o cursor do comando “*Seg*” para a direita, para alterar os parâmetros de segmentação automática do programa até visualizar um modelo 3D dos tecidos duros de T1 adequado.
- 3.25 Clicar no comando “*Create surface now!*”, para gerar o modelo 3D.
- 3.26 Clicar no comando “*Save now*” para salvar o modelo 3D de T1 na base de dados do Dolphin. Fechar a janela.
- 3.27 No menu à esquerda, clicar no comando “*Select / display...*”

3.28 Na janela “*Select photos/surfaces for display*”, marcar as caixas de seleção “*Soft Tissue Surface (From Volume)...*” e “*Miscellaneous 1*” e clicar no comando “*Export selected surfaces*”, para exportar os modelos 3D da base de dados interna do programa para uma pasta no computador.

3.29 Na janela “*Export surfaces*”, selecionar o formato “*.STL - binary*” e a opção “*Export to individual files in the following folder*”. No campo “*Export to folder*”, clicar em “*Browse*”, para selecionar a pasta do computador em que serão salvos os arquivos .STL dos modelos 3D das tomografias T1 e T2 orientadas e superpostas. Clicar em “*OK*”.

3.30 Na janela “*Export surfaces*”, clicar no comando “*Export now*”.

3.31 Na pasta selecionada no item 3.25, localizam-se os modelos 3D de tecido duro de T1 e T2, orientados e superpostos, em formato .STL.

4. Para criar o Modelo para Transferência das Coordenadas (MTC):

4.1 Na interface principal do Dolphin Imaging®, com a tomografia T1 (orientada) aberta: no menu à esquerda, acionar a ferramenta “*3D*” na opção “*Edit*”.

4.2 Na nova janela, no menu “*Volume*”, foi selecionada a opção “*Solid*”. Foram ajustados os parâmetros para obter a visualização 3D dos tecidos moles da face do paciente em T1.

4.3 Acionar a caixa de seleção da ferramenta “*Use Volume Sculpting*” e clicar no comando “*Edit*”, à direita.

4.4 Na nova janela “*Sculpting tool*”, selecionar a ferramenta “*Restrict to Within Viewing Slice*”, que apresenta o aspecto abaixo:



4.5 Esta ferramenta foi utilizada para seccionar o modelo 3D dos tecidos moles nos três planos do espaço. Cada ícone abaixo da barra representa uma ferramenta de recorte nos 03 planos: axial, coronal e sagital.

4.6 Clicar no 1º ícone . Este comando secciona o modelo 3D do tecido mole de T1 no plano médio-sagital determinado na orientação da cabeça. A seguir, acionar o comando

“*Sculpt out all not shown*”, para o programa apagar do modelo 3D toda a região que não está sendo visualizada.

4.7 Clicar no 2º ícone . Este comando secciona o modelo 3D do tecido mole de T1 no plano axial determinado na orientação da cabeça. O cursor da barra de controle (imagem abaixo) foi deslocado para localizar a região do corte axial coincidente com o limite inferior da pálpebra direita do paciente. Este ponto anatômico de tecido mole foi selecionado por ser próximo ao orbital direito (selecionado na orientação da cabeça). A seguir, acionar o comando “*Sculpt out all not shown*”, para o programa apagar do modelo 3D toda a região que não está sendo visualizada.



4.8 Clicar no 3º ícone . Este comando secciona o modelo 3D do tecido mole de T1 no plano coronal determinado na orientação da cabeça. O cursor da barra de controle foi deslocado para localizar a região do corte coronal coincidente com o bázio (na vista sagital). A seguir, foi acionado o comando “*Sculpt out all not shown*”, e o programa apagou do modelo 3D toda a região que não era visualizada.

4.9 No menu “*Exporting*”, foi selecionada a ferramenta “*Create surface from volume*” para criar o modelo de superfície 3D do MTC a partir do arquivo da tomografia.

4.10 Na próxima janela “*Create Surface from Volume*”, visualizou-se o modelo 3D gerado automaticamente pelo programa. Foi selecionado o comando “*Create surface now!*”. O programa converteu volume em superfície.

4.11 Para exportar o modelo de superfície 3D do MTC, foi utilizada a ferramenta “*Save surface to file*” no formato “*STL - binary*” e acionado o comando “*Save now...*”.

4.12 Na janela “*Save*”, foi localizada a pasta do computador para a qual foi exportado o arquivo .STL do modelo 3D do MTC. Clicar em “*Save*”.

APÊNDICE D – Sequência detalhada de comandos efetuados no programa Geomagic Qualify®.

1. Para importar todos os arquivos .STL dos modelos 3D gerados nos programas Dolphin Imaging® (MTC, tecido duro total de T1 e tecido duro total de T2) e ITK-SNAP (modelos detalhados de incisivos, 1^{os} molares, maxila e mandíbula) para o Geomagic:

1.1 Na tela de abertura do programa, acionar o comando “*Import*”.

1.2 Localizar a pasta do computador em que foram salvos os arquivos .STL, selecioná-los e clicar em “*Open*”.

1.3 Na interface principal do programa, na janela à esquerda, denominada “*Model Manager*”, situa-se a lista de arquivos dos modelos 3D em formato .STL, cada uma com um símbolo de pirâmide.

2. ETAPA OPCIONAL: Para organizar os diversos modelos .STL em pastas do Geomagic:

2.1 Na janela “*Model Manager*”, selecionar os arquivos .STL de tecido duro T1 e T2 gerados no Dolphin, clicar com o botão direito e selecionar o comando “*Create Group*”.

2.2 No topo da lista de modelos, surgirá uma pasta automaticamente denominada “*Group 1*”, que contém ambos os arquivos. Clicar com o botão direito em cima da pasta e acionar o comando “*Rename*” para alterar o nome da pasta. Neste caso, foi renomeado para “*Dolphin – tecido duro*”.

2.3 Efetuar os mesmos passos dos itens 2.1 e 2.2 para criar uma pasta que reúna os 8 arquivos .STL detalhados gerados pelo ITK-Snap (IS, ii, 16, 26, 36 e 46, maxila e mandíbula) de T1.

2.4 Efetuar os mesmos passos dos itens 2.1 e 2.2 para criar uma pasta que reúna os 8 arquivos .STL detalhados gerados pelo ITK-Snap (IS, ii, 16, 26, 36 e 46, maxila e mandíbula) de T2.

3. Para recortar os modelos 3D das estruturas:

3.1 Na barra de ferramentas superior, selecionar o menu “*Select*” e a seguir, a ferramenta “*Selection mode*”, na opção “*Select through*”; e também a ferramenta “*Selection tool*”, na opção “*Polyline*”. Com esta seleção de ferramentas, deve-se clicar em um 1^o ponto fora da estrutura a ser recortada; o 2^o ponto marcado com o cursor cria uma linha com o 1^o; o 3^o ponto marcado com o cursor cria uma nova linha com o 2^o ponto, e assim, os próximos

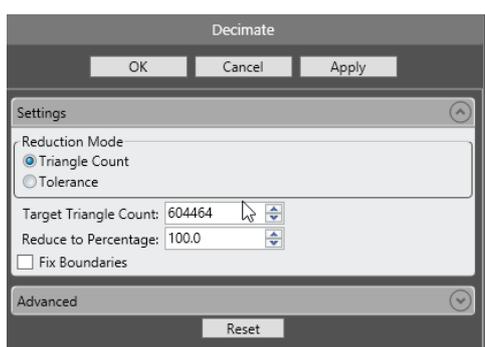
pontos devem ser marcados para formar uma figura geométrica que delimite a região que deve ser apagada. Ao finalizar a figura geométrica, clicar 2 vezes e a região selecionada para ser removida ficará destacada em vermelho. No teclado, acionar a tecla “Delete” para concluir a remoção do volume selecionado.

3.2 Exemplos de estruturas removidas: nos modelos de tecido duro T1 e T2 gerados no Dolphin, foram removidas as vértebras cervicais e a calota craniana acima das órbitas, para reduzir o tamanho do modelo e, conseqüentemente, diminuir a demanda computacional de memória para processar os modelos. Para criar os modelos 3D isolados do mento e dos côndilos direito e esquerdo, uma cópia do modelo 3D total da mandíbula foi recortado, mantendo somente a região anatômica de interesse.

4. Para reduzir o número de triângulos existentes na malha de superfície:

Quanto maior o número de triângulos presente na malha de superfície do modelo 3D, maior a demanda computacional (principalmente memória e placa de vídeo). Neste estudo, cada paciente possuiu 19 modelos 3D em formato .STL (01 MTC, 01 tecido duro total T1, 01 tecido duro total T1, 08 modelos parciais detalhados de T1 e 08 modelos parciais detalhados de T2). Por isso, foi necessário reduzir o número de triângulos existentes na malha de superfície do tecido duro total de T1 e T2 e dos modelos detalhados de maxila e mandíbula de T1 e T2. Para tal, foram utilizados os comandos abaixo:

4.1 Na barra de ferramentas superior, selecionar o menu “*Polygons*” e a seguir, a ferramenta “*Decimate*”. A interface desta ferramenta tem o aspecto abaixo:



4.2 Há duas opções de redução de número de triângulos:

1ª opção: No campo “*Target Triangle Count*”, pode-se digitar o número exato de triângulos desejado. No presente estudo, esta foi a opção selecionada para reduzir o número de triângulos dos modelos de tecido duro total de T1 e T2 para 340.000 (cada), dos modelos detalhados de maxila de T1 e T2 para 500.000 (cada) e dos modelos detalhados de mandíbula de T1 e T2 para 350.000 (cada).

2ª opção: No campo “*Reduce to Percentage*”, pode-se digitar a que percentual se deseja reduzir o número de triângulos. Por exemplo: se desejar reduzir o número de triângulos a 20% dos existentes, digitar nesse campo este valor.

4.3 Clicar no comando “*Apply*”, para aplicar os parâmetros selecionados no item 4.2.

4.4 Quando finalizado o processo de redução de triângulos, acionar o comando “OK”.

5. Para duplicar e agrupar os 8 modelos parciais detalhados de T1 e T2 em modelos 3D totais detalhados de T1 e T2:

5.1 Selecionar os 8 modelos parciais detalhados de T1 (clicar em cada um, mantendo a tecla Ctrl pressionada, até selecionar todos).

5.2 Clicar com o botão direito em cima da seleção. No menu que surge, acionar o comando “*Duplicate*”, para duplicar os modelos.

5.3 Selecionar as cópias resultantes dos modelos.

5.4 Na barra de tarefas superior, selecionar o menu “*Polygons*” e a seguir, a ferramenta “*Combine*”.

5.5 Na nova janela “*Combine polygon objects*”, no campo “*Name*”, preencher o nome do modelo combinado. Clicar no comando “*Apply*”.

5.6 Clicar em “OK”. A interface principal do programa agora mostra o novo modelo combinado incluído na lista.

5.7 Efetuar os mesmos passos nos modelos parciais de T2.

6. Para alinhar / registrar os modelos totais precisos de T1 e T2 (resultantes da etapa 5) nos modelos de tecido duro totais de T1 e T2 orientado e registrados (gerados no Dolphin):

6.1 Selecionar os 04 modelos a serem superpostos na lista, mantendo a tecla Ctrl pressionada. Na barra superior, selecionar o menu “*Alignment*” e clicar na ferramenta “*Manual registration*”.

6.2 Na nova janela “*Manual registration*”, em “*Mode*” selecionar “*n-point registration*”. Em “*Define sets*”: No campo “*Fixed*”, definir o tecido duro de T1 gerado pelo Dolphin como referência fixa; e no campo “*Floating*”, definir o tecido duro de T1 detalhado gerado no item 5 como flutuante.

6.3 À direita, visualizam-se 03 imagens: as duas superiores são dos modelos que serão alinhados; a imagem inferior mostra os dois modelos juntos, no mesmo sistema de coordenadas. Nesta imagem inferior, visualiza-se o resultado do alinhamento / registro dos dois modelos 3D ao longo do processo.

6.4 Manipular os modelos com o ponteiro do cursor, para que ambos sejam visualizados na mesma vista. Marcar 03 pontos anatômicos equivalentes nos 2 modelos, somente para um alinhamento inicial que facilite ao programa registrar os modelos. Em “*Actions*”, acionar o comando “*Register*”, para que o programa busque de forma automática a máxima aproximação entre as superfícies dos modelos 3D.

6.5 Clicar em “*Next*” para alinhar os próximos modelos, totais de T2.

6.6 Repetir a etapa 6.4 para os modelos de T2. Clicar em “OK” para finalizar.

7. Para alinhar / registrar os modelos parciais de T1 e T2 nos modelos totais precisos registrados de T1 e T2 (resultantes da etapa 6):

7.1 Selecionar os modelos detalhados parciais e total registrado de T1, a serem superpostos na lista, mantendo a tecla Ctrl pressionada. Na barra superior, selecionar o menu “*Alignment*” e clicar na ferramenta “*Manual registration*”.

7.2 Na nova janela “*Manual registration*”, em “*Mode*” selecionar “*n-point registration*”. Em “*Define sets*”: No campo “*Fixed*”, definir o tecido duro preciso registrado gerado no item 6 como referencia fixa; e no campo “*Floating*”, definir os modelos parciais, um de cada vez.

7.3 À direita, visualizam-se 03 imagens: as duas superiores são dos modelos que serão alinhados; a imagem inferior mostra os dois modelos juntos, no mesmo sistema de coordenadas. Nesta imagem inferior, visualiza-se o resultado do alinhamento / registro dos dois modelos 3D ao longo do processo.

7.4 Orientar os modelos para que ambos sejam visualizados na mesma vista. Marcar 03 pontos anatômicos equivalentes nos 2 modelos, somente para um alinhamento inicial que facilite ao programa registrar os modelos. Em “*Actions*”, acionar o comando “*Register*”, para que o programa busque a máxima aproximação entre as superfícies dos modelos 3D.

7.5 Clicar em “*Next*” para alinhar os modelos parciais restantes de T1.

7.6 Clicar em “OK” para finalizar.

7.7 Na interface principal do programa, selecionar os modelos detalhados parciais e total registrado de T2, a serem superpostos na lista, mantendo a tecla Ctrl pressionada. Na barra superior, selecionar o menu “*Alignment*” e clicar na ferramenta “*Manual registration*”.

7.6 Repetir as etapas 7.2 até 7.6 para alinhar os modelos parciais de T2.

8 Para utilizar o MTC na criação do Sistema de Coordenadas no Geomagic Qualify®:

8.1 Na interface principal do programa, foi selecionado o arquivo do Modelo de Transferência de Coordenadas (MTC) na lista de modelos (janela “*Model Manager*”).

8.2 Posicionar o ponteiro do cursor em cima do modelo 3D do MTC, clicar e arrastar, para movimentá-lo até que se visualize frontalmente o plano axial do MTC.

8.3 Na barra de ferramentas superior, no menu “*Features*”, selecionar a ferramenta “*Plane*”, na opção “*3 Points*”. Esta ferramenta permite criar planos em qualquer superfície plana, através da marcação de 3 pontos. Na nova janela “*Create plane*”, no campo “*Name*”, escrever o nome do plano: “*Axial*”. Clicar em 3 pontos aleatórios do plano axial do MTC.

8.4 Acionar o comando “*Apply*”. O programa identifica a superfície que contém os 3 pontos e cria o plano automaticamente. Clicar em “*Next*” para criar os outros 2 planos.

8.5 Posicionar o ponteiro do cursor em cima do MTC, clicar e arrastar, para movimentá-lo até que se visualize frontalmente o plano coronal do MTC.

8.6 No campo “*Name*”, escrever o nome do novo plano: “*Coronal*”. Clicar em 3 pontos aleatórios do plano coronal do MTC.

8.7 Acionar o comando “*Apply*”. O programa identifica a superfície que contém os 3 pontos e cria o plano automaticamente. Clicar em “*Next*” para criar o último plano.

8.8 Posicionar o ponteiro do cursor em cima do MTC, clicar e arrastar, para movimentá-lo até que se visualize frontalmente o plano sagital do MTC.

8.9 No campo “*Name*”, escrever o nome do novo plano: “*Sagital*”. Clicar em 3 pontos aleatórios do plano sagital do MTC.

8.10 Acionar o comando “*Apply*”. O programa identifica a superfície que contém os 3 pontos e cria o plano automaticamente. Clicar em “*OK*” para encerrar a criação dos planos.

8.11 Na interface principal do programa, na lista de modelos à esquerda, clicar no símbolo de “+” à esquerda do ícone de pirâmide do arquivo do MTC. É exibida a pasta “*Features*” do MTC. Clicar no símbolo de “+” à esquerda: exibe-se os planos axial, coronal e sagital. Selecionar o plano axial.

8.12 Na barra superior, no menu “*Tools*”, selecionar a ferramenta “*Coordinate systems*”, na opção “*Create by definition*”.

8.13 Na janela “*Create coordinate system by definition*”, renomear o sistema de coordenadas, e clicar no ícone que representa um plano. No submenu “*Definition*”, a seta de seleção permite selecionar os planos criados no MTC e associá-los aos eixos das coordenadas do programa. Neste estudo, o plano axial foi relacionado ao plano XY, o plano coronal foi

relacionado ao XZ e o sagital ao YZ. Na definição dos dois primeiros planos, o programa permite alterar a direção dos eixos das coordenadas. Clicar em “OK” para finalizar.

8.14 Na interface principal do programa, agora o modelo do MTC possui um Sistema de coordenadas associado. Clicar com botão direito em cima do sistema. Acionar o comando “*Copy to World*” para que o sistema de coordenadas gerado a partir do MTC seja adicionado ao sistema de coordenadas universal do programa.

8.15 Clicar no símbolo “+” à esquerda de “World”: são exibidos os sistemas de coordenadas universal e o criado a partir do MTC. Clicar no sistema de coordenadas criado pelo MTC com o botão direito e acionar o comando “*Set active CSYS*”, para torná-lo o sistema de coordenadas ativo no programa.

9. Para criar o ponto centroide nos modelos 3D dos dentes (incisivos centrais e 1^{os} molares):

a) Para igualar os tamanhos dos triângulos da malha:

9.1 Na interface principal do programa, em “*Model Manager*”, clicar em somente um arquivo, do modelo 3D do dente que terá o centroide calculado.

9.2 Na barra superior, selecionar no menu “*Polygons*” a ferramenta “*Remesh*”, para regularizar o tamanho dos triângulos da malha da superfície dos modelos.

9.3 Na nova janela “*Remesh*”, clicar em “*Apply*”. O programa analisa os diferentes tamanhos dos triângulos da malha da superfície do modelo 3D (triângulos pequenos e grandes), calcula qual o tamanho que os triângulos devem possuir para igualar as dimensões. O comando “*Apply*” regulariza e iguala os tamanhos de todos os triângulos da malha.

9.4 Clicar em “OK” para finalizar.

b) Para igualar o número de triângulos da malha:

9.5 Clicar no modelo 3D desejado, por exemplo “T1 incisivo central inferior”. Na tela “*Graphics*”, em “*Current triangles*”, observar o número de triângulos deste modelo.

9.6 Clicar no modelo 3D correspondente em T2. Neste exemplo, no modelo “T2 incisivo central inferior”. Em “*Current triangles*”, observar o número de triângulos deste modelo.

9.7 Comparar o número de triângulos da mesma estrutura em T1 e T2. O modelo que tiver maior número de triângulos será reduzido com a ferramenta “*Decimate*” do menu “*Polygons*”.

9.8 Na janela “*Decimate*”, no campo “*Target triangle count*”, digitar o número de triângulos desejado (o mesmo que a estrutura que possui menor número de triângulos). Clicar em “*Apply*” para alterar o número de triângulos e “*OK*” para finalizar.

c) Para o programa calcular o ponto centroide de forma automática:

9.9 Selecionar um modelo 3D de dente. No menu “*Select*”, usar a ferramenta “*Selection mode*” na opção “*Select thorough*” e a ferramenta “*Selection tools*” na opção “*Polyline*” para selecionar todo o modelo 3D.

9.10 No menu “*Features*”, na ferramenta “*Point*”, selecionar a opção “*Centroid*”.

9.11 Na janela “*Create point*”, em “*Name*”, nomear o ponto centroide da estrutura. Clicar em “*Apply*” e “*OK*”.

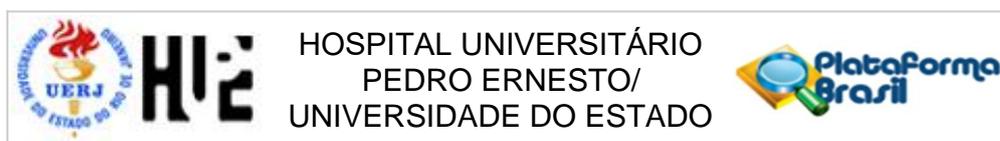
10. Para localizar as coordenadas do ponto centroide de uma estrutura 3D:

10.1 Na interface principal do programa, na janela à esquerda, clicar no símbolo “+” à esquerda do modelo 3D que possui um centroide calculado: surgirá uma pasta “*Features*” abaixo do modelo. Depois de clicar no símbolo “+” à esquerda de “*Features*”, será exibido o arquivo do centroide.

10.2 Clicar com o botão direito em cima do arquivo do centroide: no menu que surge, clicar em “*Properties*”.

10.3 Na nova janela “*Properties*”, no campo “*Position*”, são exibidos os valores das coordenadas do ponto centroide nos eixos x, y e z.

ANEXO – Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa.



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Avaliação tomográfica dos efeitos de propulsores mandibulares no tratamento de pacientes retrognatas em crescimento

Pesquisador: Nathalia Barbosa Palomares

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 46731015.6.0000.5259

Instituição Proponente: Hospital Universitário Pedro Ernesto/UERJ

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.154.150

Data da Relatoria: 08/07/2015

Apresentação do Projeto:

O projeto está bem apresentado

Objetivo da Pesquisa:

Avaliar a eficácia de dois aparelhos ortopédicos no crescimento da mandíbula

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Prezado pesquisador: Caracteriza-se como risco direto para os sujeitos da pesquisa a possibilidade de desconforto ou constrangimento no momento do preenchimento dos questionários. Os pesquisadores devem se comprometer a minimizar os riscos ou desconfortos indiretos que possam vir a ser causados.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A pesquisa está bem estruturada e o referencial teórico e metodológico estão explicitados, demonstrando aprofundamento e conhecimento necessários para sua realização. As referências estão adequadas e a pesquisa é exequível.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Foram analisadas as documentações e as mesmas se encontram dentro das normas.

Endereço: Avenida 28 de Setembro 77 - Térreo
Bairro: Vila Isabel **CEP:** 20.551-030
UF: RJ **Município:** RIO DE JANEIRO
Telefone: (21)2868-8253 **Fax:** (21)2264-0853 **E-mail:** cep-hupe@uerj.br