

CICLO DE ESTUDOS
MEDICINA DENTÁRIA

Estudo dos efeitos biomecânicos dos aparelhos funcionais tipo *Teuscher* na correção das más oclusões de Classes II hiperdivergentes, através de elementos finitos

Marta Isabel Fernandes Barroso Pereira Jorge

D

2023



Marta Isabel Fernandes Barroso Pereira Jorge

Estudo dos efeitos biomecânicos dos aparelhos funcionais tipo *Teuscher* na correção das más oclusões de Classes II hiperdivergentes, através de elementos finitos

Tese apresentada à Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto para obtenção de grau de Doutor em Medicina Dentária.

Orientador

Professor Doutor Jorge Manuel Carvalho Dias Lopes

Professor Catedrático da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto

Coorientadores

Professora Doutora Maria João Feio Ponces Ramalhão

Professora Auxiliar da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto

Professor Doutor Mário Augusto Pires Vaz

Professor Associado com Agregação da Faculdade de Engenharia

da Universidade do Porto

RESUMO

Introdução - Os pacientes em crescimento com má oclusão de Classe II, hiperdivergentes, têm sido tratados com ativadores combinados com forças extra-orais. No entanto, a distribuição das tensões transmitidas à maxila e à mandíbula por este tipo de aparelhos, tem sido objeto de alguma controvérsia. O objetivo deste estudo foi simular os efeitos biomecânicos das tensões transmitidas à maxila e à mandíbula, por um Aparelho Funcional do Tipo *Teuscher* (AFTT), através do Método de Elementos Finitos (MEF) e avaliar tridimensionalmente os efeitos do tratamento de uma paciente com má oclusão de Classe II hiperdivergente com AFTT.

Material e Métodos - Com recurso a uma Tomografia Computorizada de Feixe Cónico (TCFC) de uma paciente de 10 anos de idade com uma má oclusão de Classe II hiperdivergente, foram construídos os modelos tridimensionais (3D) da maxila e da mandíbula através do MEF. Foi desenhado em *Computer Aided Design* (CAD) 3D um AFTT e integrado nos modelos. Em cada lado do modelo foi aplicado uma carga de 4,4 N (450 gramas), e simulada com 5 diferentes linhas de ação da força extra-oral (Modelo 1 0°, Modelo 2 15°, Modelo 3 30°, Modelo 4 45° e Modelo 5 60°). A distribuição das tensões mecânicas transmitidas pelo AFTT na maxila e na mandíbula, considerando as diferentes linhas de ação da força, foram avaliadas através do MEF. Identificado o modelo mais compatível com os objetivos do tratamento da má oclusão de Classe II hiperdivergente foi produzido um AFTT para a paciente em estudo. Após tratamento da paciente com AFTT foram avaliados tridimensionalmente os efeitos do tratamento através de sobreposições 3D e levantamento de forma.

Resultados - No presente estudo verificou-se que a utilização do AFTT com diferentes linhas de ação da força extra-oral, influencia a distribuição de tensões na maxila, na mandíbula e nos dentes. A região anterior da maxila, próxima do forame incisivo, mostrou uma dissipação ligeira de tensões através do palato no sentido ântero-posterior. Os resultados mostram que as tensões aumentam progressivamente quando a linha de ação da força se move de posterior para anterior, ou seja, do modelo 1 para o modelo 5. No modelo 1 a tensão equivalente do von Mises é menor quando comparada com o modelo 5. Apesar da magnitude da força aplicada ter sido igual em todos os modelos, nos modelos 1 e 2 observou-se que os molares sofreram um maior

deslocamento no sentido distal e os incisivos apresentaram extrusão. No modelo 3 a linha de ação de força promoveu uma translação dos molares e dos incisivos no sentido distal. Já nos modelos 4 e 5 todo o setor anterior maxilar apresentou um deslocamento no sentido anti-horário.

No modelo mandibular as tensões ocorreram predominantemente na parte posterior da mandíbula, correspondente à região de inserção muscular, com uma maior concentração de tensão no processo coronóide, na zona anterior do ramo montante, na fosseta pterigoide e na superfície superior do côndilo. A avaliação tridimensional dos efeitos do tratamento da paciente em estudo com AFTT foram essencialmente alterações dento-alveolares.

Conclusões - Diferentes linhas de ação da força, combinadas com o AFTT, influenciam a intensidade e a distribuição das forças ortopédicas e ortodônticas na maxila. Os resultados mostram que as tensões aumentam progressivamente, quando a linha de ação da força se move de posterior para anterior. A linha de ação da força extra-oral utilizada no modelo 3 é a mais compatível com os objetivos de tratamento da má oclusão de Classe II hiperdivergente em crescimento, já que promove um deslocamento de translação do complexo maxilar e respectivos dentes, acompanhado de um controlo da dimensão vertical, fundamental nestes casos. No modelo mandibular as concentrações de tensões ocorreram predominantemente na parte posterior da mandíbula, correspondente a áreas de aposição óssea. Os efeitos do tratamento da paciente em estudo com AFTT foram essencialmente alterações dento-alveolares.

Palavras-Chave - *Má oclusão Classe II; Hiperdivergentes; Aparelhos funcionais; Forças extra-orais; Crianças.*

ABSTRACT

Introduction - Growing patients with hyperdivergent Class II malocclusion may be treated with activators combined with extraoral forces. However, there has been controversy regarding the distribution of stresses transmitted to the maxilla and mandible by these appliances. This study aimed to simulate the biomechanical effects of stresses transmitted to the maxilla and mandible by a Teuscher Activator (TA) functional appliance using the Finite Element Method (FEM) and assess, three-dimensionally, the effects of TA treatment in a 10-year-old patient with hyperdivergent Class II malocclusion.

Material and Methods - Based on a Cone-Beam Computed Tomography (CBCT) of a 10-year-old patient with hyperdivergent Class II malocclusion, tridimensional (3D) models of the maxilla and mandible were produced using FEM. A TA was designed in 3D Computer-Aided Design (CAD) and integrated into the models. A 4.4-N (450-gram) load was applied to each side of the model, and five different lines of action of extraoral force (M1-0°, M2-15°, M3-30°, M4-45° e M5-60°) were simulated. The distribution of mechanical stress transmitted by the TA to the maxilla and mandible, considering the different force lines of action, was assessed using the FEM.

The model most compatible with the objectives of the hyperdivergent Class II malocclusion treatment was identified, and a TA was produced for the study patient. After treatment with the TA, the treatment's effects were assessed by 3D superimpositions.

Results - In the present study, using a TA functional appliance with different lines of action of extraoral force influenced stress distribution in the maxilla, mandible, and teeth. The maxilla's anterior region, near the incisor foramen, showed slight stress dissipation through the palate in the anteroposterior direction. The results showed that stresses increased progressively when the force's line of action moved in a posteroanterior direction, i.e., from Model 1 to Model 5. Von Mises equivalent stress was lower in Model 1 than in Model 5. Although the applied force's magnitude was similar in every model, Models 1 and 2 showed greater distal displacement of molars and extrusion of incisors. In Model 3, the force's line of action promoted a distal

displacement of molars and incisors. Models 4 and 5 showed counterclockwise displacement in the whole maxillary anterior sector.

In the mandible model, stress occurred mainly in the posterior region, corresponding to the muscle insertion area, with higher stress concentration in the coronoid process, the anterior area of the mandibular ramus, the pterygoid fossa, and the condyle's superior surface. The tridimensional assessment of the TA treatment in the study patient revealed, essentially, dentoalveolar changes.

Conclusions - Using different force lines of action, combined with the TA, influences the intensity and distribution of orthodontic and orthopedic forces in the maxilla. The results showed that stresses increased progressively when the force's line of action moved in a posteroanterior direction. The extraoral force's line of action used in Model 3 is the most compatible with the objectives of the hyperdivergent Class II malocclusion treatment in growing patients because it promotes displacement of the maxillary complex and respective teeth, accompanied by a vertical control, which is essential in these cases. In the mandible model, stress was mainly concentrated in the posterior region, corresponding to the bone apposition areas. The effects of the study patient's treatment with TA were essentially dentoalveolar changes.

Keywords: *Class II malocclusion; Hyperdivergent; Functional appliances; Extraoral forces; Children.*

Marta Isabel Fernandes Barroso Pereira Jorge
Licenciada em Medicina Dentária pelo Instituto Universitário Ciências da Saúde
Mestre em Ortodontia pelo Instituto Universitário Ciências da Saúde

Área de conhecimento
Ortodontia
Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto

PUBLICAÇÕES DERIVADAS DESTE TRABALHO

ARTIGOS

Jorge M, Ponces MJ, Lopes JD, Ustrell-Torrent JM, Martins E, Vaz M. *Assessment of Teuscher activator-generated stress distribution in hyperdivergent Class II treatment: finite element method*. J Clin Exp Dent. 2022 - *Artigo submetido em 29-12-22*.

Jorge M, Vaz M, Lopes JD, Ustrell-Torrent JM, Farahani B, Ponces MJ. *Biomechanical effects of Teuscher activator in hyperdivergent Class II malocclusion treatment: A finite element analysis*. J Clin Exp Dent. 2021; 1;13(11):1124-30.

Jorge M, Lopes JD, Ponces MJ, Vaz M. *Effects of Class II High-Pull Headgear Activator Using Finite Element Method: A ten Year Perspective*. Biomedical Journal of Scientific and Technical Research. 2018.

COMUNICAÇÕES ORAIS

Reuniões científicas nacionais

Jorge M, Lopes JD, Vaz M, Ponces MJ.

“Efeitos do ativador do tipo Teuscher na maxila, nas más oclusões de Classes II hiperdivergentes - Análise de Elementos Finitos”.

Sociedade Portuguesa de Ortopedia Dento-Facial. Coimbra, abril de 2022.

Jorge M, Ponces MJ, Vaz M, Meireles B, Lopes JD.

“Método dos elementos finitos na avaliação dos efeitos biomecânicos na Classe II - A última década”.

Sociedade Portuguesa de Ortopedia Dento-Facial. Viseu, abril de 2018.

Reuniões científicas internacionais

Jorge M, Vaz M, Lopes JD, Farahani B, Ponces MJ.

“The finite element method to study the biomechanical effects of the Teuscher activator in Class II malocclusion treatment”.

The 10th Edition of the International Symposium Napoca Biodent

New Challenges in Dental Research with the conference november de 2021.

Jorge M, Lopes JD, Vaz M, Vale T, Ponces MJ.

“Mordida Aberta esquelética em crianças em dentição mista”.

XL Reunión Anual de la Sociedad Española de Odontopediatria, VII Reunión de la SPOP y III Reunión Ibérica de Odontopediatria, Palma de Maiorca, maio de 2018.

POSTERS

Reuniões científicas nacionais

Jorge M, Ponces MJ, Vaz M, Lopes JD.

“Importância da linha de ação da força extra-oral combinada com um ativador do tipo Teuscher no tratamento das Classes II hiperdivergentes - Análise de Elementos Finitos”.

Sociedade Portuguesa de Ortopedia Dento-Facial. Coimbra, abril 2022.

Ponces MJ, Castro S, Jorge M, Meireles B, Martins E.

“Análise da aquisição de competências técnicas e pessoais numa experiência pedagógica”.

XXXIX Congresso Anual da SPEMD. Porto, outubro de 2019.

Jorge M, Ponces MJ, Vaz M, Meireles B, Lopes JD

“Abordagem terapêutica da mordida aberta esquelética em dentição mista- Revisão narrativa”.

XXVII Congresso da OMD, Exponor, novembro de 2018.

Jorge M, Lopes JD, Meireles B, Vaz M, Ponces MJ.

“Utilização do aparelho tipo Teuscher nas Classes II hiperdivergentes em dentição mista”.

XXXVIII Congresso Anual SPEMD 2018 - Centro Congressos Lagoas Park – Oeiras, outubro de 2018.

DEDICATÓRIAS

Dedico esta tese aos meus filhos, **Luís Miguel** e **Ana Marta**, espero que o meu esforço e dedicação possa servir-lhes de exemplo.

Ao meu marido **Luís**, pelo seu esforço em compreender as minhas ausências nestes longos anos em que me dediquei a aprimorar os meus conhecimentos em Ortodontia. Muito obrigada por cuidares de mim e dos nossos filhos e me ajudares a concretizar todos objetivos a que me tenho proposto.

AGRADECIMENTOS

Na realização desta tese de Doutorado, recebi a ajuda valiosa de pessoas que não queria deixar de mencionar a quem desejo expressar os meus profundos agradecimentos:

Ao Senhor Professor Doutor Jorge Manuel de Carvalho Dias Lopes, meu orientador, que desde o primeiro momento me apoiou incondicionalmente. Queria aqui exprimir a minha profunda gratidão e o sincero agradecimento, pela disponibilidade e confiança demonstrados ao longo deste trabalho. Os seus conselhos, críticas e o seu enorme estímulo durante este projeto foram contributos indispensáveis para a sua realização. A sua notável dedicação à nossa especialidade foi e é determinante na Ortodontia Nacional, será um exemplo que eu procurarei seguir.

Muito obrigada pela sua amizade e paciência.

À Senhora Professora Doutora Maria João Feio Ponces Ramalhão minha coorientadora, suporte científico indispensável neste projeto, a quem quero manifestar o meu profundo reconhecimento, pela confiança, disponibilidade e dedicação demonstrada, desde o primeiro momento. A sua capacidade de trabalho, perseverança e determinação, são admiráveis. Não tenho palavras para agradecer a sua atitude sempre positiva, encorajadora e amiga, nos momentos mais difíceis, é algo que nunca irei esquecer. As suas sugestões e capacidade crítica constituíram um valioso contributo no desenvolvimento deste trabalho.

Muito obrigada pela sua ajuda e amizade.

Ao Senhor Professor Doutor Mário Augusto Pires Vaz distinto investigador e docente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, o meu sincero obrigada por ter encontrado tempo para, entre os projetos que tem, ainda coorientar este trabalho. Não poderei deixar de evidenciar como fui bem acolhida por Vossa Ex^a nos laboratórios do Departamento de Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. A forma crítica, objetiva, justa e imparcial como sempre analisa o que o rodeia, possibilitou-me ter a tranquilidade necessária para conseguir atingir este objetivo. O meu profundo agradecimento. Agradeço pela importância que teve na minha tese.

À Senhora Professora Maria Helena Fernandes, Diretora do Curso de Doutoramento em Medicina Dentária da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto, pela sua amabilidade, simpatia e pelos seus inestimáveis conselhos, foram muito importantes para mim.

Aos docentes do Núcleo de Ortodontia da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto, Senhora Professora Maria Cristina Pollmann, Senhor Professor Saúl Castro e em especial ao Senhor Professor Eugénio Martins pela simpatia e colaboração.

Aos restantes docentes da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto com quem tive o privilégio de partilhar conhecimento.

Aos meus pais, António e Ana um agradecimento especial por serem um grande exemplo para mim e por me terem dado a oportunidade de concretizar os meus projetos de vida.

Aos meus irmãos pelo apoio incondicional, que juntamente com os meus pais, sogros e cunhada, me permitiram perceber o verdadeiro sentido, da palavra *FAMÍLIA!*

Um agradecimento também a todos antigos Professores do Mestrado em Ortodontia e do Curso da Especialidade em Ortodontia, Senhor Professor Doutor Joaquim Moreira, Senhor Professor Doutor José Maria Ustrell, Senhor Professor Doutor Rui Pinto, Senhora Professora Doutora Teresa Pinho, Senhor Professor Filipe Duarte, Senhor Professor Francisco Espinha, Senhora Professora Maria Manuel Brito que contribuíram em muito para o engrandecimento do meu conhecimento;

“Fazem todos parte, da minha família de formação!”

À CESPU e em especial ao Senhor Professor Paulo Rompante pelo convite e pela oportunidade de me permitirem ensinar Odontopediatria e Ortodontia e a todos os meus alunos e colegas de departamento, com quem diariamente vou partilhando experiências e *APRENDENDO SEMPRE!*

Um agradecimento especial à colega e amiga Berta Meireles pela amizade e partilha.

À Senhora Engenheira Carla Lopes, Senhor Engenheiro Rui Paulo Correia e à Senhora Professora Irene Méndez Erty pela partilha e disponibilidade no decorrer deste trabalho.

À Dra. Carla Pinto pela sua simpatia e prestável ajuda nas informações que me foi facultando ao longo destes anos.

E a todos aqueles, que de alguma forma colaboraram direta ou indiretamente nesta tese, MUITO OBRIGADA!

**FACULDADE DE MEDICINA DENTÁRIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
CONSELHO CIENTÍFICO**

Presidente

Professor Doutor Paulo Rui Galvão Ribeiro de Melo

Professor Doutor Américo dos Santos Afonso

Professor Doutora Ana Paula Coelho de Macedo Augusto

Professor Doutora Ana Paula Mendes Alves Peixoto Norton

Professor Doutor César Fernando Coelho Leal da Silva

Professor Doutora Cristina Maria Ferreira Guimarães Pereira Areias

Professor Doutor Filipe Poças de Almeida Coimbra

Professor Doutor Germano Neves Pinto da Rocha

Professor Doutora Inês Alexandra Costa Morais Caldas

Professor Doutora Irene Graça Azevedo Pina Vaz

Professor Doutor João Carlos Antunes Sampaio Fernandes

Professor Doutor Jorge Manuel de Carvalho Dias Lopes

Professor Doutor José António Ferreira Lobo Pereira

Professor Doutor José António Macedo de Carvalho Capelas

Professor Doutor José Carlos Reis Campos

Professor Doutora Maria Cristina Pinto Coelho Mendonça de F. Pollmann

Professor Doutora Maria de Lurdes Ferreira Lobo Pereira

Professor Doutora Maria Helena Guimarães Figueiral da Silva

Professor Doutora Maria Helena Raposo Fernandes

Professor Doutora Maria João Feio Ponces Ramalhão

Professor Doutor Mário Jorge Rebolho Fernandes da Silva

Professor Doutor Miguel Fernando da Silva Gonçalves Pinto

Professor Doutor Pedro de Sousa Gomes

Professor Doutor Pedro Manuel Vasconcelos Mesquita

Professor Doutor Ricardo Manuel Casaleiro Lobo de Faria e Almeida

ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

2D - Bidimensional

3D - Tridimensional

AFA - Altura Facial Anterior

AFP - Altura Facial Posterior

AFTT - Aparelho Funcional do Tipo *Teuscher*

ALARA - *As Low as Reasonably Achievable*

ATM - Articulação Temporomandibular

BB - Bionator de Balters

CAD – *Computer Aided Design*

CAE - *Computer-Aided Engineering*

CAM - *Computer-Aided Manufacturing*

CBCT - Cone-Beam Computed Tomography

CR_e - Centro de Resistência

CR_{esD} - Centro de Resistência da Dentição Maxilar

CR_{esM} - Centro de Resistência da Maxila

CSA - *Cross-Sectional Area*

DATs - Dispositivos de Ancoragem Temporária

DICOM - *Digital Imaging and Communication in Medicine*

FEM - Finite Element Method

FEO - Força Extra-Oral

FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

FMDUP - Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto

INEGI - Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial

JSI - Índice de Espaço Articular

LASERS - *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*

MEF - Método de Elementos Finitos

MeSH - *Medical Subject Headings*

NLM - Livraria Nacional de Medicina

OC - Oclusão Cêntrica

RC - Relação Cêntrica

SBJA - *Sander Bite Jumping Appliance*

TA - *Teuscher Activator*

TC - Tomografia Computadorizada

TCFC - Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Diferenças morfológicas entre indivíduos hiperdivergentes e normodivergentes.	6
Figura 1.2. A) Rotação verdadeira da mandíbula, analisada por um plano construído sobre implantes metálicos ou estruturas estáveis da mandíbula relativo à base do crânio; B) rotação aparente da mandíbula- analisada pelo plano mandibular relativo a base do crânio; C) rotação intra-matrical ou remodelação do bordo inferior da mandíbula, analisada através da sobreposição mandibular em estruturas estáveis da mandíbula. ...	18
Figura 1.3. Relações morfológicas e funcionais e suas consequências estéticas.	20
Figura 1.4. Área de aposição da tuberosidade maxilar.	25
Figura 1.5. Áreas de crescimento da maxila.	26
Figura 1.6. Áreas de crescimento da maxila.	27
Figura 1.7. Processo de deslocamento da maxila em direção anterior e inferior.	27
Figura 1.8. Remodelação de todo o complexo nasomaxilar.	28
Figura 1.9. Rotação do osso lacrimal.	29
Figura 1.10. Área de reversão - Crista Chave.	30
Figura 1.11. Áreas de reabsorção e de aposição.	31
Figura 1.12. Flutuação dentária mesial e vertical.	33
Figura 1.13. Participação de todo o complexo facial no processo de crescimento.	35
Figura 1.14. Diferenças da ponte nasal da criança e do adulto.	36
Figura 1.15. Remodelação do palato - Princípio do "V"	37
Figura 1.16. Deslocamento dos ossos é produzido pela expansão dos tecidos moles.	39
Figura 1.17. Deslocamento dos ossos da face para baixo.	39
Figura 1.18. Remodelação nas partes anteriores e posteriores da maxila.	40
Figura 1.19. Rotação por remodelação compensatória.	40
Figura 1.20. Deslizamento nas suturas.	41
Figura 1.21. Remodelação das suturas.	42
Figura 1.22. Flutuação dos dentes no alvéolo.	42
Figura 1.23. Modificações de remodelação e deslocamento do ramo e a fossa craniana média.	44
Figura 1.24. Rotação do plano oclusal.	44
Figura 1.25. Reabsorção do arco zigomático na face medial na fossa temporal.	46
Figura 1.26. Região zigomática cresce e torna-se recolocada posteriormente, a região nasal contígua aumenta em direção anterior.	46
Figura 1.27. O osso zigomático torna-se deslocado anterior e inferiormente.	47
Figura 1.28. O osso zigomático separado é deslocado inferiormente em associação ao crescimento ósseo na sutura frontozigomática.	47
Figura 1.29. Processo de remodelação e deslocamento" à medida que ocorre um movimento para a frente e para baixo.	48

Figura 1.30. Diagrama resumido do crescimento da mandíbula. As direções de crescimento envolvendo reabsorção pelo periósteo estão indicadas pelas setas voltadas para a superfície óssea, e as direções de crescimento envolvendo aposição periosteal estão representadas pelas setas que partem da superfície óssea.....	49
Figura 1.31. Remodelação do ramo em direção posterior.	50
Figura 1.32. A tuberosidade remodela-se no sentido posterior, com apenas uma mudança lateral relativamente discreta.....	51
Figura 1.33. O crescimento posterior da tuberosidade é obtido por aposição contínua de novo osso na face posterior.	52
Figura 1.34. Os depósitos de osso na face lingual também servem para transportar a base do processo coronóide e a parte anterior do ramo em uma direção medial com a finalidade de acrescentar essa parte ao corpo que se alonga e está em posição mais medial em relação ao processo coronóide.	53
Figura 1.35. Face lingual do processo coronóide, seu crescimento acontece superiormente e, dessa forma, essa parte do ramo aumenta em dimensão vertical.....	54
Figura 1.36. Área ocupada pela parte anterior do ramo na primeira infância em 1 é recolocada e a sua localização anterior é remodelada como parte posterior do corpo em 2.	55
Figura 1.37. Parte inferior do ramo abaixo do processo coronóide, a face vestibular apresenta uma superfície de reabsorção.	55
Figura 1.38. A chanfradura antegonial é resultado da remodelação do ramo logo atrás dela, à medida que o ramo é relocado posteriormente.	56
Figura 1.39. Reabsorção no bordo anterior do ramo.....	57
Figura 1.40. Campo de reabsorção na margem posterior abaixo do côndilo.....	57
Figura 1.41. Proliferação condilar.	58
Figura 1.42. A) Côndilo da mandíbula B) Tecido ósseo endocondral.....	59
Figura 1.43. Superfície articular do côndilo com uma camada capsular única pouco vascularizada. .	62
Figura 1.44. O côndilo da mandíbula transforma-se em colo à medida que há remodelação.....	64
Figura 1.45. Neste diagrama esquemático, a faringe (e a fossa craniana média) alarga-se horizontalmente de (a) para (a'). O ramo alarga-se, correspondentemente, de (b) para (b'), acompanhando-a. Contudo, também se alonga verticalmente. O ângulo (c) ficou reduzido para (c'), para acomodar o crescimento nasomaxilar vertical que está ocorrendo ao mesmo tempo. O "ângulo goníaco", assim, deve sofrer uma alteração (fechar) para evitar a mudança na relação oclusal entre os arcos mandibular e maxilar.	70
Figura 1.46. O ramo tem a capacidade de proporcionar o perfeito ajuste do corpo mandibular e da arcada dentária ao osso temporal e complexo nasomaxilar.....	71
Figura 1.47. Reabsorção periosteal da cortical óssea (a), aposição na superfície alveolar da cortical labial (b), reabsorção na superfície alveolar da cortical lingual (c) e aposição na face lingual da cortical lingual (d).	73
Figura 1.48. a) Chanfradura antegonial mais proeminente quando o ângulo entre o ramo e o corpo é aberto b) Chanfradura antegonial menos proeminente se o ângulo entre o ramo e o corpo for mais fechado.	75
Figura 1.49. Deslocamento médio das estruturas maxilares e mandibulares durante um período de 3 anos. Sobreposição na base anterior do crânio (Sela).....	76

Figura 1.50. Contribuições verticais da maxila (MS) e dos processos alveolares maxilares (AS) e mandibulares (AI) e rotação da mandíbula.	77
Figura 1.51. O vetor de força aplicado deverá passar nos CRe da maxila e CRe da dentição maxilar, para não induzir movimentos de rotação.	83
Figura 1.52. Exemplos da aplicação da FEO.	85
Figura 1.53. Efeito retrator da parte posterior do temporal e dos supra hióideos, devido à protrusão forçada da mandíbula pelo aparelho.	87
Figura 1.54. A) Vetor força resultante (A) da adição de vetores, dos vetores das forças retradoras (1 e 2) (parte superior dos músculos temporal e supra hióideo e dos elevadores (3 e 4) (parte média do temporal e dos músculos masséter e pterigóideo medial). O vetor A tem direção pósterio-superior e passa abaixo dos centros de resistência da arcada dentária maxilar. B) Nas estruturas mandibulares cria-se um vetor força A` da mesma longitude que o vetor A mas na direção oposta. Passa por cima do centro de resistência da dentição mandibular (Di).	88
Figura 1.55. Dois exemplos de correção da má oclusão de Classe II somente com ativadores: rotação posterior do plano palatino e do plano oclusal, redução do SNA, retrusão dos incisivos maxilares, protrusão dos incisivos mandibulares. Em A, a rotação posterior do plano oclusal é mais acentuada do que em B. Como consequência, a sínfise mandibular é deslocada mais para baixo do que para a frente. Em B, o crescimento condilar amplo provavelmente compensou os efeitos verticais desfavoráveis, de modo que o eixo facial não abriu.	89
Figura 2.1. Modelo dos elementos finitos com indicação das linhas de ação das forças utilizadas para cada um dos 5 modelos - (M1 0°, M2 15°, M3 30°, M4 45° e M5 60°).	131
Figura 2.2. A) Modelo do maxilar, cargas aplicadas e condições de fronteira. B) Modelo utilizado no estudo da mandíbula mostrando a segmentação.	132
Figura 2.3. A) Definição das superfícies de contato: dentes (cinza), superfície mandibular (azul-escuro), superfície maxilar (azul-claro), AFTT (rosa) B) Superfícies de contato da fossa infratemporal (amarelo) e superfície do processo condilar (laranja). Malhas definidas no programa Hypermesh®.	134
Figura 2.4. Representação esquemática do equilíbrio biomecânico após a aplicação do AFTT, para o crânio e para o conjunto crânio/mandíbula. As ações dos músculos encontram-se representadas por vetores coloridos com o seguinte código de cores: masséter superficial (azul), pterigoide médio (azul-claro), pterigóideo lateral (verde), temporal anterior e posterior (vermelho).	135
Figura 2.5. Efeito do AFTT sobre a oclusão e representação esquemática desse efeito sobre imagens obtidas do TCFC.	136
Figura 2.6. A) AFTT vista oclusal B) AFTT vista frontal C) AFTT vista lateral.	137
Figura 3.1. Distribuições de tensão de von Mises obtidas de diferentes modelos pelo MEF, valores em MPa.	143
Figura 3.2. Perfis de magnitude de deslocamento capturados em forma deformada e não deformada para diferentes modelos extraídos do FEM, valores em mm.	144
Figura 3.3. Distribuição de tensões von Mises na mandíbula; a) Vista externa b) Vista interna.	144
Figura 3.4. Campo de tensões de von Mises no côndilo, devido ao contato com a fossa infra temporal.	145
Figura 3.5. Região com tensão principal máxima (tração) no tecido cortical.	146

Figura 3.6. Tensão principal mínima no tecido cortical vista lateral e posterior.	146
Figura 3.7. Direção da FEO tal como foi aplicada no modelo do MEF	147
Figura 3.8. Variação da tensão principal mínima para 5 pontos do tecido cortical do ramo mandibular com o ângulo da FEO.	148
Figura 3.9. Vista plano sagital médio antes e após o tratamento.	149
Figura 3.10. Vista plano sagital medio medidas após o tratamento.	150
Figura 3.11. Plano transversal após o tratamento.	150
Figura 3.12. Comparação da ATM direita e ATM esquerda.	151
Figura 3.13. Sobreposição ATM direita.	151
Figura 3.14. Sobreposição ATM esquerda.	152
Figura 3.15. Sobreposição de crânio completo. Verde assinala o inicial e vermelho o final.	153
Figura 3.16. Sobreposição de crânio completo ao nível do plano sagital médio, com as alterações entre as TCFC inicial e final assinaladas a vermelho.	153
Figura 3.17. Sobreposição dos tecidos moles.	154
Figura 3.18. Análise da variação da geometria 3D da mandíbula antes e após o tratamento através do método de levantamento de forma por processamento de imagem e iluminação estruturada.	155
Figura 3.19. Comparação da geometria facial 3D da paciente antes e após o tratamento através do método de levantamento de forma por processamento de imagem e iluminação estruturada.	156

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1. Designações adotadas para descrever os vários tipos de rotação na literatura.	5
Tabela 2.1. Propriedades mecânicas dos materiais.	132
Tabela 2.2. Propriedades mecânicas dos materiais mandíbula.	133
Tabela 2.3. Direção dos vetores musculares, na forma dos cossenos diretores e forças dos grupos musculares, forma ativa e forma passiva, durante a utilização do AFTT.	136
Tabela 3.1. Máximas tensões von Mises.	142

ÍNDICE GERAL

RESUMO	III
ABSTRACT.....	V
PUBLICAÇÕES DERIVADAS DESTE TRABALHO	IX
DEDICATÓRIAS.....	XI
AGRADECIMENTOS	XIII
ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS.....	XIX
ÍNDICE DE FIGURAS	XXI
ÍNDICE DE TABELAS	XXV
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Contextualização e justificação do trabalho.....	3
1.2. Características morfológicas, prevalência, padrão de crescimento e etiologia do fenótipo hiperdivergente retrognático.....	4
1.2.1. Morfologia dos indivíduos hiperdivergentes retrognáticos	6
1.2.2. Prevalência do fenótipo retrognático hiperdivergente	9
1.2.3. Padrões de crescimento do fenótipo retrognático hiperdivergente.....	10
1.2.4. Etiologia do fenótipo retrognático hiperdivergente	10
1.2.4.1. Interferências na fala e deglutição	11
1.2.4.2. Efeitos da interferência dos hábitos	11
1.2.4.3. Efeitos das interferências com a respiração normal.....	12
1.2.4.4. Efeitos da hipotonia muscular	15
1.3. Hiperdivergência mandibular e retrognatismo	16
1.3.1. Rotação mandibular verdadeira	17
1.3.2. Postura mandibular como fator determinante.....	20
1.4. Considerações sobre o crescimento e desenvolvimento craniofacial	21
1.4.1. Crescimento nasomaxilar	23
1.4.2. Crescimento da mandíbula	48
1.4.3. Relações entre as tendências de deslocamento das diferentes unidades craniofaciais	76
1.5. Princípios biomecânicos do aparelho funcional do tipo Teuscher.....	81

1.6.	Efeitos da correção da má oclusão de Classe II - alterações esqueléticas, dento-alveolares e dos tecidos moles e ATM	90
1.6.1.	Efeitos da utilização dos aparelhos funcionais combinados com força extra-oral - alterações esqueléticas, dento-alveolares e dos tecidos moles	90
1.6.2.	Efeitos tridimensionais na articulação temporomandibular dos aparelhos funcionais no tratamento da má oclusão de Classe II	106
1.7.	Avaliação facial 3D	116
1.7.1.	Recursos tecnológicos atuais em Ortodontia	116
1.7.2.	Evolução dos recursos tecnológicos de imagiologia em Ortodontia	117
1.7.3.	Análise 3D em TCFC.....	119
1.7.4.	Sobreposições em TCFC	121
1.8.	Objetivos da investigação	122
1.8.1.	Estudo dos efeitos biomecânicos do AFTT na maxila através do método de elementos finitos.....	123
1.8.2.	Estudo dos efeitos biomecânicos do AFTT na mandíbula através do método de elementos finitos	123
1.8.3.	Avaliação 3D dos efeitos do tratamento de uma paciente com má oclusão de Classe II hiperdivergente com AFTT (estudo de caso)	123
CAPÍTULO 2. MATERIAL E MÉTODOS		125
2.1.	Revisão da literatura	128
2.2.	Estudo experimental - estudo de caso	128
2.3.	Efeitos biomecânicos do AFTT na maxila através do MEF	129
2.3.1.	Geração do modelo – maxila e dentes maxilares.....	129
2.3.2.	Configurações do modelo – AFTT	130
2.3.3.	Condições-limite e propriedades dos materiais.....	131
2.4.	Efeitos biomecânicos do AFTT na mandíbula através do MEF.....	132
2.4.1.	Músculos.....	135
2.5.	Avaliação 3D dos efeitos do tratamento de uma paciente com má oclusão de Classe II hiperdivergente com AFTT (estudo de caso).....	136
2.5.1.	Avaliação 3D através das sobreposições.....	137
2.5.2.	Método de levantamento de forma por processamento de imagem e iluminação estruturada	137

CAPÍTULO 3. RESULTADOS	139
3.1. Avaliação da distribuição das tensões na maxila.....	141
3.2. Avaliação da distribuição das tensões na mandíbula e ATM	144
3.3. Avaliação 3D da paciente em estudo	148
3.3.1. Avaliação através de sobreposições 3D.....	148
3.3.2. Avaliação pelo método de levantamento de forma por processamento de imagem e iluminação estruturada	154
CAPÍTULO 4. DISCUSSÃO	157
4.1. Avaliação da distribuição das tensões na maxila.....	162
4.2. Avaliação da distribuição das tensões na mandíbula	164
4.3. Avaliação 3D da paciente em estudo	167
4.3.1. Avaliação através de sobreposições 3D.....	168
4.3.2. Avaliação pelo método de levantamento de forma por processamento de imagem e iluminação estruturada	172
4.4. Novas estratégias para o tratamento da má oclusão de Classe II hiperdivergente	173
PERSPETIVAS DE ESTUDOS FUTUROS	175
CONCLUSÕES.....	177
BIBLIOGRAFIA.....	179
ANEXOS	199
Anexo 1 - Aprovação do estudo pela Comissão de Ética da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto	201
Anexo 2 - Informação detalhada do presente estudo	203
Anexo 3 - Declaração consentimento informado	205
Anexo 4 - Caso clínico	207

CAPÍTULO 1.

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização e justificação do trabalho

A má oclusão de Classe II combinada com fenótipo hiperdivergente apresenta, em regra, uma combinação variável de alterações esqueléticas e dento-alveolares em ambos os maxilares e nos três planos do espaço.¹⁻³ Devido à sua complexidade os pacientes hiperdivergentes retrognáticos estão entre os mais difíceis de tratar, sendo ainda um grande desafio para os ortodontistas.⁴ Geralmente, estes indivíduos apresentam problemas estéticos e funcionais. A face é caracteristicamente estreita e alongada e, muitas vezes, há dificuldades na respiração nasal, mudanças na postura crânio-cervical e na posição do osso hióide.^{5,6} O crescimento hiperdivergente exhibe uma rotação para baixo do complexo maxilo-mandibular em relação à base do crânio e um aumento do crescimento relativo da face ântero-inferior, contrariamente aos pacientes normodivergentes e hipodivergentes, que apresentam posicionamento estável da maxila em relação à base do crânio, com rotação anterior da mandíbula.³

A combinação de ativadores com Força Extra-Oral (FEO) tem sido comumente usada em pacientes em crescimento com má oclusão de Classe II hiperdivergente, cujos objetivos a alcançar são a restrição do deslocamento anterior da maxila, distalização e intrusão dos molares maxilares e rotação anterior da mandíbula para a correção sagital, vertical e melhoria do perfil facial.⁷⁻⁹

*Teuscher*¹⁰ sugeriu que o crescimento da maxila para frente e para baixo poderia ser alterado e, com a adaptação condilar, a mandíbula poderia mudar a direção de crescimento para uma posição mais anterior e superior.

Alguns estudos^{11,12} têm mostrado que a tensão transmitida por estes aparelhos é um fator determinante na remodelação óssea. Na relação entre a remodelação óssea e a tensão, a tração ou compressão alteram a atividade celular e resultam em reabsorção ou aposição. No entanto, os detalhes deste mecanismo ainda não são consensuais entre os autores que têm estudado o tema. Se por um lado, certos autores verificaram algumas mudanças aposicionais no corpo, ramo e regiões condilares da mandíbula,^{13,14} por outro lado, outros autores acreditavam que estes aparelhos não modificavam o crescimento mandibular, sugerindo que todas as mudanças durante o tratamento ocorreriam devido ao crescimento e desenvolvimento esqueléticos normais.^{15,16} A ortodontia moderna tem apresentado grandes discussões

quanto aos efeitos esqueléticos, alterações dento-alveolares, mudanças no perfil mole e modificações na ATM, suscitadas pelo uso dos aparelhos funcionais, combinados ou não com FEO, comumente utilizados no tratamento das más oclusões de Classes II.¹⁷⁻²³

Recentemente, com avanço e a utilização aumentada da Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (TCFC), a precisão e a compreensão das regiões da maxila, da mandíbula e da ATM têm aumentado, com a criação de modelos tridimensionais (3D) do esqueleto dento-facial.²⁴ A utilização do Método de Elementos Finitos (MEF) tem vindo a ser cada vez maior, mostrando-se uma mais-valia na Ortodontia. O MEF é uma ferramenta numérica de engenharia que permite avaliar as ações e os efeitos das cargas (tração e compressão) em estruturas vivas ou inertes, proporcionando a avaliação tridimensional da distribuição das tensões mecânicas induzidas por aparelhos ortodônticos.²⁵

Também a aplicação aumentada da fotografia tridimensional na ortodontia parece ser útil no seguimento dos pacientes ortodônticos. Imagens 3D de alta resolução podem ser facilmente geradas, através dos mais recentes *scanners* faciais. As tecnologias usadas para gerar imagens 3D incluem LASERS (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*), luz estruturada e fotogrametria.²⁶

Existem poucos estudos publicados que esclareçam claramente os reais efeitos da dissipação das tensões biomecânicas na maxila e na mandíbula e na Articulação Temporomandibular (ATM), transmitidas pelos aparelhos funcionais combinados com forças extra-orais, decorrentes do tratamento da má oclusão de Classe II hiperdivergente.

Com o intuito de esclarecer esta problemática, definiu-se como objetivo do presente trabalho elucidar os aspetos biomecânicos relacionados com dissipação das tensões biomecânicas na maxila, na mandíbula e na ATM, transmitidas pelo Aparelho Funcional do Tipo *Teuscher* (AFTT), através do MEF e avaliar tridimensionalmente os seus efeitos num caso clínico.

1.2. Características morfológicas, prevalência, padrão de crescimento e etiologia do fenótipo hiperdivergente retrognático

Os pacientes com fenótipo hiperdivergente, normalmente exibem características faciais marcantes sendo a classificação molar de *Edward H. Angle*²⁷

insuficiente na sua avaliação. *Edward H. Angle*²⁷ baseou a sua classificação da má oclusão em Classes I, II e III, fundamentalmente na relação oclusal ântero-posterior, entre os primeiros molares maxilares e mandibulares permanentes, não considerando a dimensão vertical. Esta classificação apresenta uma limitação importante, já que não expressa com detalhe as características verticais da face, que são um fator importante na harmonia facial. Somente com avaliações simultâneas das dimensões ântero-posterior, vertical e transversal, se alcançou o correto e completo diagnóstico ortodôntico-facial. A inclusão das características faciais verticais foi essencial para esse avanço.

Foi *Schudy*²⁸ nos anos 1960 que contribuiu de forma decisiva para que a componente vertical fosse considerada no diagnóstico ortodôntico-facial. De facto, foi o precursor do conceito que a harmonia facial em indivíduos com displasias verticais combinadas com displasias ântero-posteriores, estaria significativamente comprometida. Indivíduos com essas características faciais passaram a ser chamados de hiperdivergentes, o que reflete com mais precisão o seu fenótipo esquelético. No entanto, pacientes com displasia vertical têm sido classificados através de uma variedade de designações, como o demonstrado na tabela 1.1, sendo que a maioria dos autores os categoriza em mordida aberta esquelética.²⁹

Tabela 1.1. Designações adotadas para descrever os vários tipos de rotação na literatura.

Author	Designação
Wylie and Johnson	<i>High vertical dysplasia</i>
Schudy	<i>Hyperdivergent/hypodivergent</i>
Richardson	<i>Open-bite/deep-bite</i>
Björk	<i>Forward/backward rotation</i>
Linder-Aronson	<i>Adenoid face</i>
Schendel	<i>Long face syndrome</i>
Opdebeeck and Bell	<i>Short face syndrome</i>
Karlsen	<i>Low/high-angle face</i>
Betzenberger	<i>High-angle malocclusion</i>

*Adaptado de Buschang e coautores.*²⁹

Também, *Björk* e *Skieller*,^{30,31} nos seus estudos com implantes em que foram efetuadas sobreposições de cefalogramas recolhidos longitudinalmente, afirmaram que o crescimento dento-alveolar e a rotação mandibular (horária, anti-horária)

exercem um papel determinante no estabelecimento do fenótipo facial, exatamente por influenciarem diretamente a dimensão vertical da face.

É necessário compreender a morfologia de indivíduos retrognáticos hiperdivergentes para uma melhor avaliação da magnitude do problema e o estabelecimento de um plano de tratamento ortodôntico adequado.

1.2.1. Morfologia dos indivíduos hiperdivergentes retrognáticos

Indivíduos retrognáticos hiperdivergentes mostram diferenças estruturais da face consistentes, quando comparados a indivíduos normais de Classe I normodivergentes (Figura 1.1).

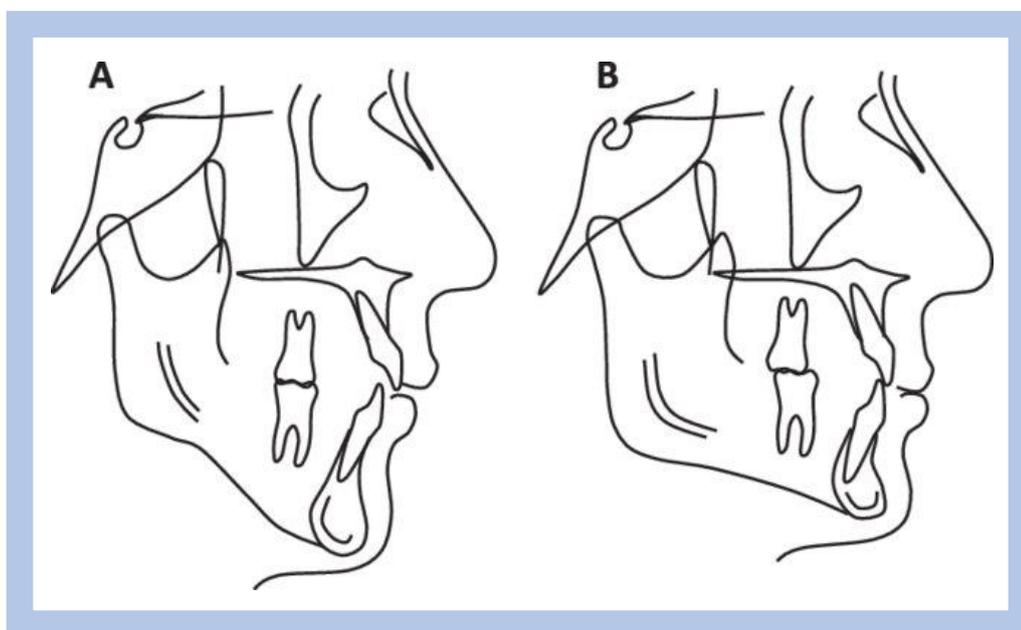


Figura 1.1. Diferenças morfológicas entre indivíduos hiperdivergentes e normodivergentes.

Adaptado de Buschang e coautores.²⁹

Geralmente, estes indivíduos apresentam problemas estéticos e funcionais. O crescimento hiperdivergente exibe uma rotação para baixo do complexo maxilo-mandibular em relação à base do crânio e um aumento do crescimento relativo da face ântero-inferior, contrariamente aos pacientes normodivergentes e hipodivergentes que apresentam posicionamento estável da maxila em relação à base do crânio, com rotação anterior da mandíbula.³ Apresentam também, frequentemente, uma altura mandibular excessiva, medida do lábio inferior ao mento, que se revela pouco atrativa.³²

Os perfis excessivamente convexos são considerados esteticamente menos agradáveis do que os perfis mais retilíneos.^{33,34} Também foi bem estabelecido que indivíduos hiperdivergentes têm músculos mastigatórios menos desenvolvidos e conseqüentemente exercem forças de mordida mais débeis do que indivíduos normodivergentes ou hipodivergentes.³⁵⁻³⁸ A força muscular nos hiperdivergentes é clinicamente importante porque está positivamente relacionada com os contatos oclusais, suporte oclusal e desempenho da função mastigatória.^{39,40} Curiosamente, a debilidade da força muscular está também relacionada com o volume da cavidade pulpar e a diminuição do volume dos dentes.⁴¹

Indivíduos hiperdivergentes apresentam ângulos goníacos mais obtusos, o que foi correlacionado com a força de mordida molar máxima e pode ser um indicador cefalométrico que reflete parcialmente a condição funcional dos músculos mastigatórios. Também se verificou que as crianças com menor força mastigatória pré-tratamento são mais propensas à recidiva dento-alveolar sagital, após o tratamento com aparelhos funcionais.⁴²

Alguns autores⁴³⁻⁴⁵ que avaliaram a altura maxilar anterior entre indivíduos hiperdivergentes não relataram diferenças estatisticamente significativas, verificando, também, que a altura maxilar posterior parece não ser afetada. O comprimento maxilar e o ângulo Sela Násio-Ponto A (SNA) tendem a ser menores - indicando uma posição mais posterior em indivíduos hiperdivergentes classificados com base na mordida aberta, o mesmo não é verdade quando a classificação é esquelética. A hiperdivergência parece não afetar o ângulo do plano palatino.

Por outro lado, quando são avaliadas as alturas dento-alveolares, vários estudos mostram consistentemente que são significativamente maiores em pacientes com padrão de crescimento hiperdivergente, em oposição àqueles que apresentam um padrão de crescimento normodivergentes.^{44,46} Assim, os problemas maxilares primários de indivíduos hiperdivergentes são dento-alveolares e não esqueléticos.

Comparativamente com a maxila, a mandíbula apresenta um maior número de diferenças entre indivíduos hiperdivergentes e controles não tratados.⁴⁷ Os hiperdivergentes têm maior altura anterior da face, enquanto a altura facial posterior não mostra diferenças consistentes, e a altura do ramo tem sido mais comumente relatada como sendo menor. A maioria dos estudos também relatou mandíbulas retrognáticas e ângulos do plano mandibular mais acentuados.⁴⁸

As dimensões transversais dos indivíduos hiperdivergentes retrognáticos são também afetadas, o que é esperado, já que os padrões de crescimento vertical estão intimamente relacionados com o crescimento transversal da maxila e da mandíbula.^{48,49}

A largura inter-molar tanto, na arcada maxilar quanto na mandibular, tende a ser mais estreita em indivíduos com má oclusão de Classe II divisão 1, do que em indivíduos com normocclusão, com as diferenças já presentes durante o estágio de desenvolvimento da dentição decídua.^{50,51}

Os rebordos alveolares, especialmente os mandibulares, também são menores nos hiperdivergentes do que nos hipodivergentes.^{52,53} Morfologicamente, os hiperdivergentes exibem sínfises mandibulares mais altas e estreitas enquanto a parte anterior da maxila também se apresenta mais estreita.⁵⁴

Relativamente à morfologia da ATM, num estudo recente, que avaliou as relações espaciais entre o côndilo e a fossa,⁵⁵ os resultados revelaram que os pacientes hiperdivergentes apresentavam o volume condilar e o espaço articular superior significativamente menores em relação aos hipodivergentes, enquanto o comprimento e a altura da fossa eram significativamente maiores.⁵⁶

Porém *Chae* e coautores,⁵⁷ num estudo em adolescentes, não encontraram diferenças significativas entre a largura condilar e a altura da fossa dos diferentes padrões verticais.

Resumidamente, pacientes com fenótipo hiperdivergente, normalmente exibem características faciais marcantes.⁵⁸

Verticalmente apresentam:

- ✓ Altura facial anterior inferior excessiva
- ✓ Altura facial posterior diminuída (pela falta de altura do ramo mandibular e dos processos alveolares posteriores inferiores)
- ✓ Ângulo goníaco obtuso
- ✓ Rotação mandibular no sentido horário
- ✓ Plano oclusal inclinado anteriormente para baixo
- ✓ Sínfise mentoniana aumentada e estreita
- ✓ Ossos corticais delgados (tanto na maxila como na mandíbula)
- ✓ Incompetência labial
- ✓ Arcadas maxilares geralmente atrésicas

E transversalmente verifica-se que:

- ✓ As arcadas dentárias são significativamente mais estreitas, especialmente a maxilar, não só pela sua própria anatomia, como também por importantes alterações funcionais.

A deficiência das funções respiratória e mastigatória provocam um incorreto posicionamento da língua e a falta de estímulo oclusal transversal a nível molar. De facto, durante o crescimento transversal normal da mandíbula, os molares mandibulares influenciam o "alargamento" da arcada maxilar através da oclusão. Este estímulo funciona como a matriz funcional, naturalmente esperada, já que o crescimento e desenvolvimento da maxila e da mandíbula são totalmente integrados. Funcionalmente, pode-se correlacionar as características faciais de indivíduos hiperdivergentes com: ^{59,60}

- ✓ Postura cefálica e mandibular inadequadas
- ✓ Vias aéreas superiores alteradas ou obstruídas
- ✓ Potência muscular mastigatória diminuída

As características faciais são consequências de alterações étnicas, epigenéticas e ambientais, com causas e consequências funcionais e estéticas. A partir dos anos 1990, as características estéticas passam a ser mais valorizadas, tanto pelos ortodontistas como por leigos, o que veio a alterar de forma pragmática a abordagem diagnóstica e o planeamento do tratamento ortodôntico. ^{59,60}

1.2.2. Prevalência do fenótipo retrognático hiperdivergente

Embora a prevalência do fenótipo retrognático hiperdivergente não tenha sido quantificada com precisão, estima-se que aproximadamente 3,5% da população apresenta uma má oclusão com mordida aberta, com hiperdivergência e retrognatia., *Proffit* e coautores, ⁶¹ num estudo em crianças com relações molares de má oclusão de Classe II, demonstraram existir uma tendência ligeiramente maior, mas não estatisticamente significativa, para a hiperdivergência, comparativamente com más oclusões de Classe I. Com base na prevalência de mordida aberta e da má oclusão de Classe II, pode estimar-se que aproximadamente 10% da população é tanto retrognática quanto hiperdivergente. ⁶¹

Os dados epidemiológicos disponíveis a respeito da prevalência da mordida aberta anterior em Portugal são de um estudo realizado na Faculdade de Medicina

Dentária da Universidade do Porto em 2013. Numa amostra de 1264 crianças em dentição decídua e mista, com idades compreendidas entre os 3 e os 12 anos, os autores constataram uma prevalência de mordida aberta anterior de 16,9% com um intervalo de confiança (IC) de 95% (11,9%, 24,5%) na dentição decídua, e de 11,3% com um IC de 95% (8,4%, 15,1%) para dentição mista.⁶²

Muito recentemente num estudo de revisão sistemática sobre a prevalência de más oclusões em crianças e adolescentes saudáveis, os autores constataram uma prevalência da má oclusão de Classe II de 23,8% (desvio padrão - DP de 14,6).⁶³

1.2.3. Padrões de crescimento do fenótipo retrognático hiperdivergente

Os padrões de crescimento da maioria dos pacientes hiperdivergentes são estabelecidos precocemente. As diferenças nas alturas faciais inferiores entre indivíduos com mordida aberta e profunda estão bem estabelecidas aos 4 anos de idade.⁶⁴ A maioria dos indivíduos que apresenta ângulos do plano mandibular aumentados aos 15 anos de idade, também os apresentava aumentados entre os 6 e 15 anos de idade.⁶⁵

*Bishara e Jakobsen*⁶⁶ mostraram que 82% dos indivíduos classificados aos 5 anos com face longa também apresentavam essa característica aos 25 anos de idade. A maioria (64%) das crianças de 6 anos hiperdivergentes são também hiperdivergentes aos 15 anos, com um agravamento da característica em 25% dos casos, ao longo do tempo.⁶⁵ Aproximadamente 75% dos indivíduos, classificados como hiperdivergentes, normodivergentes ou hipodivergentes aos 10 anos de idades, mantiveram essas classificações até aos 15 anos, tendo os hiperdivergentes agravado esse atributo com o passar do tempo.⁶⁷

1.2.4. Etiologia do fenótipo retrognático hiperdivergente

Na origem do fenótipo retrognático hiperdivergente são descritos diferentes fatores etiológicos: alterações no crescimento dento-alveolar, erupção anómala dos dentes, reabsorção do côndilo, músculos hipotónicos, obstrução das vias aéreas, respiração oral, alterações na matriz funcional, fatores hereditários, síndromes crânio faciais.⁶⁸⁻⁷⁰ Segundo *Watson*,⁷¹ é a combinação desses vários fatores que está mais frequentemente relacionada com as alterações da má oclusão desse fenótipo.

Também os fatores ambientais foram propostos como responsáveis por essas alterações ao longo do tempo, entre eles, hábitos, interferências na fala, respiração anômala e diminuição da força muscular.⁷²

1.2.4.1. Interferências na fala e deglutição

Nos indivíduos com deformidade dento-facial observam-se problemas de articulação de palavras em 80-90% dos casos, enquanto na população geral essa alteração ocorre em apenas 5% dos casos. Os pacientes hiperdivergentes apresentam diferenças qualitativas (preceptivas) e quantitativas (espectrais) nas propriedades dos sons. Preceptivamente, há maior prevalência de distorções auditivas e visuais da fala em pacientes hiperdivergentes, quando comparados aos grupos controles. Além disso, a gravidade da hiperdivergência esquelética está correlacionada com o grau de distorção dos sons consonantais. Esses achados fornecem informações importantes a transmitir ao paciente sobre o efeito do tratamento cirúrgico e/ou ortodôntico, na fala.^{73, 74}

Foi observada também uma associação significativa entre a posição e a função da língua, bem como as alterações na interposição e na impulsão da língua durante a deglutição.⁷⁴

1.2.4.2. Efeitos da interferência dos hábitos

A literatura não apoia os hábitos como fator direto, certamente não sendo um fator explicativo importante, por si só, para o fenótipo hiperdivergente. Pode haver uma ligação entre os hábitos de sucção digital e o desenvolvimento de uma má oclusão de Classe II, com fenótipo protrusivo da maxila.⁷⁵ Um estudo realizado em crianças de 7 a 16 anos de idade, com hábitos persistentes de sucção digital, mostrou uma maior tendência destas crianças para má oclusão de mordida aberta, relações molares e caninas de má oclusão de Classe II, incisivos maxilares proclivados e maxila mais longa, mas sem efeitos significativos sobre os ângulos dos planos mandibulares ou palatino.⁷⁶

Isso sugere que os hábitos de sucção digital ajudam a explicar os problemas maxilares de má oclusão de Classe II,⁷⁷ mas não os fenótipos hiperdivergentes

retrognáticos, cujas más oclusões são principalmente devidas à dismorfia mandibular.²⁹

O principal fator envolvido na constituição do fenótipo facial hiperdivergente é a alteração morfo funcional na mandíbula, cuja postura muscular é diretamente influenciada pelos padrões de respiração e mastigação. É consensual entre os diversos autores, que o padrão de respiração e o desenvolvimento do fenótipo facial hiperdivergente apresentam uma estreita relação.²⁹

1.2.4.3. Efeitos das interferências com a respiração normal

As interferências das vias aéreas superiores, médias e inferiores têm sido intimamente relacionadas às alterações de desenvolvimento que levam a um fenótipo retrognático hiperdivergente.⁷⁸ Dada a abundância de literatura mostrando relações dessas interferências na respiração normal com a hiperdivergência, embora pouco causais, estas devem ser consideradas como fatores ambientais primários que explicam o desenvolvimento do fenótipo hiperdivergente retrognático. As semelhanças morfológicas que foram relatadas para indivíduos com amígdalas aumentadas, rinite alérgica e adenóides hipertrofiadas, levam à conclusão de que as interferências crônicas nas vias aéreas estão na origem de fenótipos similares.

As experiências clássicas de *Harvold* e coautores⁷⁹ estabeleceram uma relação de causalidade entre o modo de respiração e as alterações na morfologia craniofacial. Mediante experiências em macacos cujas vias aéreas nasais foram propositadamente bloqueadas, verificou-se o desenvolvimento de planos mandibulares mais íngremes e ângulos goníacos maiores. De facto, as alterações foram mais pronunciadas nos animais que mantiveram uma posição postural baixa da mandíbula. Quando os bloqueios foram removidos, o crescimento voltou ao seu padrão normal, mais horizontal. Clinicamente, os autores verificaram que a relação entre as vias aéreas e os distúrbios do crescimento foi, possivelmente, mais bem estabelecida para os pacientes com adenoides aumentadas.

*Linder-Aronson*⁸⁰ foi um dos primeiros a relatar diferenças sistemáticas entre um grupo de crianças com adenoides aumentadas e outro com respiração nasal, ao verificar que as crianças com adenoides aumentadas têm a altura facial ântero-inferior aumentada, os ângulos goníacos maiores, as arcadas maxilares estreitas, os incisivos retro inclinados e os ângulos do plano mandibular maiores. Estudos subsequentes

confirmaram que indivíduos com adenoides hipertrofiadas têm tendência a apresentar um crescimento mandibular mais vertical que os seus pares com respiração nasal.^{80,81}

Após adenoidectomia, a maioria (75%) das crianças alteraram, no espaço de um ano, para um padrão de respiração nasal. Melhorias espontâneas nos ângulos do plano mandibular, na largura das arcadas e na inclinação dos incisivos, foram relatadas 5 anos após a cirurgia. A mandíbula também alterou a sua direção de crescimento após a adenoidectomia, assumindo uma direção mais horizontal do que nos grupos controlos.^{82,83}

Kerr e coautores,⁸¹ que acompanharam 26 crianças adenoidectomizadas durante 5 anos, mostraram alterações no modo de respiração e a normalização do crescimento, com uma direção mais anterior do crescimento mandibular, mas também da rotação verdadeira da mandíbula. Curiosamente, parece que o momento da adenoidectomia é um fator importante na determinação da resposta de crescimento.⁸⁴

Muito recentemente, *Tinano* e coautores⁸⁵ avaliaram, em crianças com apneia obstrutiva do sono adenotonsilectomizadas, as alterações da pressão sistólica da artéria pulmonar, o fluxo inspiratório nasal, o volume das vias aéreas superiores, o índice de apneia/hipopneia obstrutiva e a morfologia tridimensional maxilo mandibular. Os resultados revelaram um aumento do fluxo inspiratório nasal e do volume da nasofaringe, mas o índice de apneia/hipopneia obstrutiva e a morfologia maxilo mandibular foram semelhantes em pacientes cirúrgicos e no grupo controlo não cirúrgico.

Embora menos estudadas, as amígdalas cronicamente aumentadas produzem o mesmo fenótipo que as adenoides hipertrofiadas. *Behlfelt* e coautores,⁸⁶ que avaliaram 73 crianças de dez anos com hipertrofia amigdalina, mostraram um índice mais elevado de retrognatia, aumento da altura facial anterior e dos ângulos do plano mandibular que as crianças que apresentavam amígdalas normais. Além disso, as características esqueléticas estavam diretamente relacionadas com as posturas de boca aberta e língua com posição baixa. A apneia do sono produz características morfológicas semelhantes.

Lowe e coautores,⁸⁷ por exemplo, mostraram que homens adultos com apneia obstrutiva do sono grave exibem ângulos do plano mandibular acentuados, dentes maxilares e mandibulares sobre erupcionados, ângulos goniacos maiores e mordidas abertas anteriores. *Andersson* e coautores⁸⁸ relataram padrões morfológicos semelhantes entre 51 pacientes com roncopatia intensa, com e sem apneia. Também

foi demonstrado que crianças com apneia obstrutiva do sono apresentam ângulos do plano mandibular mais acentuados, maiores alturas anteriores inferiores da face e incisivos mais retro inclinados. Cinco anos após adenoamigdalectomia, não se registaram diferenças significativas entre pacientes com apneia e controles.⁸⁹

Existem associações semelhantes entre a rinite alérgica e o desenvolvimento craniofacial, resultados esses importantes atendendo a que prevalência de rinite alérgica varia entre 10 e 20% e a maioria desses pacientes também têm asma.⁹⁰

Bresolin e coautores⁹¹ mostraram que os respiradores orais exibem alturas faciais anteriores significativamente maiores, ângulos do plano mandibular maiores, retrusão mandibular relativamente maior do que a maxilar, ângulos goníacos maiores, palatos mais altos, sobremordida horizontal aumentada e maxilas mais estreitas do que respiradores nasais. *Trask*,⁹² que realizou um estudo com irmãos com padrões respiratórios distintos, verificou que os respiradores orais com rinite alérgica perene exibem palatos mais profundos, incisivos mandibulares retro inclinados, ângulos SNB e SNPg menores, sobremordida horizontal aumentada, alturas faciais inferiores aumentadas, ângulos goníacos maiores e ângulos do plano mandibular maiores do que os seus irmãos, respiradores nasais.

Segundo o estudo de Stein e Flax,⁹³ crianças de 6 a 16 anos com rinite alérgica crônica perene apresentam padrões de crescimento facial mais verticais e divergentes do que os do grupo controle, estando o grau de hiperdivergência diretamente relacionado à gravidade da rinite alérgica.⁹³

Ainda relacionado com rinite alérgica, em 2018 foi realizado um estudo de revisão cujo objetivo foi relacionar a rinite alérgica com a má oclusão em crianças. Os resultados revelaram que a prevalência de má oclusão em crianças com rinite estava aumentada, variando de 59,2 a 76,4%. Os resultados desta revisão reforçam a importância do diagnóstico e tratamento da obstrução nasal, em idade precoce, para prevenção de um crescimento facial alterado.⁹⁴

Também *Harari* e coautores,⁹⁵ ao compararem 55 crianças com sinais e sintomas de obstrução nasal com 61 respiradores nasais normais, mostraram que os respiradores orais tinham ângulos do plano mandibular aumentados, sobremordida horizontal aumentada, mandíbula retrognática, ângulo do eixo facial maior e larguras intermolares mais estreitas.

1.2.4.4. Efeitos da hipotonia muscular

Tradicionalmente, forças musculares mastigatórias reduzidas fornecem a melhor explicação para a prevalência de fenótipos retrognáticos de hiperdivergência. Estudos antropológicos têm mostrado consistentemente que a prevalência de má oclusão é muito menor nos indivíduos que vivem em condições primitivas do que nos que consomem alimentos industrializados.⁹⁶ Como os indivíduos que vivem em condições mais primitivas comem alimentos mais duros, que requerem maior força muscular para a mastigação, pode-se esperar que eles tenham músculos mastigatórios mais desenvolvidos e com mais força. É importante ressaltar que essa associação não se limita somente à má oclusão dentária, mas está fortemente associada a ângulos goníacos maiores e mandíbulas mais estreitas. Comparações de amostras de indivíduos dos séculos XVI e XVII com populações finlandesas atuais mostraram que as alturas faciais posteriores, eram significativamente menores nos finlandeses atuais; a hiperdivergência foi atribuída aos alimentos mais moles da dieta atual, apoiando a noção de que o crescimento craniofacial é regulado pelas tensões mastigatórias.⁹⁷

Existem também numerosos estudos experimentais mostrando diferenças na força muscular, morfologia muscular e no crescimento craniofacial entre animais alimentados com dietas moles e duras. Várias espécies de animais em crescimento, alimentados com dietas moles, apresentam diferenças estruturais nos músculos mastigatórios, forças de mordida mais baixas, diferenças no crescimento condilar, maxilas mais estreitas e diferenças na remodelação óssea.⁹⁸⁻¹⁰⁰ A remodelação do processo goníaco tem sido diretamente relacionada com os tamanhos dos músculos masséter e pterigóideo medial.¹⁰¹ A ressecção destes músculos resulta em alterações no crescimento condilar, no comprimento mandibular e na altura do ramo.¹⁰²

Mais importante, os músculos hipotônicos da mandíbula entre os humanos têm sido intimamente relacionados com tendências de crescimento hiperdivergente. De facto, a hiperdivergência esquelética tem sido diretamente relacionada à redução do tamanho do músculo, à baixa atividade eletromiográfica e à redução da eficiência muscular.^{103,104} As alturas dento-alveolares aumentadas também têm sido associadas à diminuição da função dos músculos mastigatórios.¹⁰⁵ Adultos com maiores ângulos do plano mandibular têm forças de mordida substancialmente mais fracas.³⁵⁻³⁷ Também em crianças a divergência facial também tem sido relacionada à menor força de mordida.¹⁰⁶

Pacientes com distrofia muscular e atrofia espinhal muscular demonstram dramaticamente a relação entre a função muscular e a hiperdivergência. Há mais de 40 anos, *Kreiborg* e coautores¹⁰⁷ mostraram os efeitos graves que a distrofia muscular teve no crescimento craniofacial de uma menina de 12,5 anos. O mesmo defeito de gene recessivo único que enfraqueceu diretamente os músculos produziu indiretamente um fenótipo esquelético retrognático hiperdivergente grave.¹⁰⁷ Pesquisas subsequentes mostraram que indivíduos com distrofia muscular de *Duchenne* e atrofia muscular miotônica,^{108,109} bem como atrofia espinhal muscular,^{110,111} têm músculos mastigatórios significativamente mais fracos e exibem as mesmas características apresentadas por indivíduos retrognáticos hiperdivergentes. Os tamanhos dos músculos mastigatórios também têm sido relacionados com a dimensão do ramo mandibular, a largura bizigomática^{112,113} e, especialmente, com a largura maxilar.¹¹⁴⁻¹¹⁶ É importante ressaltar que o fortalecimento dos músculos mastigatórios produz alterações morfológicas opostas às produzidas pelos músculos enfraquecidos. Pacientes hiperdivergentes submetidos a exercícios de mastigação mostram maior rotação mandibular verdadeira para anterior do que indivíduos hiperdivergentes não tratados e uma rotação ainda maior do que os indivíduos tratados com mentoneira de tração vertical.¹¹⁷ *Ingervall* e coautores¹¹⁸ também mostraram que o exercício dos músculos mastigatórios produz aumentos significativos nas forças de mordida e uma rotação anterior da mandíbula maior do que a esperada.

1.3. Hiperdivergência mandibular e retrognatismo

Foi *Schudy*²⁸ em 1964 um dos primeiros autores a enfatizar a importância do crescimento vertical para a melhor compreensão da posição ântero-posterior do mento. Uma considerável relação tem sido reportada entre as mudanças mandibulares ântero-posteriores e verticais que ocorrem durante o crescimento, sugerindo que a maioria dos indivíduos que se tornam mais hiperdivergentes com o passar do tempo também se tornam mais retrógnatas.¹¹⁹ Isso ocorre porque é o comportamento da mandíbula, mais que o da maxila, que geralmente explica a melhoria ou agravamento da relação ao longo do tempo. Nos indivíduos que pioram as relações ântero-posteriores, o pogonion não avança tanto, e o gónion retrocede mais. Como tal, a rotação desempenha um papel importante na determinação das relações ântero-posterior e vertical.

1.3.1. Rotação mandibular verdadeira

Durante muitos anos foi transmitida a ideia de que a mandíbula cresce para cima e para trás resultando em um deslocamento para baixo e para a frente. Isso gerou a ideia de que grandes quantidades de crescimento superior e posterior estariam relacionadas com grandes quantidades de deslocamentos inferior e anterior, uma ideia que indubitavelmente influenciou o desenvolvimento e a popularização dos aparelhos funcionais. O crescimento condilar posterior deveria ser benéfico para explicar o deslocamento anterior da mandíbula.

Se o crescimento condilar ocorre principalmente em direção posterior, como frequentemente é descrito, isso ajudaria a explicar o deslocamento anterior do mento, que normalmente ocorreria e justificaria tratamentos relacionados ao aumento do crescimento posterior ao nível do côndilo em indivíduos retrógnatos. Enquanto a maioria do crescimento mandibular ocorre nas regiões superior e posterior do côndilo, as mudanças verticais – especialmente na região condilar – são substancialmente maiores que as mudanças posteriores (7-9 mm superior para 1 mm posterior).^{31,120} De fato, as crianças que apresentam o maior deslocamento anterior do mento têm côndilos que crescem mais anteriormente.¹²¹ Talvez mais importante, o mento não é simplesmente deslocado para frente durante o crescimento; o deslocamento anterior que ocorre ao nível do mento é devido, principalmente, à rotação anterior da mandíbula. A rotação mandibular será, de longe, o fator mais determinante na posição ântero-posterior do mento.

Para entender a rotação, é necessário distinguir entre a rotação do plano mandibular e a rotação mandibular (Figura 1.2).¹²²

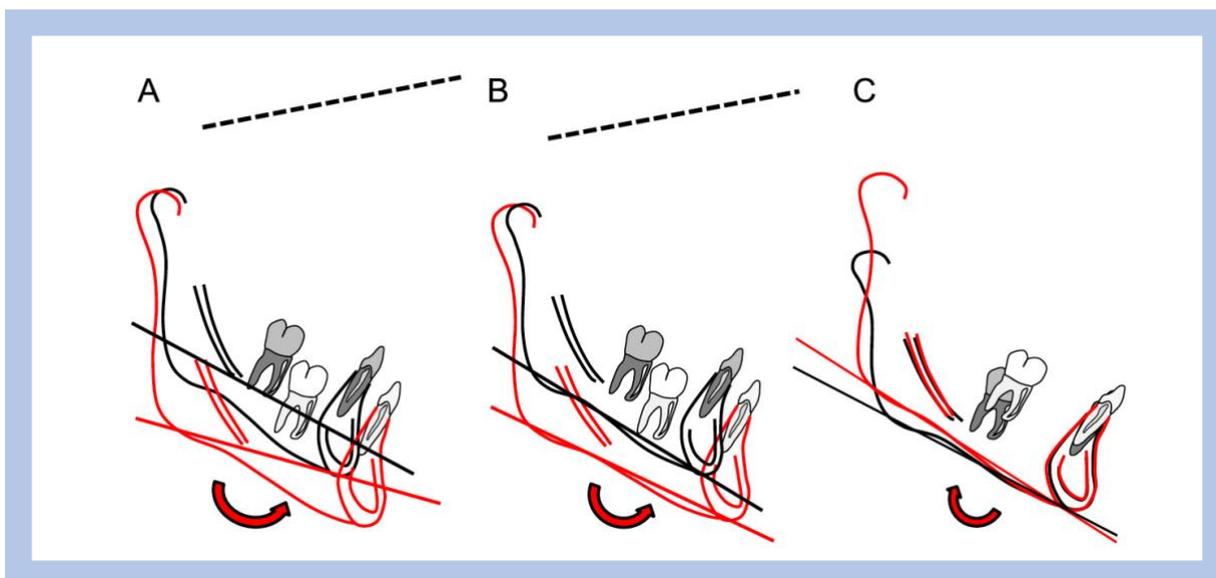


Figura 1.2. A) Rotação verdadeira da mandíbula, analisada por um plano construído sobre implantes metálicos ou estruturas estáveis da mandíbula relativo à base do crânio; B) rotação aparente da mandíbula- analisada pelo plano mandibular relativo a base do crânio; C) rotação intra-matrical ou remodelação do bordo inferior da mandíbula, analisada através da sobreposição mandibular em estruturas estáveis da mandíbula.

Adaptado de Buschang e coautores.¹²²

Tradicionalmente, os ortodontistas têm avaliado a rotação do rebordo inferior da mandíbula em relação ao plano horizontal de Frankfurt ou ao plano anterior da base do crânio (*Sela-Nasion*). A rotação do plano mandibular não reflete a verdadeira rotação. Na verdade, é a rotação que parece estar a ocorrer, ou seja, a rotação aparente. O que parece estar a acontecer, na verdade não está, porque o rebordo inferior da mandíbula sofre um processo de remodelação, e a remodelação em curso camufla ou encobre a verdadeira rotação que realmente ocorre. Concretizando, *Spady* e coautores¹²³ mostraram que, entre os 6 e os 15 anos de idade, quase ocorre 5° de rotação anterior verdadeira da mandíbula, no entanto, essa rotação foi acompanhada de menos de 1° de alteração do ângulo do plano mandibular.

Em indivíduos não tratados, normalmente, verifica-se uma rotação anterior ou no sentido anti-horário (com o paciente virado para a direita). Em média a rotação verdadeira varia entre 0,41 e 1,31° por ano,^{121,123,124} com maiores taxas relatadas durante a infância do que na adolescência.^{124,125}

Os pacientes hiperdivergentes sofrem significativamente menos (23-43%) rotações anteriores verdadeiras que os hipodivergentes.¹²⁶ Quantidades substancialmente maiores de rotação verdadeira ocorrem durante a transição entre a dentição decídua e a mista precoce, o que pode sugerir a influência fundamental que a dentição desempenha na rotação.¹²⁴

A rotação mandibular verdadeira tem sido repetidamente demonstrada como o fator mais importante da posição ântero-posterior do mento em indivíduos não tratados¹²⁷ e indivíduos tratados.^{128,129}

Há apenas três possibilidades para explicar os movimentos anterior ou posterior do mento em indivíduos em crescimento não tratados, já que a área anterior do mento (pogonion) por si só, apresenta pouca ou nenhuma remodelação.^{121,123,127,130} Assim sendo, as três possibilidades acontecem devido ao crescimento condilar, a alterações na fossa glenóide e à rotação mandibular verdadeira.

Esta rotação mandibular verdadeira é importante porque está diretamente relacionada com a posição do mento e indiretamente relacionada com várias outras mudanças de crescimento e remodelação. Uma forte associação tem sido relatada entre a rotação mandibular verdadeira, a quantidade de crescimento condilar e a direção do crescimento condilar.^{121,127,131,132}

Os indivíduos com rotação anterior da mandíbula mostram um crescimento condilar maior e orientado em uma direção mais anterior, que os indivíduos que apresentam rotação posterior. O bordo inferior mandibular tende a exibir aposição óssea na região anterior e reabsorção na região posterior que não é normalmente o padrão apresentado pelos indivíduos que exibem rotação posterior.^{121,133}

A rotação mandibular verdadeira também produz mudanças compensatórias no padrão eruptivo dos dentes, com os molares erupcionando mais que os incisivos nos casos com rotação anterior da mandíbula, por sua vez incisivos erupcionam mais que os molares nos casos com rotação posterior.¹²¹

Os incisivos e molares mandibulares tendem a, respetivamente, retro inclinar e angular distalmente nos padrões com rotação posterior; proinclinam e angulam mesialmente nos padrões com rotação anterior.^{121,130} Estas alterações de remodelação associadas com a rotação anterior durante o crescimento podem ser produzidas com o tratamento. Por exemplo, pacientes adolescentes mostram mudanças nos seus padrões de crescimento condilar e remodelação mandibular após impactações maxilares (sem cirurgia mandibular).¹³⁴ As mudanças mandibulares que ocorrem durante os anos subsequentes às impactações cirúrgicas terem sido realizadas e a mandíbula rodada para anterior são semelhantes às alterações observadas em indivíduos não tratados que apresentam rotação anterior.

1.3.2. Postura mandibular como fator determinante

A postura mandibular fornece a única explicação lógica para o bloqueio das vias aéreas e o enfraquecimento dos músculos produzirem o mesmo fenótipo retrognático hiperdivergente. *Navarro* e coautores¹⁰⁵ demonstraram que a rotação posterior da mandíbula ocorre em associação com a redução da função muscular, fornecendo o único suporte experimental direto da relação entre a força dos músculos mastigatórios e a postura mandibular.

É fácil entender a razão pela qual a mandíbula assume uma posição mais baixa nos indivíduos com obstrução das vias aéreas. Por definição, os respiradores orais devem mover a mandíbula para respirar, e é mais fácil o deslocamento vertical. A obstrução intencional das vias aéreas superiores resulta em uma postura de repouso mais baixa da mandíbula e um aumento de 5° da extensão crânio-cervical.¹³⁵ Se a postura mandibular mais baixa for mantida (ou seja, se tornar habitual), e especialmente se o indivíduo tiver potencial de crescimento, então a dentição, o complexo dento-alveolar e a mandíbula podem adaptar-se à posição alterada (Figura 1.3).

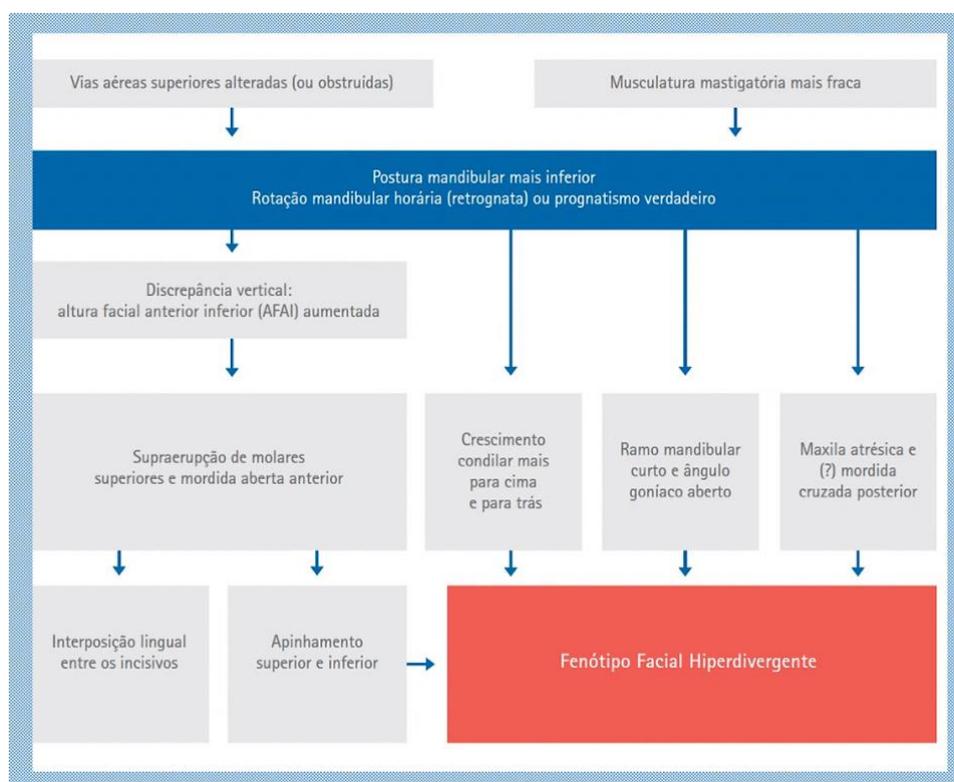


Figura 1.3. Relações morfológicas e funcionais e suas consequências estéticas.

Adaptado de Buschang e coautores.⁵⁸

A postura mandibular mais baixa conduz a um aumento na altura anterior da face e do ângulo do plano mandibular, assim como a uma diminuição na proporção da altura da face anterior e posterior.

Com o passar do tempo, essas mudanças causam uma erupção excessiva dos dentes posteriores. Por sua vez as erupções excessivas dos dentes anteriores dependem, em parte, da posição da língua entre os dentes anteriores, o que pode originar muitas vezes uma mordida aberta.

Os incisivos, especialmente os incisivos mandibulares, adaptam-se à posição mandibular mais baixa por retro inclinação. A retro inclinação e a erupção excessiva causam alterações na morfologia da sínfise mandibular e o aumento do apinhamento. A postura baixa da língua e da mandíbula originam uma arcada maxilar estreita, o que pode provocar também mordidas cruzadas. Uma postura mais baixa leva a alterações no padrão de remodelação da mandíbula e a um crescimento condilar mais direcionado posteriormente, que por sua vez, leva a aumentos no ângulo goníaco. Teoricamente, a rotação terapêutica da mandíbula para anterior, reverterá ou talvez contribua para corrigir esta dismorfia retrognática hiperdivergente.¹²²

Buschang e coautores¹³⁶ mostraram que é possível produzir correções ortopédicas significativas em pacientes retrognáticos hiperdivergentes em crescimento. Estes autores obtiveram uma média de 3,9° de rotação do plano mandibular com a intrusão dos dentes posteriores com mini implantes. A rotação mandibular avançou o mento em 2,4 mm, aumentou o ângulo SNB em 2,1°, melhorou a convexidade facial em 3,2°; e diminuiu o ângulo goníaco em 2,4°. Os seus melhores resultados produziram efeitos ortopédicos substanciais, semelhantes aos observados com cirurgia. Os resultados foram relacionados com o crescimento, já que pacientes com maior crescimento necessitaram de menos intrusão para produzir os efeitos desejados.

1.4. Considerações sobre o crescimento e desenvolvimento craniofacial

O conhecimento detalhado do crescimento e do desenvolvimento craniofaciais é essencial para os profissionais que lidam com pacientes em fases de crescimento. É de fundamental importância reconhecer as más oclusões precocemente e realizar o plano de tratamento adequado, permitindo ao ortodontista aumentar as suas oportunidades de usar o crescimento como seu aliado no tratamento

ortopédico/ortodôntico. Para compreender o crescimento em qualquer área do corpo, é necessário entender as zonas ou locais de crescimento, o tipo de crescimento que ocorre em cada local, o mecanismo de crescimento (ou seja, como as alterações de crescimento ocorrem) e os fatores determinantes ou de controlo desse crescimento.

Durante o desenvolvimento craniofacial, a fronte do bebé parece proporcionalmente larga e alta devido ao crescimento do cérebro, que ocorre precocemente em relação a outras partes da face. Ao nascer, o espaço das vias aéreas na face média é curto vertical e ântero-posteriormente, mas vai-se desenvolvendo proporcionalmente ao aumento do tamanho do corpo e dos pulmões. Nesta etapa, a mandíbula é pequena e retro posicionada na face.

Segundo *Enlow*,¹³⁷ durante a fase de amamentação com o processo de sucção, domina o 7º par craniano e a função dos músculos faciais. Em contrapartida, a musculatura mastigatória e o 5º par craniano ainda não estão em função.

Devido ao crescimento mais intenso e rápido dos lobos frontais do cérebro relativamente à face, a fossa craniana anterior projeta-se anteriormente e as duas hemi-maxilas acompanham esse deslocamento anterior. Já a mandíbula está ligada à fossa craniana média através das articulações temporomandibulares. Tanto a fossa craniana média, como os lóbulos temporais do cérebro, vão apresentar um crescimento durante um período mais prolongado, ultrapassando os cinco ou seis anos de idade dos lobos frontais. Assim sendo, a mandíbula vai apresentar um desenvolvimento mais lento acompanhando o desenvolvimento do espaço faríngeo.¹³⁸ De forma genérica, podemos relacionar a fossa craniana anterior com o perímetro da região das vias aéreas nasais e do palato. Já a fossa craniana média e os lobos temporais vão limitar a faringe e condicionar a sua configuração. O palato vai estabelecer a forma e o perímetro das bases apicais maxilar e mandibular. Ao ramo mandibular cabe o papel chave de ajuste do corpo da mandíbula a nível anterior em oclusão funcional com a maxila e a nível posterior, através da articulação com os ossos temporais, ajustes a variações de forma da faringe.¹³⁸

As estruturas craniofaciais podem alterar a forma e o tamanho individualmente, mantendo a estrutura da face e as funções, através de movimentos de crescimento citogenéticos e histogenéticos, mediante o sistema cibernético descrito por *Petrovic*.¹³⁹ Por um lado, cada parte em crescimento na face está ligada por uma rede de tecido conjuntivo e fibras de colagénio que exercem tração. Por outro lado, os dois processos de desenvolvimento ocorrem sincronizados e simultâneos, nomeadamente a

remodelação e o deslocamento, o que permite explicar as compensações esqueléticas e dentárias que ocorrem durante o crescimento.¹³⁷

O processo de crescimento depende dos tecidos genéticos. Existe tanto um elemento genético como uma transmissão de sinais nas células que determinam as relações morfogenéticas e a duração do desenvolvimento. Quando o equilíbrio de desenvolvimento entre diferentes partes se altera, libertam-se fatores que ativam os tecidos genéticos que alteram a proliferação mitótica. A posição ou reabsorção óssea é a resposta a sinais moleculares gerados por fatores epigenéticos que ativam a remodelação reparadora. As células genéticas não têm o controlo genético total do desenvolvimento ósseo, o que significa que o controlo do crescimento ósseo não está nele próprio. No caso do côndilo, a cartilagem não é um centro primário do crescimento mandibular.¹³⁸

Quando se faz um tratamento com um aparelho funcional ortopédico, apenas se altera o crescimento condilar. Estes aparelhos, ao modificarem a função muscular, o palato, a mucosa bucal, ativam sinais para a remodelação do ramo em desenvolvimento.

O complexo craniofacial divide-se em quatro áreas que se desenvolvem de modo diferenciado: a calvaria, ou seja, os ossos que cobrem a superfície superior e interna do cérebro; a base craniana, isto é, o soalho ósseo sob o cérebro, que é também a linha de divisória entre o crânio e a face; e o complexo nasomaxilar, composto pelo nariz, maxila e pequenos ossos associados e a mandíbula.

De seguida, será detalhado o mecanismo de crescimento e desenvolvimento do complexo nasomaxilar e da mandíbula.

1.4.1. Crescimento nasomaxilar

Origem e Crescimento Pré-Natal da Maxila

Na quarta semana de vida intra-uterina o processo frontonasal e o processo maxilar do primeiro arco braquial, dão origem à maxila. A pré maxila origina-se na sétima semana de vida intrauterina como uma membrana óssea na superfície externa da cápsula nasal. Estende-se posteriormente e superiormente, quando se encontra com a maxila propriamente dita na formação do processo frontal. A maxila ossifica-se a partir de dois centros, um centro maxilar principal que aparece no meio da sétima semana e um outro ao nível do vômer que surge no final da décima semana. O seio

maxilar permanece estreito até aos 2 anos pós-natais. O desenvolvimento pré-natal da face ocorre sobretudo entre a quarta e a oitava semanas de vida intrauterina.¹⁴⁰

Crescimento e Desenvolvimento Pós-Natal da Maxila

A face cresce muito mais que o crânio ao longo dos anos. O recém-nascido possui um crânio 8 a 9 vezes maior que a face e a cabeça correspondendo a um quarto da altura total do esqueleto; já o adulto possui um crânio uma vez maior que a face (um meio do crânio) e a altura da cabeça corresponde a um oitavo da altura total do esqueleto. O crescimento nos primeiros anos de vida é mais generalizado e depois disso torna-se mais localizado.¹⁴⁰

Nessa conformidade, podemos observar a maxila crescer para todos os lados e depois mais especificamente por áreas.¹⁴⁰ Segundo *Snodell e Nanda*,¹⁴¹ a maxila atinge 95 a 98% da sua dimensão final aos 12 anos, sendo o maior incremento no sentido transversal no período de 7 a 11 anos. A maxila desenvolve-se no período pós-natal, inteiramente por ossificação intra-membranosa. Por não haver nenhuma substituição de cartilagem, o crescimento ocorre de duas maneiras: por aposição de osso nas suturas que articulam a maxila ao crânio e à base craniana e por remodelação superficial. Em contraste com a abóbada craniana, as mudanças na superfície da maxila são muito mais significativas e importantes do que aquelas que ocorrem ao nível das suturas.¹⁴⁰

À medida que a maxila vai crescendo, vão ocorrendo uma série de processos de remodelação que têm como função manter as proporções ósseas e as posições relativas das partes componentes. Esses processos de remodelação, envolvem ajustes sequenciais localizados, das estruturas ósseas durante as mudanças constantes produzidas pelo crescimento da maxila. A maxila cresce em todas as direções do espaço, mas o seu trajeto predominante é para cima e para trás. Como o complexo nasomaxilar se depara posteriormente com a base do crânio, esse crescimento superior e posterior provoca um deslocamento contrário para frente e para baixo.¹⁴² Curiosamente, enquanto a maxila cresce para frente e para baixo, a sua superfície frontal é remodelada através da remoção de osso da parte da superfície anterior. A maioria da superfície anterior da maxila é a área onde ocorre reabsorção, e não aposição. Parece lógico que, se a superfície anterior do osso se move para baixo e para frente, esta deveria ser uma área onde o osso está a ser adicionado, e não removido. A concepção correta, no entanto, é que o osso é removido da superfície

anterior, embora esta superfície anterior esteja a crescer para frente.¹⁴⁰ Para entender este aparente paradoxo, é necessário compreender que dois processos totalmente diferentes estão a ocorrer simultaneamente. A modificação total no crescimento é resultado da translação da maxila para frente e para baixo e de uma remodelação superficial simultânea. O complexo ósseo nasomaxilar na globalidade está a mover-se para baixo e para frente em relação ao crânio, sofrendo uma translação espacial. Faremos agora uma revisão do crescimento e desenvolvimento da maxila dando atenção a áreas específicas do crescimento do complexo nasomaxilar, mas não esquecendo que ocorrem de maneira uniforme e simultânea entre si e como um todo enquadrado no processo de crescimento craniofacial e corporal.

Tuberosidade maxilar e aumento da arcada maxilar

O aumento horizontal da arcada maxilar é produzido pela remodelação na tuberosidade maxilar. A área responsável (Figura 1.4) é uma área de aposição na qual a superfície periosteal posterior da tuberosidade recebe aposição contínua de novo osso, enquanto continua o crescimento nessa região. A arcada dentária também se amplia sendo igualmente uma área de aposição óssea.

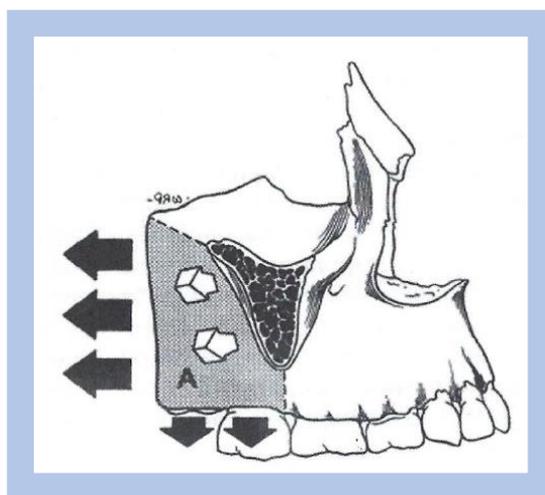


Figura 1.4. Área de aposição da tuberosidade maxilar.

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

Já o lado endosteal da cortical no interior da tuberosidade (seio maxilar) é uma área de reabsorção. A cortical move-se, assim, progressivamente, no sentido posterior e, com menor intensidade, em direção lateral. Como resultado, o seio maxilar aumenta de tamanho. No recém-nascido o seio é bastante pequeno, mas expande-se de forma

acentuada à medida que o crescimento continua e, eventualmente, ocupa a maior parte do grande compartimento suborbital.

A tuberosidade maxilar é muito importante para os ortodontistas, já que a distalização do primeiro molar maxilar faz, frequentemente, parte do plano de tratamento. Toda a opção mecânica planejada para distalizar o primeiro molar maxilar está relacionado com o potencial de crescimento da tuberosidade. É este campo de que permite ao clínico “expandir a arcada” ao movimentar os dentes na área de aposição óssea. A tuberosidade maxilar é o maior “sítio” de crescimento maxilar. Contudo, não é o único responsável pelo crescimento de toda a maxila, mas apenas a área associada com a parte posterior responsável pelo alongamento da arcada maxilar. Existem também outros locais de crescimento básicos e importantes em outras partes deste osso arquitetural e funcionalmente complexo (Figuras 1.5 e 1.6).

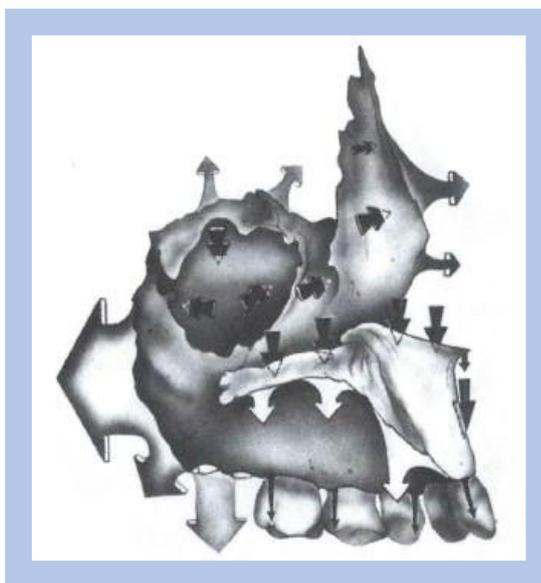


Figura 1.5. Áreas de crescimento da maxila
Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

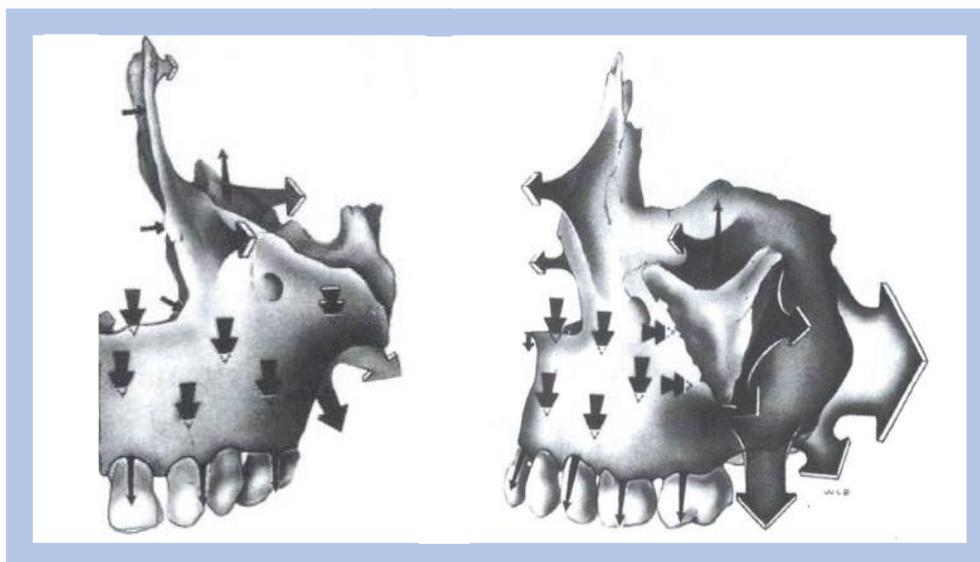


Figura 1.6. Áreas de crescimento da maxila.
Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

À medida que cresce e se alonga posteriormente, toda a maxila sofre um processo simultâneo de deslocamento primário em direção anterior e inferior (Figura 1.7).

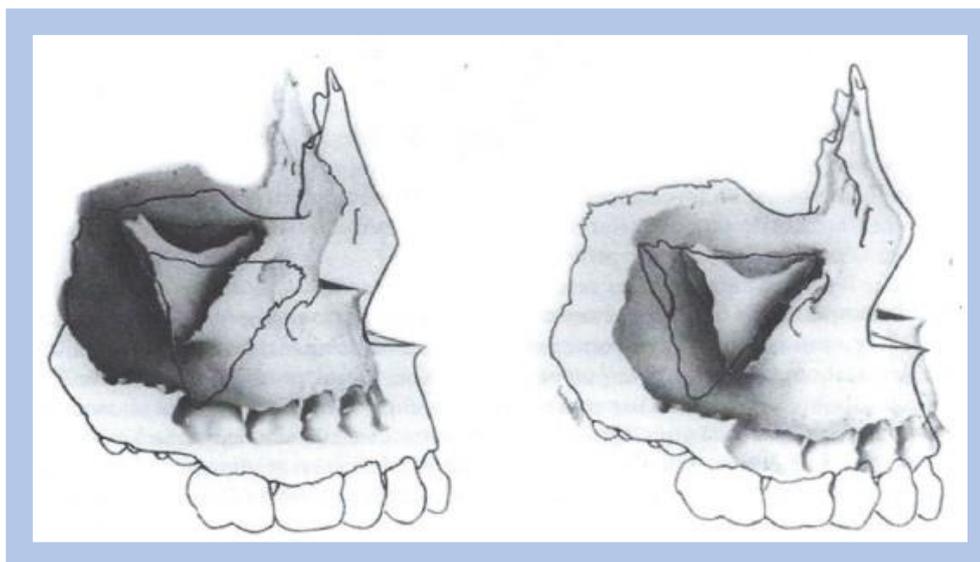


Figura 1.7. Processo de deslocamento da maxila em direção anterior e inferior.
Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

Todo o complexo nasomaxilar (Figura 1.8, B e C) sofre uma remodelação extensa à medida que sofre deslocamento inferior e anterior (Figura 1.8, D). A natureza da força que produz esse movimento anterior tem sido, historicamente, sujeita a grande controvérsia.

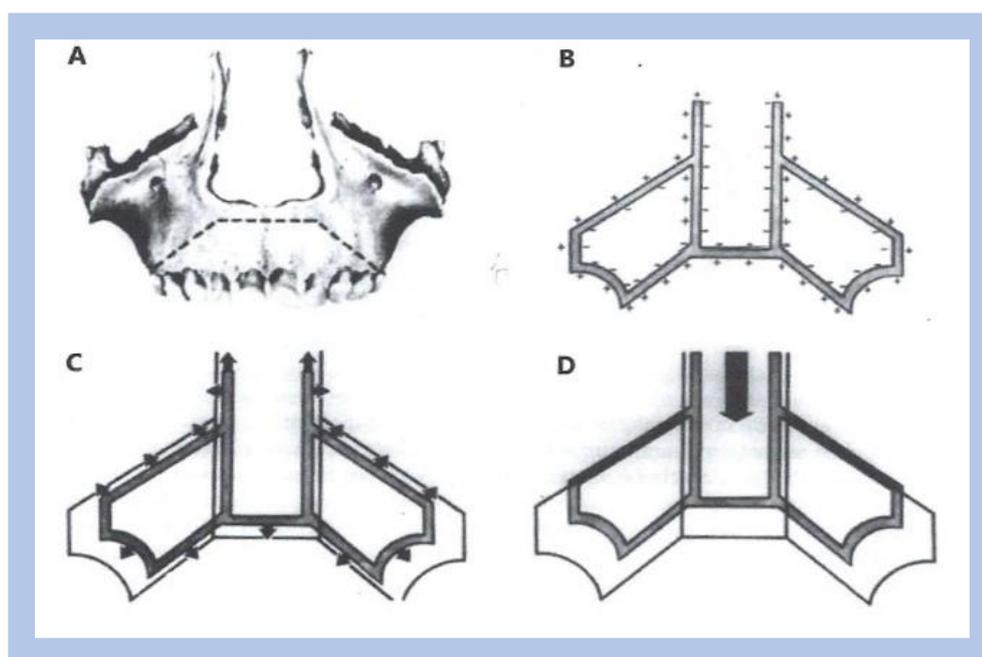


Figura 1.8. Remodelação de todo o complexo nasomaxilar.

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

Remodelação nasomaxilar

Um conceito importante, tanto clínica como biologicamente, é que todas as partes, regiões e superfícies internas e externas participam diretamente no crescimento (Figuras 1.5 e 1.6). A hipótese ultrapassada de “centros de crescimento” localizados e auto abrangentes (como se supunha serem as suturas controladas do crescimento), é contrária à verdadeira biologia.

Existem, é claro, diferenças de cronologia e magnitude entre todas as regiões localizadas, no entanto, todos têm parte ativa na resposta aos sinais ativadores que disparam os tecidos “genéticos” locais. Além disso, devido às inter-relações mútuas do desenvolvimento e função, o que ocorre numa região não fica isolado das outras, do ponto de vista do desenvolvimento. Isso tem profundas implicações clínicas em termos de respostas a tratamento supostamente direcionado a uma área específica.¹⁴²

Sutura lacrimal: um mediador – chave do crescimento

Este é um local de crescimento significativo, mas pouco comentado. O seu papel no crescimento não tem sido devidamente reconhecido, apesar da função importante que representa no desenvolvimento facial e na forma da cabeça. Sem ela, o desenvolvimento craniofacial humano não teria evoluído nem resultado na

montagem funcional das partes. A sutura lacrimal revela-se assim fundamental. O osso lacrimal é uma região óssea diminuta de uma ilha óssea circundada por tecido conjuntivo sutural, que o separa dos vários ossos adjacentes. Enquanto todos esses outros ossos aumentam e são deslocados em muitas direções e com diferentes taxas e cronologias, o sistema sutural do osso lacrimal permite o “deslizamento” dos múltiplos ossos ao longo das interfaces suturais, à medida que crescem diferencialmente com o osso lacrimal funcionando como pivô. Isto é possível através das fibras colagêneas do tecido conjuntivo da sutura lacrimal que permite que a maxila “deslize” para baixo ao longo de seus contactos orbitais. Deste modo, é possível que toda a maxila seja deslocada inferiormente, um evento-chave no crescimento da face média, mesmo que todos os outros ossos da órbita e da região nasal se desenvolvam em épocas, quantidades e direções diferentes. Sem este “*sistema sutural perilacrimal*” de desenvolvimento adaptativo, aconteceria um travamento do desenvolvimento entre as várias partes. O osso lacrimal e sua sutura são o eixo de desenvolvimento que fornece a chave para a libertação do deslizamento. O próprio osso lacrimal sofre uma rotação de remodelação (Figura 1.9), já que a região superior mais medial permanece próxima da ponte nasal menos expandida. A região inferior mais lateral move-se acentuadamente para fora, acompanhando o ritmo da grande expansão por que passam os seios etmoidais. Essa mudança por remodelação está ilustrada em (a); e o deslocamento rotacional primário que a acompanha é mostrado em (b) da figura 1.9.

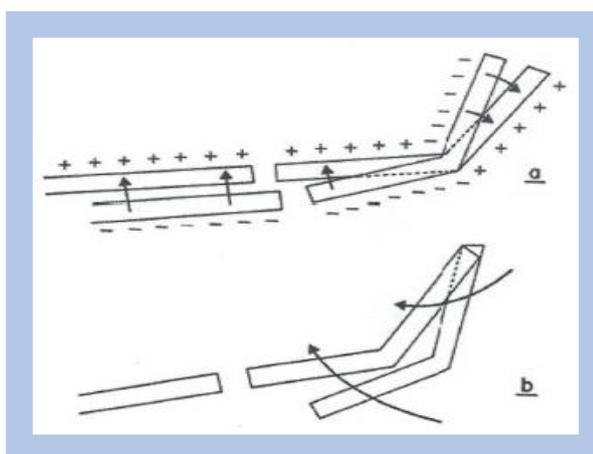


Figura 1.9. Rotação do osso lacrimal.
Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

Tuberosidade maxilar e a crista chave

No crescimento do arco maxilar ósseo, a área (A) da figura 1.4 está a mover-se em três direções pela aposição óssea na superfície externa, alonga-se posteriormente pela aposição na tuberosidade maxilar voltada para posterior, cresce lateralmente pelos depósitos na superfície vestibular (isso amplia a parte posterior do arco). Também cresce para baixo pela aposição de osso ao longo do rebordo alveolar e também na face lateral, já que essa superfície externa é inclinada (na criança), ficando voltada ligeiramente para baixo. Na superfície endosteal há reabsorção e isso contribui para o aumento do seio maxilar.

Na figura 1.10 observa-se que uma mudança importante acontece no contorno da face ao longo da crista vertical, imediatamente abaixo do processo zigomático (seta pequena). Esta crista é chamada de “*crista-chave*”, sendo que, aqui ocorre uma reversão. Embora a localização exata da linha de reversão seja variável, a maior parte da superfície externa do maxilar anterior a ela é de reabsorção. Isso acontece porque aquela parte do arco ósseo na área (b) é côncava, e a superfície labial (externa) volta-se para cima e não para baixo.

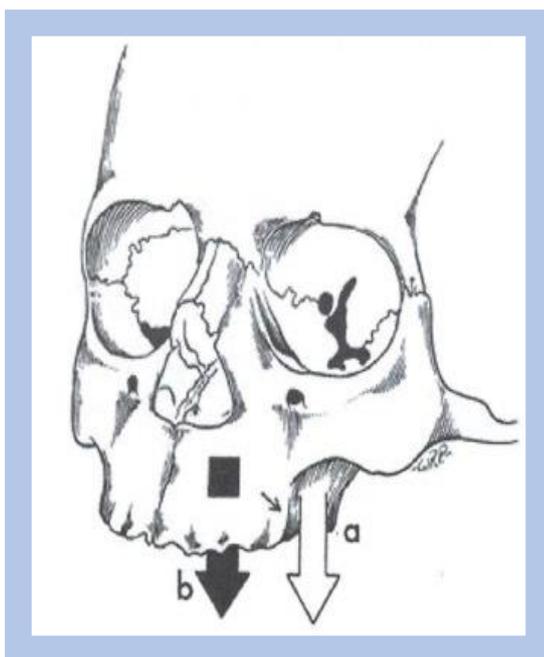


Figura 1.10. Área de reversão - Crista Chave.
Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

A natureza de reabsorção dessa superfície cria uma direção inferior da remodelação do arco em conjunto com o crescimento para baixo do palato. Isso

contrasta com a área (a), que cresce para baixo por aposição periosteal. Na figura 1.11 a superfície (a) é de reabsorção, (b) é de aposição. Uma reversão ocorre no “ponto A” (indicado pela seta). A superfície periosteal (c) é de reabsorção, (d) é de aposição, (e) de reabsorção e (f) é de aposição.

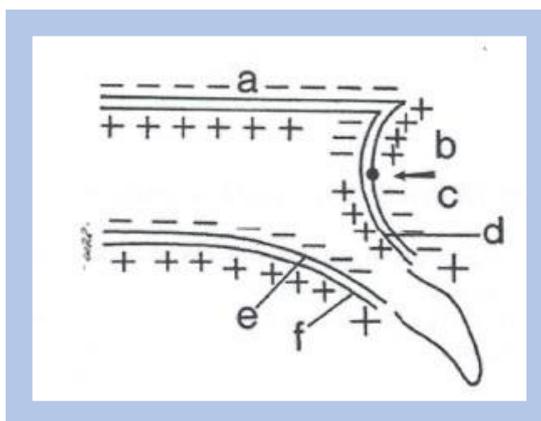


Figura 1.11. Áreas de reabsorção e de aposição.
Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

Flutuação dentária mesial e vertical: conceitos clínicos importantes

Os dentes são suportados pela membrana periodontal e, na ausência de patologias, nunca estão diretamente ligados ao osso. Quando os dentes entram em oclusão, ocorre um movimento contínuo nos processos alveolares. Os movimentos normais são para mesial no sentido ântero-posterior, em direção ao plano oclusal no sentido vertical, e transversalmente para a face vestibular. Esses movimentos são absolutamente essenciais para o desenvolvimento normal da maxila e da mandíbula e dão condições para que os dentes se mantenham em contacto durante o crescimento ativo. Como esses movimentos ocorrem na ausência de pressões dentárias extrínsecas, e também não fazem parte do processo de erupção, devem ser considerados como “*flutuação dentária mesial e vertical*”. Alguns textos referem-se a todo o movimento vertical dos dentes simplesmente como “erupção” ou “extrusão/intrusão”, quando clinicamente aplicados, mas esta terminologia é enganosa.

Os movimentos dentários verticais, mesiais e laterais, que ocorrem após entrarem em oclusão, são marcantes em extensão e têm papel fundamental na morfogênese da maxila e da mandíbula. Muitos ortodontistas enfatizam o objetivo primário de “trabalhar com o crescimento”, e uma das principais razões que permite

que tratem de variadas más oclusões é o crescimento rápido do paciente. No entanto, é fundamental diferenciar-se erupção dentária de flutuação. A única situação em que o clínico trabalha com a erupção propriamente dita é quando dentes impactados são expostos cirurgicamente e tracionados mecanicamente para a cavidade oral. Todas as outras circunstâncias de movimento dentário são relativas ao processo de flutuação.

Um ponto clinicamente importante, é que os movimentos ortodônticos em direção à flutuação natural são mais rápidos que os movimentos para o lado oposto. Em termos mais concretos, no paciente em crescimento, os movimentos dentários são facilmente obtidos quando forem em direção ao plano oclusal, no sentido vertical, mesial no sentido ântero-posterior e lateral no sentido transversal. Enquanto um dente flutua mesialmente (ou distalmente, dependendo do dente), observa-se que o mesmo processo de remodelação alveolar (reabsorção e aposição) está também relacionado com o seu movimento vertical. Qualquer inclinação, rotação ou movimento vestibulo lingual, também será simultaneamente efetivada pelo mesmo processo versátil de remodelação. Enquanto o gérmen dentário se desenvolve, a raiz alonga-se, o dente em crescimento sofre erupção, colocando a coroa na sua posição oclusal definitiva acima do osso e da gengiva. A flutuação vertical de um dente, depois disso, é um acréscimo à erupção, sendo incorreto o uso do termo erupção para essa flutuação vertical. Enquanto a maxila e a mandíbula crescem e se desenvolvem, a dentição flutua tanto vertical como horizontalmente para manter a posição respetiva. O processo de flutuação move todo o dente e o seu alvéolo, isto é, o dente não flutua verticalmente para fora do seu respetivo alojamento alveolar, como ocorre na erupção ou como está implícito no termo “extrusão”. Ao contrário, na flutuação vertical o alvéolo e o dente flutuam juntos, como uma unidade (Figura 1.12).

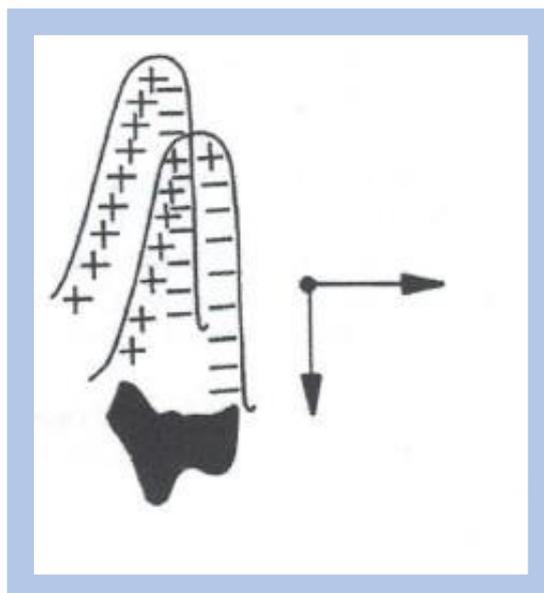


Figura 1.12. Flutuação dentária mesial e vertical.
Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

Na realidade, os gérmenes dentários não irrompidos também sofrem flutuação para manter as suas posições anatómicas. O tecido conjuntivo periodontal também se move com os dentes, mas não se “desloca” simplesmente junto com o dente. Ao contrário, ele sofre uma extensa remodelação para se reposicionar. É importante que a membrana de tecido conjuntivo periodontal forneça a remodelação óssea intramembranosa (daí o nome “membrana” periodontal e não “ligamento”) que modifica a localização do alvéolo e movimenta o próprio dente. As distâncias horizontais e especialmente verticais, percorridas pelo alvéolo, pelo dente e pela membrana periodontal, podem ser substanciais. Utilizando o movimento de flutuação vertical, o ortodontista pode orientar os dentes às posições planeadas tirando vantagem, portanto, do processo de crescimento. Nos casos em que apenas os dentes anteriores maxilares e mandibulares estão ligados aos primeiros molares, o clínico pode usar a flutuação vertical dos dentes sem “braquetes” como guia. Nesses casos montados parcialmente, o clínico tenta modificar seletivamente a flutuação vertical numa área, permitindo que a flutuação normal ocorra noutras. Esse conceito pode ser útil para compreender a resposta ao tratamento, em casos apenas parcialmente com “braquetes” ou bandas. O efeito da flutuação pode ser observado em quase todos os casos dos quais o segundo molar não é bandado, ao mesmo tempo que os restantes dentes permanentes. De facto, quando não bandados, os segundos molares permitem que o clínico tenha um guia intraoral da magnitude e direção da flutuação dentária

normal da dentição. Quando todos os dentes são “bandados” pelo ortodontista, o objetivo é controlar o movimento de flutuação de cada dente, mesmo que toda a arcada esteja unida. O alvo específico é a regulação de cada membrana periodontal individual, para provocar a remodelação (“recolocação”) de cada alvéolo, enquanto o tecido conjuntivo, simultaneamente, move o dente em função dos “sinais” clinicamente controlados. O mediador destes sinais terapêuticos e o alvo biológico é a membrana periodontal. Se todos os dentes estiverem incluídos no aparelho ortodôntico, o clínico fica sem referências que o ajudem a avaliar a resposta ao tratamento. Isso pode ser um problema, e requer acompanhamento por imagens para determinar as respostas do tratamento. Sendo o clínico capaz de induzir “sinais” que movimentem os dentes para posições instáveis biologicamente, é preciso ter cuidado quando os marcadores de flutuação, ou seja, os dentes são totalmente incluídos no aparelho ortodôntico. Com o advento dos Dispositivos de Ancoragem Temporária (DATs), é possível aumentar os efeitos terapêuticos da flutuação dentária. Antes deste sistema, conseguia-se aumentar a flutuação apenas na direção natural do deslocamento dentário (lateral, mesial e em direção ao plano oclusal), mas havia limitações para flutuações noutras direções (medial, distal e direção oposta ao plano oclusal). Atualmente, é possível controlar tridimensionalmente a flutuação e em todas as direções. O aumento do poder terapêutico também incrementa as responsabilidades ao nível biológico. Futuramente, os clínicos deverão compreender totalmente o impacto da flutuação nos resultados do tratamento, sob pena de incorrerem sérios riscos para os pacientes.

Espaço aéreo nasal

As superfícies de revestimento das paredes ósseas e o soalho das cavidades nasais são predominantemente de reabsorção, exceto na região nasal das fossas olfatórias (Figura 1.13). Isso produz uma expansão lateral e anterior das cavidades nasais e uma recolocação para baixo do palato, sendo a face oral do palato ósseo uma área de aposição. As fossas olfatórias pares, pequenas, têm uma superfície endocraniana de reabsorção que as desloca inferiormente, em conjunto com a remodelação cortical para baixo de todo o soalho craniano anterior. As conchas nasais geralmente têm superfícies de aposição nos lados lateral e inferior e superfícies de reabsorção nas faces superior e medial ao nível das lâminas ósseas delgadas. Isso movimenta-as para baixo e lateralmente, enquanto toda a região nasal se expande

em direção semelhante. As superfícies corticais de revestimento dos seios maxilares são todas de reabsorção, exceto a parede nasal medial, que é de aposição porque se remodela lateralmente para acomodar a expansão nasal (Figura 1.8).

Um conceito básico e importante do processo de crescimento facial está enfatizado na figura 1.13, em que todo o complexo facial participa do processo de crescimento. Todas as partes e superfícies ósseas estão diretamente envolvidas e não apenas certos locais ou “centros” especiais. A porção óssea do septo inter-nasal (o vômer e a lâmina perpendicular do etmoide) alonga-se verticalmente nas suas várias junções suturais. O septo ósseo também se deforma em relação a quantidades e direções variáveis de desvio do septo.

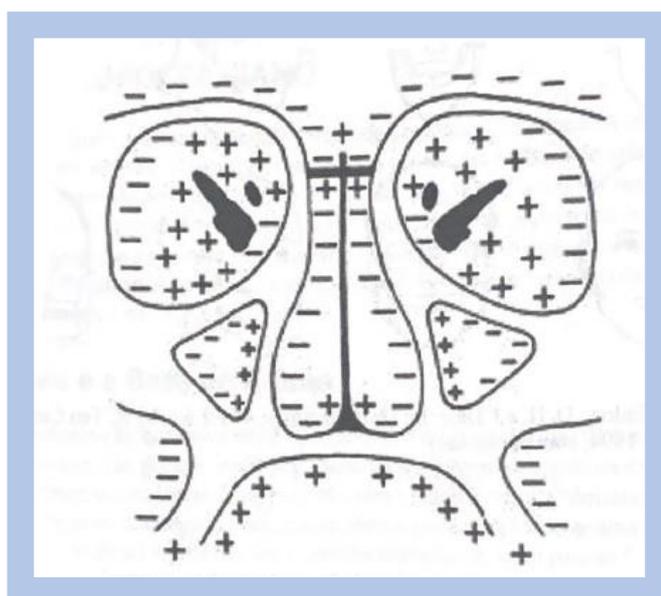


Figura 1.13. Participação de todo o complexo facial no processo de crescimento.

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

Os padrões de remodelação envolvidos são individualmente variáveis e a lâmina óssea delgada mostra, tipicamente, campos alternados de aposição e reabsorção nos lados direito e esquerdo, produzindo uma curvatura num lado ou no outro. No que respeita às larguras da ponte nasal na região logo abaixo das suturas frontonasais, verifica-se que não aumentam acentuadamente desde a primeira infância até ao adulto (Figura 1.14).

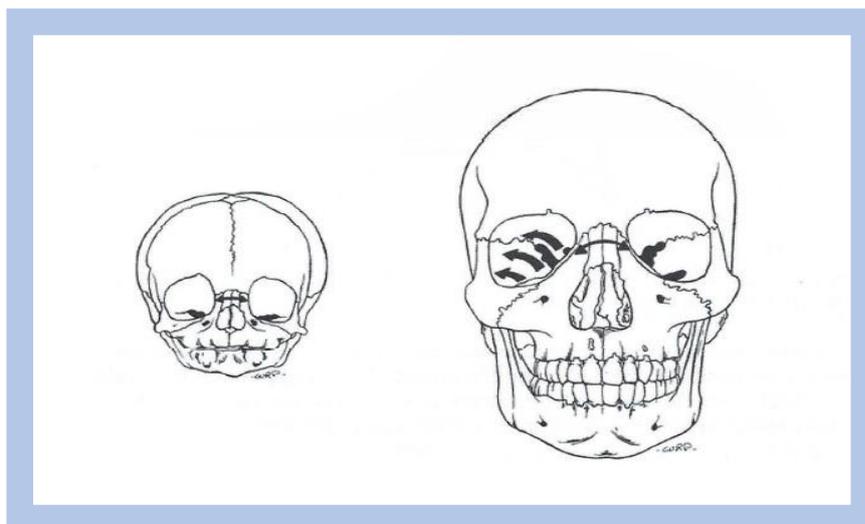


Figura 1.14. Diferenças da ponte nasal da criança e do adulto.
Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

Mais inferiormente na área interorbital, contudo, a parede medial de cada órbita expande-se consideravelmente em direção lateral em conjunto com a extensão do alargamento lateral das cavidades nasais. Os seios etmoidais ficam, portanto, consideravelmente aumentados.

Remodelação do palato

Apesar de a face externa ou labial de toda a região anterior do arco maxilar ser de reabsorção, este aumenta em largura e o palato fica mais amplo (Figura 1.15). Este constitui outro exemplo do princípio do “V”. Além disso, o crescimento ao longo da sutura palatina mediana também participa, como se sabe, em maior ou menor amplitude no alargamento progressivo do palato e do processo alveolar. A extensão pode variar entre as regiões anterior e posterior. Enquanto o palato cresce inferiormente pelo processo de remodelação, ocorre uma substituição quase completa de tecido mole e duro. A cada nível sucessivo de descida o palato torna-se, literalmente, diferente e passa a ocupar uma posição diferente.

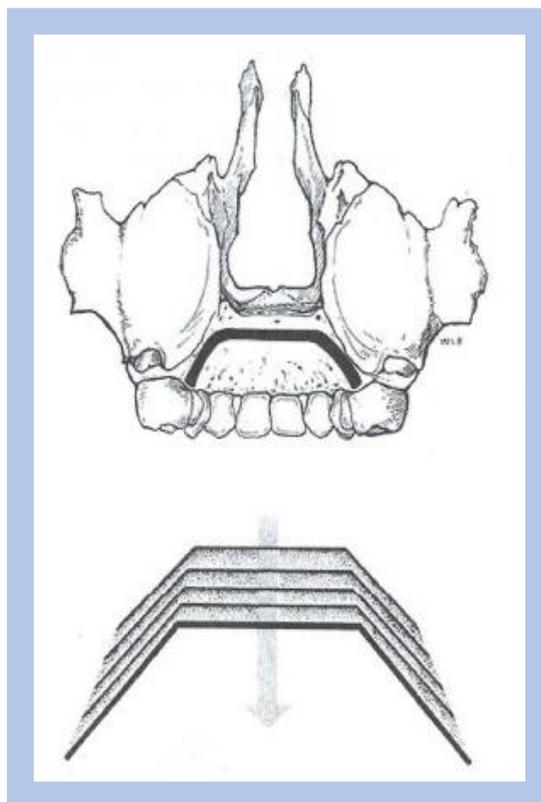


Figura 1.15. Remodelação do palato - Princípio do "V".
Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

As rotações, as inclinações e as flutuações inferiores dos dentes maxilares, em combinação com a superfície óssea de reabsorção externa característica de toda a região anterior da maxila, resultam, às vezes, numa rutura ou protrusão no ápice radicular de um dente transpondo a cortical óssea. Essa penetração resulta num defeito chamado fenestração.

A expansão palatina rápida ou lenta tornou-se uma técnica clínica bastante comum. Historicamente, o processo de expandir a maxila pela "separação" da sutura média palatina tem sido considerado um procedimento "biológico", embora não corresponda à realidade. Os aumentos naturais na largura do palato são o resultado da flutuação vertical dos dentes posteriores com a expansão ocorrendo lateralmente segundo o princípio em "V" de crescimento. A expansão da sutura média palatina terapeuticamente induzida é um processo inteiramente distinto. Na expansão rápida palatina, os processos palatinos são primeiro deslocados lateralmente. A remodelação das partes deslocadas acompanha o deslocamento clinicamente induzido. A compreensão de que esse processo de aumento em largura do arco maxilar, não é de todo o mesmo que ocorre com a biologia natural, tem duas importantes consequências clínicas.

A primeira, que resulta da possibilidade de expandir a maxila para uma posição instável ou desequilibrada, tem como consequência quase certa a fenestração das raízes de molares e pré-molares, se o clínico mantiver os processos palatinos com um aparelho dento-suportado.¹⁴³ Se considerarmos que a porção lateral da maior parte da maxila é de reabsorção e não de aposição óssea, é de prever que poderá ser problemático movimentar os dentes para áreas de reabsorção natural.

O segundo ponto clínico importante é que, tendo a sutura média palatina provavelmente um pequeno papel no deslocamento lateralmente dos processos palatinos, deveria ser possível aumentar a largura do arco maxilar mesmo após a fusão da sutura média palatina. Estes aumentos em largura do arco resultariam necessariamente na remodelação dos processos alveolares, tanto lateral como inferiormente. A estabilidade dessa expansão não sutural deveria estar sujeita às mesmas regras de equilíbrio biológico que se aplicam à expansão obtida pela separação da sutura. O fundamento biológico da expansão rápida ou lenta da maxila realça a importância de um período posterior de contenção.

Deslocamento maxilar para baixo

O deslocamento primário de todo o complexo etmomaxilar em direção inferior (Figura 1.8) é acompanhado por uma remodelação simultânea (reabsorção e aposição) da região nasomaxilar em todas as áreas internas e externas. É acrescentado novo osso às suturas frontomaxilares, zigomácticotemporal, zigomaticoesfenoidal, zigomático maxilar, etmomaxilar, etmofrontal, nasomaxilar, nasofrontal, frontolacrimal, palatina e vomeriana. Esses depósitos suturais múltiplos acompanham o deslocamento, mas não são o seu precursor, sendo que o processo de deslocamento produz um “espaço” no qual ocorre o alargamento por remodelação.

O deslocamento dos ossos é produzido pela expansão dos tecidos moles (Figura 1.16). O crescimento ósseo sutural não “empurra” o complexo nasomaxilar para baixo, afastando-o do soalho craniano. Enquanto os ossos da região etmomaxilar são deslocados para baixo (Figura 1.17), em resposta a esse deslocamento, ocorre simultaneamente o crescimento sutural, aumentando assim, os ossos, enquanto os tecidos moles se continuam a desenvolver. Isso coloca todos os ossos em novas posições, em conjunto com a expansão generalizada da matriz de tecido mole, mediante o contato sutural contínuo, enquanto os ossos ficam “separados”.

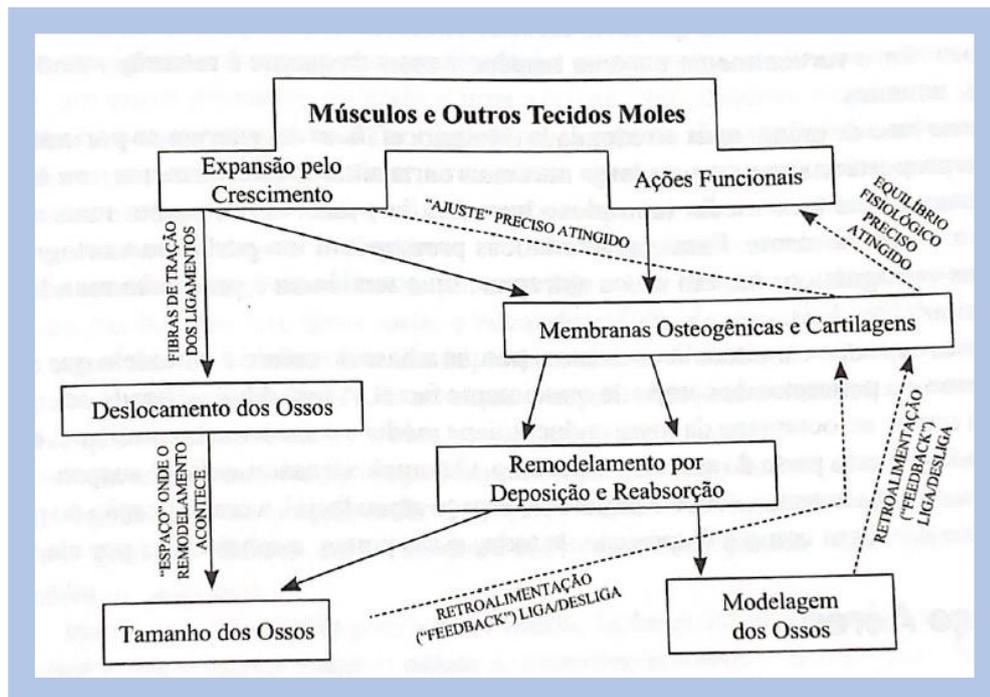


Figura 1.16. Deslocamento dos ossos é produzido pela expansão dos tecidos moles.
Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

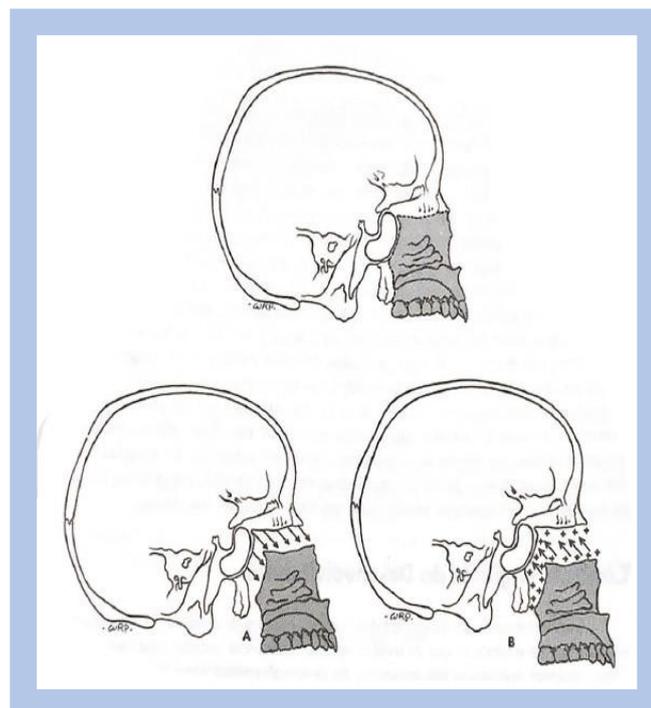


Figura 1.17. Deslocamento dos ossos da face para baixo.
Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

O equilíbrio entre maiores ou menores quantidades de crescimento é uma resposta dos deslocamentos rotatórios, em sentido horário e anti-horário, causados pelo crescimento para baixo e para a frente da fossa craniana média. O complexo

nasomaxilar deve sofrer, correspondentemente, uma rotação por remodelação compensatória, para manter a sua posição relativa correta em relação á linha de referência vertical e ao eixo orbitário neutro (Figuras 1.18 e 1.19).

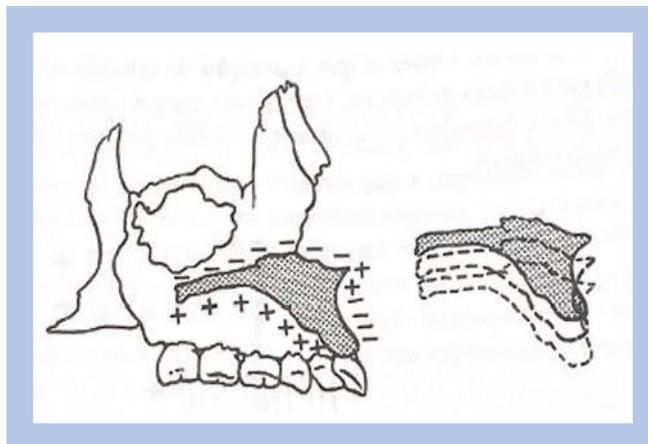


Figura 1.18. Remodelação nas partes anteriores e posteriores da maxila.
Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

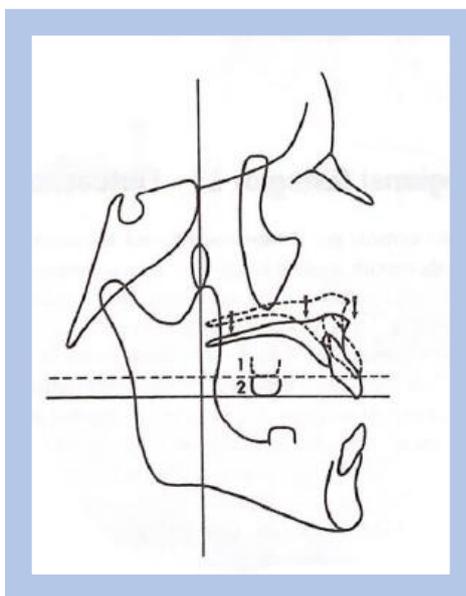


Figura 1.19. Rotação por remodelação compensatória.
Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

Suturas maxilares

A maioria das suturas do complexo facial não cresce apenas em direções perpendiculares ao próprio plano da sutura. Devido à forma multidirecional de deslocamento primário e às diferentes extensões de crescimento entre os vários ossos, pode estar envolvido um deslizamento de ossos ao longo do plano da interface.

Enquanto todo o complexo maxilar é deslocado para baixo e para a frente, ou enquanto se remodela por aposição e reabsorção, a maxila sofre um deslizamento nas suturas funcionais com os ossos lacrimal, zigomático, nasal e etmoidal. Está esquematizado na figura 1.20 como um deslize de (b) sobre a frente sutural de (a). Este processo requer um ajuste ao longo da sutura, por remodelação e reinserções de ligações de fibras colagêneas no tecido conjuntivo sutural.

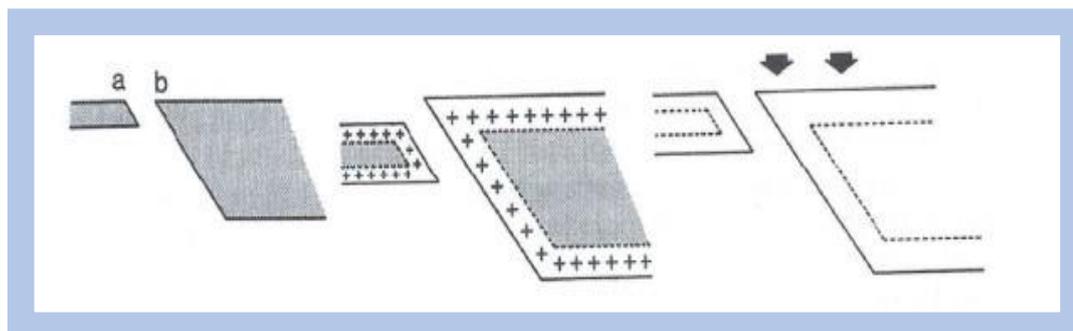


Figura 1.20. Deslizamento nas suturas.

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

Evidentemente, os movimentos para baixo e para a frente ocorrem simultaneamente e não são produzidos pelo mesmo processo de deslocamento. Uma sutura é um outro local de crescimento regional e especializado, adaptado às circunstâncias locais e, adicionalmente, outras partes dos ossos que têm processos de crescimento próprios. De facto, não seria possível que um osso crescesse apenas nas suturas, como se supunha no passado. Também não é possível que um osso tenha uma “superfície de crescimento generalizada”, sem o envolvimento sutural (em áreas onde as suturas estejam presentes, naturalmente, regiões sem sutura podem alargar por remodelação direta). Apesar das suturas se tornarem parcialmente fundidas, à medida que diminui o crescimento, o osso continua a alargar nas áreas suturais. Como mostra a figura 1.21, a remodelação na superfície x aumenta a área superficial do osso, mas para manter a morfologia, devem ser feitas adições também nas superfícies suturais em y .

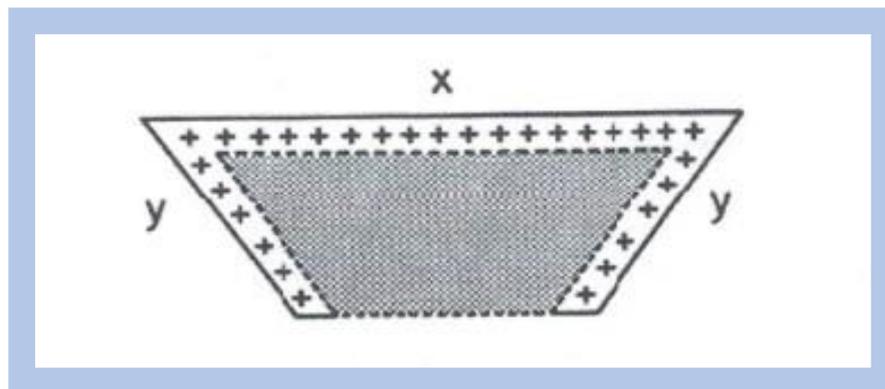


Figura 1.21. Remodelação das suturas.

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

O movimento para baixo dos dentes de (1) para (2) na figura 1.22 é conseguido pela flutuação vertical de cada dente no seu alvéolo, enquanto o próprio alvéolo também flutua (remodela) inferiormente. O movimento da dentição de (2) para (3), contudo, é um transporte passivo do arco dentário superior, do arco ósseo, do palato, de todo o processo alveolar e de tecidos moles associados, enquanto a maxila é deslocada para baixo como uma unidade. Os movimentos (1) para (2) e (2) para (3), apesar de serem apresentados separadamente, acontecem simultaneamente.

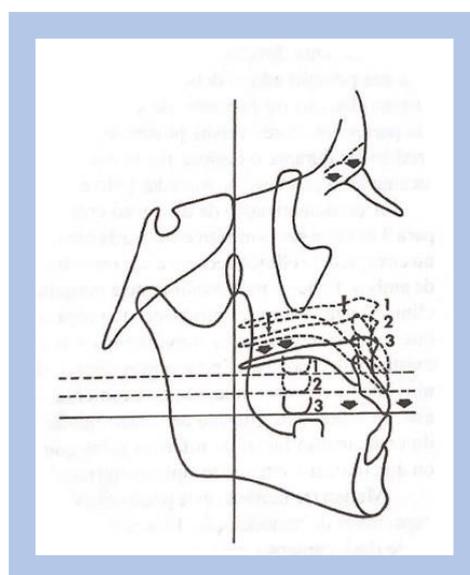


Figura 1.22. Flutuação dos dentes no alvéolo.

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

O reconhecimento e a compreensão da diferença biológica entre eles são de importância básica, porque cada um representa um alvo biológico separado para diferentes procedimentos clínicos. Alguns procedimentos ortodônticos são planejados

para modificar o vetor (magnitude e trajeto). O alvo específico é, assim, a atividade de crescimento das várias suturas maxilares e de outros locais de crescimento regional associados ao processo de deslocamento. Um bom exemplo de um sistema de forças designado para modificar o deslocamento da sutura palatina mediana é o uso de tração maxilar ortopédica, por meio de uma máscara facial ligada a um aparelho intraoral fixo nos dentes maxilares e em contacto com os tecidos do palato (um disjuntor maxilar fixo é geralmente a escolha). O parafuso, incorporado no aparelho, separa os processos palatinos por um movimento lateral da maxila. Subsequente a esse movimento lateral, é aplicada uma tração anterior para puxar a maxila para a frente e transitoriamente desarticular o osso das suas suturas marginais. Esta ação terapêutica é diferente dos procedimentos ortodônticos, nos quais o tecido conjuntivo periodontal e os movimentos de flutuação de dentes individuais (1 para 2) são o alvo clínico eleito. Na mandíbula, da mesma forma, o movimento de deslocamento é um objetivo do tratamento (nomeadamente mediante uma mentoneira restritiva) e os movimentos de flutuação horizontal e vertical dos dentes, separadamente, são objetivos distintos. O primeiro utiliza a regulação do crescimento do ramo (e, com isso, o condilar), enquanto o último envolve o controlo dos movimentos de crescimento relacionados com os tecidos “genéticos” periodontais. Tanto na maxila como na mandíbula, ambos os tipos de movimentos ocorrem mais ativamente durante a infância. A utilização desta técnica no adulto não se baseia naturalmente na biologia do crescimento facial.

Como a flutuação e o deslocamento estão significativamente reduzidos no adulto, os resultados das alterações cirurgicamente induzidas na estrutura esquelética do adulto acima de 25 anos, são mais estáveis. A razão biológica é que como a capacidade do corpo em mudar é pequena, logo as alterações pós-tratamento serão igualmente limitadas.

As modificações de remodelação e deslocamento de ambos, o ramo e a fossa craniana média, produzem um movimento para baixo do arco mandibular. Isso acomoda a expansão vertical do complexo nasomaxilar. Para colocar os dentes maxilares e mandibulares em oclusão completa, os dentes mandibulares devem flutuar (e não apenas erupcionar) verticalmente (Figura 1.23).

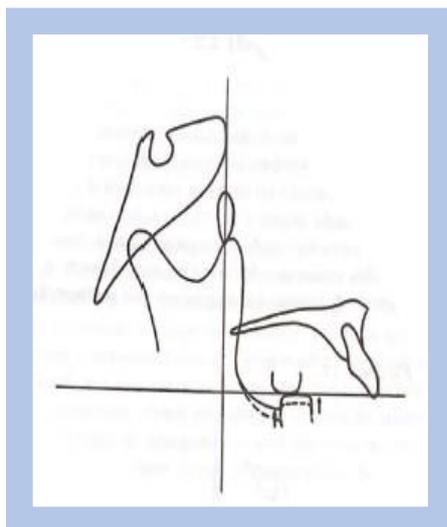


Figura 1.23. Modificações de remodelação e deslocamento do ramo e a fossa craniana média.
Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

A extensão pode variar consideravelmente entre indivíduos com diferentes tipos faciais e acentuadamente entre as regiões anterior e posterior do arco, sendo que este último aspecto está envolvido nas rotações do plano oclusal (Figura 1.24).

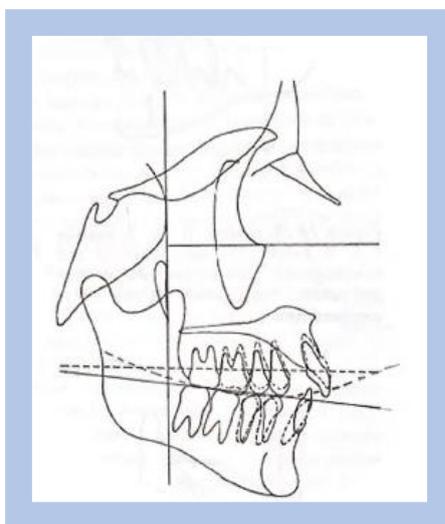


Figura 1.24. Rotação do plano oclusal.
Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

De maneira significativa, a quantidade de flutuação para cima dos dentes mandibulares pode ser muito menor que o deslocamento e flutuação para baixo dos dentes maxilares, dependendo da forma da cabeça e da localização do arco. Esta é uma das razões pelas quais os procedimentos ortodônticos, no passado, eram voltados para a maxila, mesmo quando a má oclusão resultava de posicionamento inadequado na mandíbula. Isso produzia um “desequilíbrio” na maxila para compensar

um efeito existente na mandíbula (ou na base do crânio). Apesar deste procedimento restabelecer a oclusão, a aparência facial ficava comprometida. Nessa conformidade, os meios de diagnóstico e de planejamento ortodôntico mais modernos e atuais visam posicionar os incisivos maxilares numa situação esteticamente mais agradável em relação à face, em vez de os adaptar em função do desequilíbrio esquelético.

Processo zigomático

As mudanças de crescimento do processo zigomático são semelhantes às da maxila. Isso é verdadeiro tanto para o processo de remodelação, como para o processo de deslocamento (Figuras 1.25 a 1.27).

A região posterior do processo zigomático na fossa temporal é de aposição. Como a superfície anterior é de reabsorção, o osso é reposicionado posteriormente enquanto cresce. Apesar de toda a superfície frontal da área da protuberância ser na realidade de reabsorção, considera-se que a face “cresce para a frente e para baixo”. Entretanto, enquanto a arcada maxilar se remodela posteriormente, a região zigomática também se deve mover ao mesmo tempo para trás, para manter as relações constantes entre eles. A extensão da recolocação zigomática é, de certa forma, menor, para ser possível manter a posição relativa consequente ao alongamento crescente da arcada maxilar. O processo zigomático da maxila comporta-se, assim, de uma maneira semelhante à do processo coronóide do ramo. Ambos se movem posteriormente, enquanto os arcos maxilares e mandibulares se desenvolvem posteriormente em complementaridade. Algumas pesquisas publicadas sobre crescimento com o uso de implantes não detetavam esse movimento de remodelação (recolocação) posterior da região zigomática e da parte anterior do zigoma,¹⁴⁴ sendo o bordo inferior do zigoma uma área principalmente de aposição. A região anterior do arco zigomático e a região zigomática tornam-se, portanto, aumentadas verticalmente de forma acentuada enquanto a face se desenvolve em profundidade. O arco zigomático move-se lateralmente por reabsorção na face medial na fossa temporal e por aposição na face lateral (Figura 1.25). Isso aumenta a fossa temporal e mantém a protuberância proporcionalmente ampla em relação à face, ao tamanho da mandíbula e da maxila e à musculatura mastigatória. Move, também, os arcos bilateralmente, aumentando, assim, o espaço entre elas para compreender toda a cabeça e o alargamento do cérebro. O bordo anterior da fossa temporal move-se posteriormente pelo princípio do “V”.

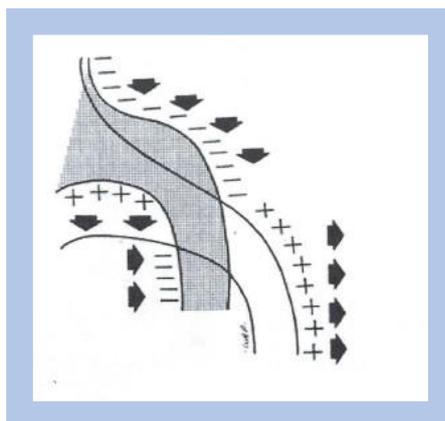


Figura 1.25. Reabsorção do arco zigomático na face medial na fossa temporal.
Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

Enquanto a região zigomática cresce e se torna recolocada posteriormente, a região nasal contígua aumenta em direção oposta, ou seja, anterior (Figura 1.26).

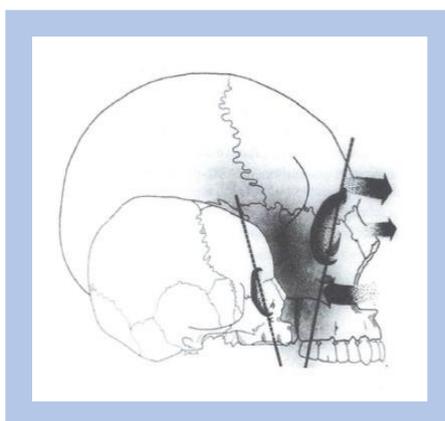


Figura 1.26. Região zigomática cresce e torna-se recolocada posteriormente, a região nasal contígua aumenta em direção anterior.

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

Essa expansão acentua o contorno entre elas, tendo como consequência um nariz com aspeto progressivamente mais protrusivo e uma face muito profunda ântero-posteriormente (Figura 1.27). Esta é uma das principais alterações de maturação topográfica na face da criança para o adulto, verificando-se uma abertura dos contornos, maior proeminência das estruturas e uma profundidade mais acentuada. O osso zigomático desloca-se anterior e inferiormente nas mesmas direções e quantidades que o deslocamento primário sofrido pela maxila.

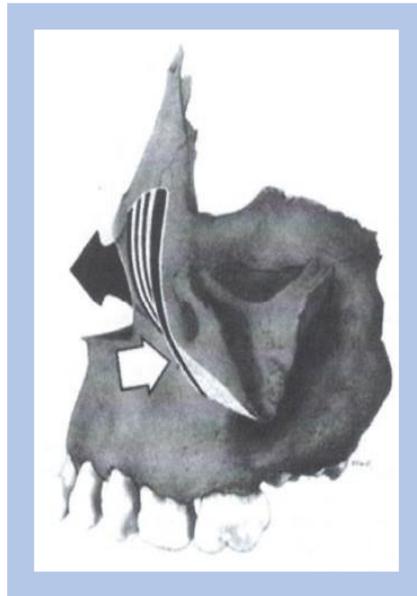


Figura 1.27. O osso zigomático torna-se deslocado anterior e inferiormente.
Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

O osso zigomático separado é deslocado inferiormente em associação com o crescimento ósseo na sutura frontozigomática, e anteriormente em relação ao crescimento na sutura zigomaticotemporal. As mudanças de crescimento do processo zigomático são semelhantes às aquelas ocorridas no processo coronóide da mandíbula. Ambos se remodelam para trás, juntamente com o alongamento para trás de cada osso como um todo, por reabsorção anterior e aposição posterior (Figura 1.28), enquanto deslocados anterior e inferiormente como um todo.

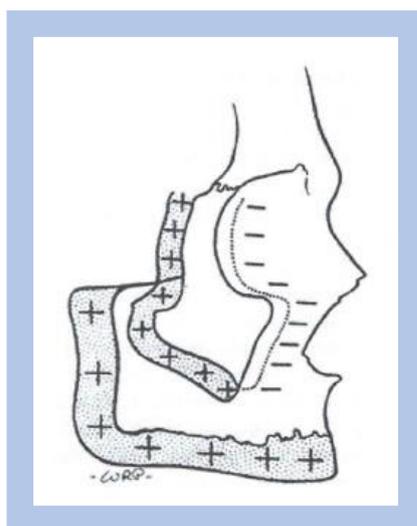


Figura 1.28. O osso zigomático separado é deslocado inferiormente em associação ao crescimento ósseo na sutura frontozigomática.

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

1.4.2. Crescimento da mandíbula

Remodelação mandibular

A mandíbula não "cresce" simplesmente como é mostrado na figura 1.29 (A). Na verdade, sofre um processo de remodelação (B) e é simultaneamente "deslocada" à medida que ocorre um movimento "para a frente e para baixo" da interface temporomandibular (imagem inferior direita).

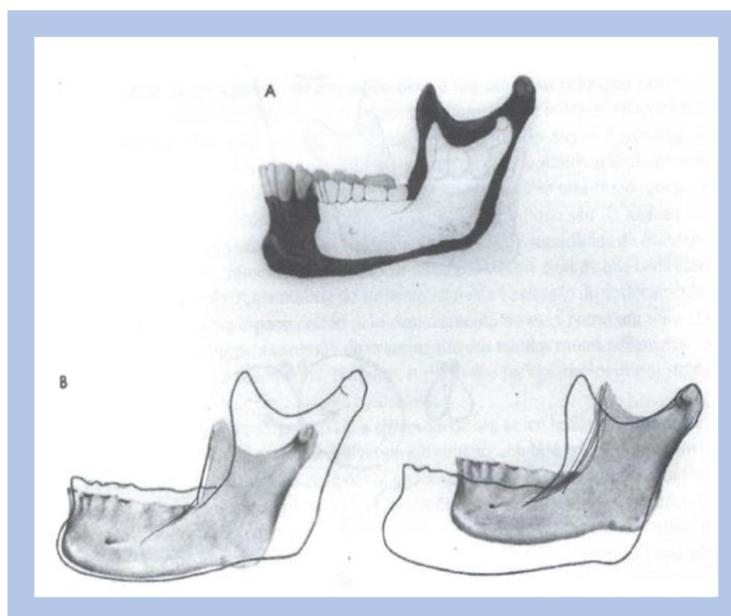


Figura 1.29. Processo de remodelação e deslocamento" à medida que ocorre um movimento para a frente e para baixo.

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

Ramo

O papel principal do ramo da mandíbula é fornecer uma base de inserção para os músculos mastigatórios, o que, na realidade, é uma função básica. Contudo, o que geralmente não é mencionado é o papel chave do ramo em colocar o corpo e o arco dentário num ajuste sempre mutável com a maxila em crescimento e com as ilimitadas variações estruturais da face. Isto acontece pela remodelação e ajuste críticos no alinhamento, altura e largura ântero-posterior do ramo. Dessa forma é obtida a melhor adaptação com o arco maxilar e a fossa craniana média. Na realidade, o significado especial do desenvolvimento do ramo é evidenciar o crescimento craniofacial. Evidentemente, o responsável não é o próprio osso do ramo, mas sim os tecidos

conjuntivos osteogénicos, condrogénicos e fibrogénicos que produzem a forma e o tamanho adaptativos do ramo ao longo do tempo.

Ao contrário da teoria já ultrapassada, o crescimento mandibular não é um produto de um "centro mestre", nem é por ele unicamente orientado. Todas as áreas e superfícies da mandíbula, como um todo, participam diretamente nesse processo de remodelação (Figura 1.30).

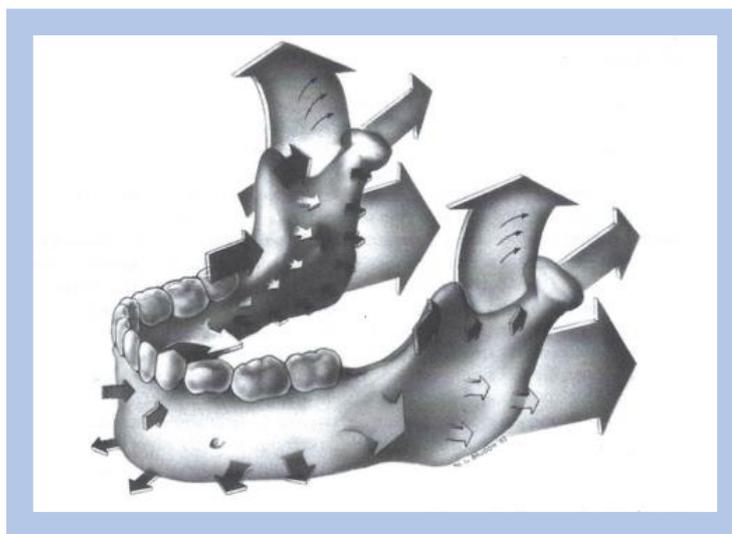


Figura 1.30. Diagrama resumido do crescimento da mandíbula. As direções de crescimento envolvendo reabsorção pelo periósteo estão indicadas pelas setas voltadas para a superfície óssea, e as direções de crescimento envolvendo aposição periosteal estão representadas pelas setas que partem da superfície óssea.

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

É claro que algumas partes representam locais de crescimento mais ativos que outras; não seria possível que um osso com uma estrutura arquitetónica tão complexa se comportasse de outra forma. Cada área local tem condições, funções e relações regionalmente localizadas. Os sinais de crescimento gerados no local são os grandes responsáveis pela maturação progressiva de cada região, mas em harmonia com as atividades funcionais de outras regiões também em crescimento. A descrição da remodelação mandibular começa com uma das partes estruturais mais importantes, o ramo. Ele é importante por duas razões: primeiro, posiciona o arco inferior em oclusão com o superior; e, segundo, adapta-se continuamente às múltiplas alterações das condições craniofaciais. Os principais vetores do "crescimento" mandibular são o posterior e o superior.

O ramo é, portanto, remodelado em uma forma geralmente pósterio-superior, enquanto a mandíbula, como um todo, é deslocada anterior e inferiormente, como

está esquematizado em duas dimensões nas figuras 1.29 (B), 1.30 e 1.31, permitindo o alongamento posterior do corpo e do arco dentário.

O desenvolvimento posterior do arco ósseo mandibular ocupa simultaneamente a região na qual previamente estava o ramo. Isso requer uma conversão de remodelação do que antes era o ramo no que se toma o corpo mandibular. Isto é, todo o ramo é reposicionado posteriormente por remodelação de reabsorção e aposição, sendo que a antiga porção anterior do ramo fica estruturalmente modificada como um acréscimo ao corpo, que fica alongado por esse processo de remodelação.

O movimento de remodelação do ramo em direção posterior é geralmente apresentado como um processo essencialmente bidimensional (Figura 1.31). Mas esta explicação é não só incompleta, mas também imprecisa. O problema é que algumas das partes anatómicas que participam do processo de reposicionamento, como a remodelação do ramo e do corpo, não podem ser vistas ou representadas nas radiografias e nos traçados bidimensionais convencionais. Dentro destas está a tuberosidade lingual.

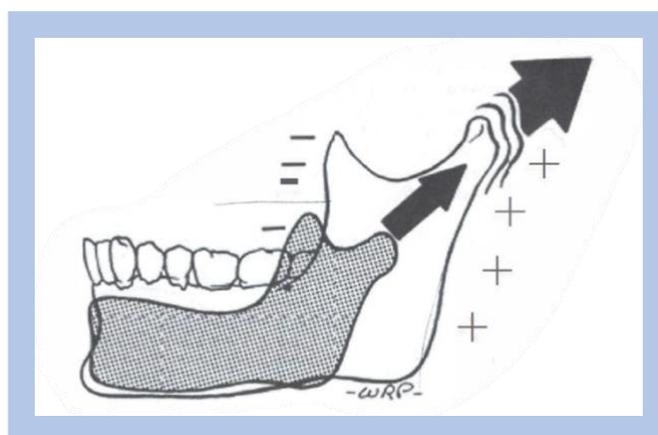


Figura 1.31. Remodelação do ramo em direção posterior.

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

Tuberosidade Lingual

Esta é uma estrutura importante porque é o equivalente anatómico direto da tuberosidade maxilar (Figura 1.32). Assim como a tuberosidade maxilar é um local de crescimento importante para o arco ósseo superior, a tuberosidade lingual também o é para a mandíbula. Apesar disso, essa estrutura nem é incluída no vocabulário básico da cefalometria porque não pode ser identificada nas radiografias laterais ou frontais.

Esta é uma limitação da cefalometria superada pela introdução da Tomografia Computorizada de Feixe Cônico (TCFC) tridimensional no diagnóstico e planeamento craniofacial. A tuberosidade lingual não é somente um local de crescimento e remodelação importante, mas também representa o limite efetivo entre ambas as partes básicas da mandíbula: o ramo e o corpo. Assim, as mudanças nestas estruturas durante o processo de crescimento devem ser entendidas na ortodontia atual.

A tuberosidade lingual cresce posteriormente por aposição na face posterior, como ocorre com a tuberosidade maxilar ao receber os acréscimos comparáveis. Idealmente, a tuberosidade maxilar sobrepõe-se rigorosamente à tuberosidade lingual (isto é, ambas estão alinhadas relativamente a uma linha de referência vertical). Além disso, as tuberosidades linguais e maxilares têm, idealmente, taxas e quantidades proporcionais de remodelação.

A tuberosidade lingual tem uma proeminência evidente em direção lingual (medial) localizando-se no sentido da linha média do ramo. A proeminência da tuberosidade apresenta-se aumentada devido à presença de um grande campo de reabsorção imediatamente abaixo dela. Esse campo de reabsorção produz uma depressão considerável, a fossa lingual. A combinação de reabsorção periosteal na fossa e de aposição na superfície da própria tuberosidade voltada para medial acentua extraordinariamente os contornos de ambas as regiões (Figura 1.33).

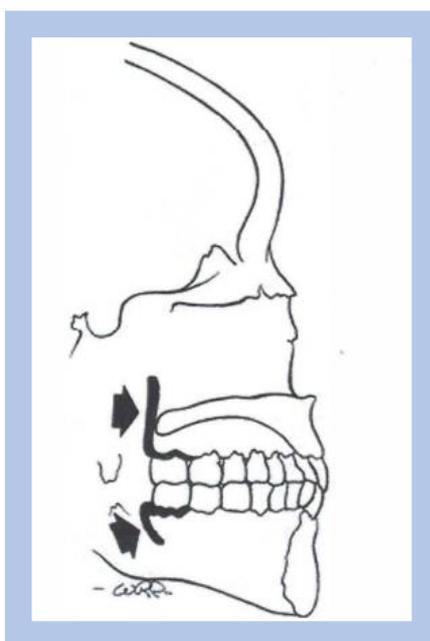


Figura 1.32. A tuberosidade remodela-se no sentido posterior, com apenas uma mudança lateral relativamente discreta.

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

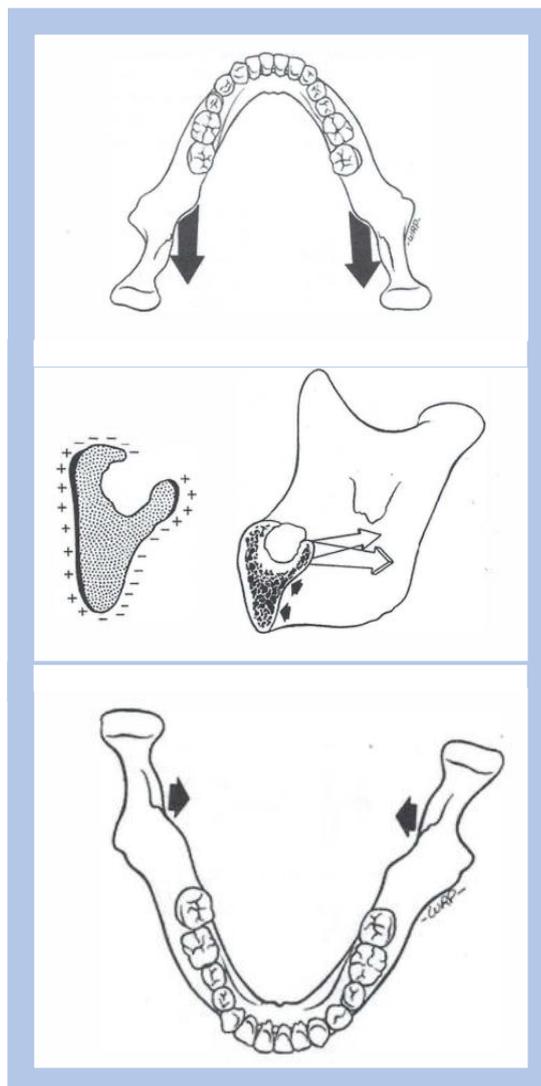


Figura 1.33. O crescimento posterior da tuberosidade é obtido por aposição contínua de novo osso na face posterior.

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

Conversão de Remodelação do Ramo ao Corpo

Deve ter-se em mente que o ramo é também reposicionado ao mesmo tempo em direção posterior. O que acontece, em resumo, é que o comprimento do arco ósseo aumenta e o corpo se alonga, por aposição: na superfície posterior da tuberosidade lingual (1) e no lado lingual do ramo contíguo (2).

A reabsorção no bordo anterior do ramo é frequentemente descrita como tendo a finalidade de "abrir espaço para o último molar". Esta reabsorção está diretamente relacionada com todo o processo de recolocação progressiva do ramo em direção posterior; esse movimento continua desde a minúscula mandíbula do feto até atingir

o tamanho mandibular completo do adulto. A extensão global do movimento do ramo é de vários centímetros e não simplesmente da largura do molar.

Um outro ponto-chave é que na descrição tradicional, o movimento posterior do ramo implica um processo de crescimento para trás em linha reta no plano bidimensional, como está representado por (a) e (b) na figura 1.34, sendo que na realidade, não é isto que acontece. Essa representação do crescimento do ramo mostra, simplesmente, a reabsorção do bordo anterior e a aposição no bordo posterior. O desenvolvimento na realidade acontece como é mostrado em (c) (Princípio do "V"). Em (d), a direção do crescimento segue, assim, as setas (x) e não o eixo em linha reta mostrado pelas setas (y).

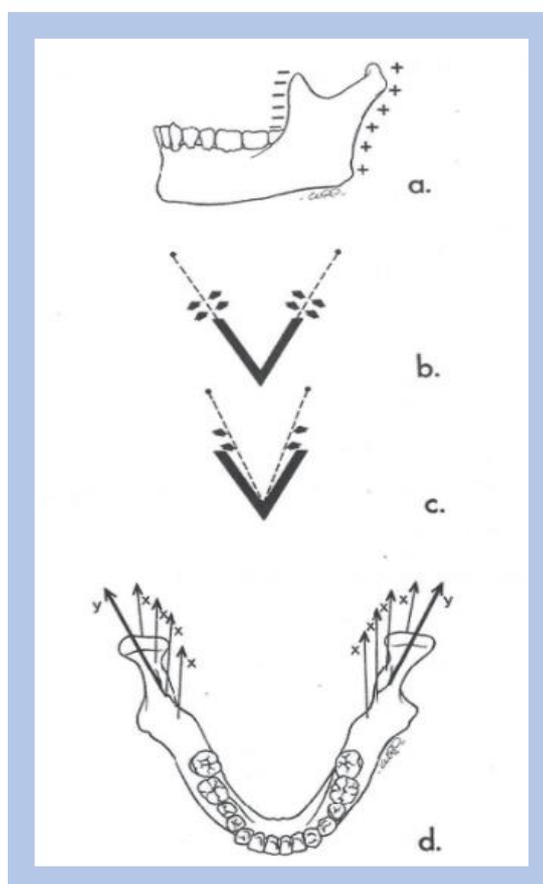


Figura 1.34. Os depósitos de osso na face lingual também servem para transportar a base do processo coronóide e a parte anterior do ramo em uma direção medial com a finalidade de acrescentar essa parte ao corpo que se alonga e está em posição mais medial em relação ao processo coronóide.

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

A atividade de remodelação não acontece apenas nas margens anteriores e posteriores do ramo. O processo coronóide possui uma torção helicoidal que permite que o seu lado lingual esteja voltado simultaneamente em três direções: posterior,

superior e medial. Quando é acrescentado osso à face lingual do processo coronóide, o crescimento acontece superiormente e, dessa forma, essa parte do ramo aumenta em dimensão vertical (Figura 1.35). Cada processo coronóide alonga-se verticalmente, mesmo que os acréscimos aconteçam nas superfícies mediais (linguais) dos processos coronóides direito e esquerdo. Isto é um exemplo do princípio de crescimento em V, com o V orientado verticalmente.



Figura 1.35. Face lingual do processo coronóide, seu crescimento acontece superiormente e, dessa forma, essa parte do ramo aumenta em dimensão vertical.

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

Os mesmos depósitos de osso na face lingual também provocam uma direção posterior do movimento de crescimento, porque essa superfície também está voltada para posterior. O resultado é um movimento para trás dos dois processos coronóides, mesmo que as deposições aconteçam na superfície interna (lingual). Isto é também um exemplo do princípio da expansão em V, com o V orientado horizontalmente. Isso permite ainda que toda a parte posterior da mandíbula se alargue, mesmo que ocorra aposição na parte interna do V (Figura 1.36).

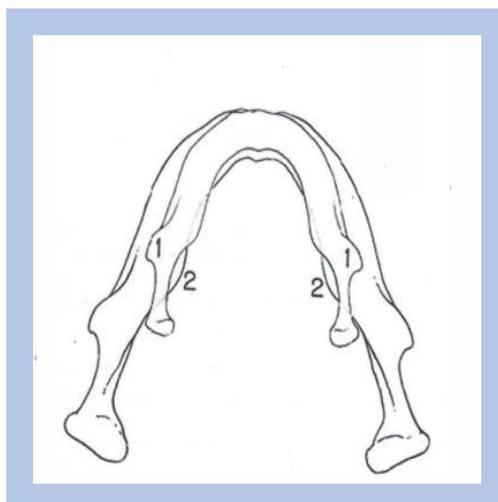


Figura 1.36. Área ocupada pela parte anterior do ramo na primeira infância em 1 é recolocada e a sua localização anterior é remodelada como parte posterior do corpo em 2.

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

Em todas as relações descritas, a face bucal do processo coronóide tem uma superfície periosteal de reabsorção. Essa superfície está voltada para o lado oposto das direções de crescimento superior, posterior e medial combinados. O remanescente da maior parte da porção superior do ramo, incluindo toda a área imediatamente abaixo da chanfradura mandibular (sigmoide) e a porção superior (não lateral ou medial) do colo do côndilo, cresce superiormente por aposição na face lingual e reabsorção na face bucal. A parte inferior do ramo abaixo do processo coronóide também tem um contorno retorcido. A face bucal volta-se posteriormente na direção do crescimento posterior e, assim, tem uma superfície de aposição (Figura 1.37).

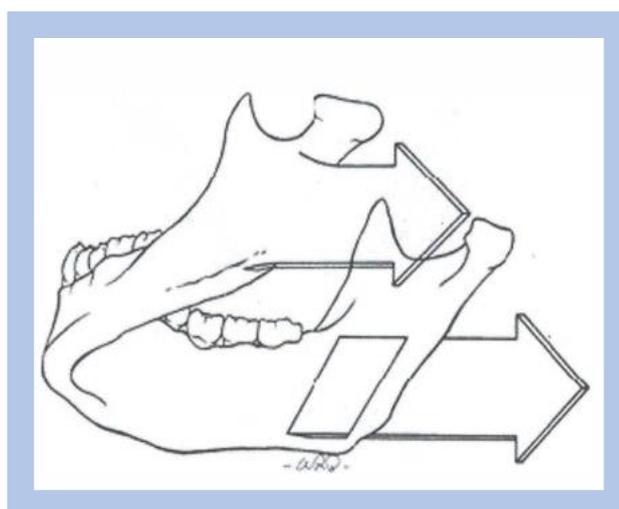


Figura 1.37. Parte inferior do ramo abaixo do processo coronóide, a face vestibular apresenta uma superfície de reabsorção.

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

O lado lingual oposto, voltado em oposição à direção de crescimento, é de reabsorção. Deve ter-se em mente, em todas essas atividades de crescimento, que é a distribuição conjunta dos tecidos osteogénicos fibrogénicos e condrogénicos nos seus respetivos campos de crescimento locais que realmente conduz essas atividades de remodelação. E são os sinais desse complexo de tecidos moles, o seu crescimento e funcionamento, que organizam os padrões locais de remodelação (Figura 1.16.) Como resultado é a configuração complexa da mandíbula que desenvolve as suas diversas funções regionais, crescendo ao desenvolvê-las.

No bordo inferior da mandíbula está presente um único campo de reabsorção. Está localizado na junção ramo-corpo, e forma a chanfradura antegonial, que resulta, assim, da remodelação do ramo logo atrás dela, à medida que o ramo é recolocado posteriormente (Figura 1.38).

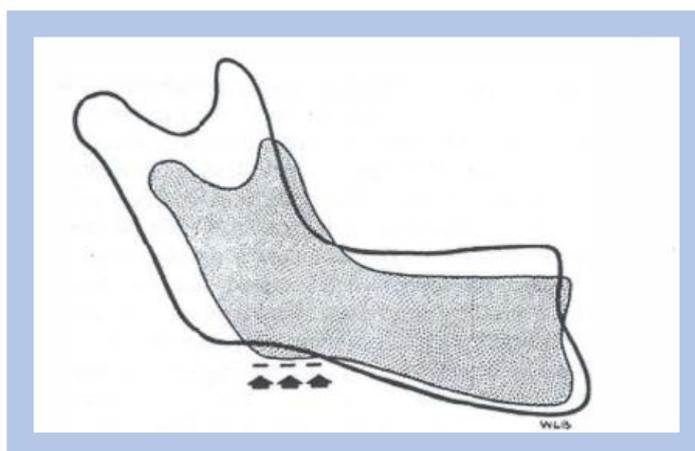


Figura 1.38. A chanfradura antegonial é resultado da remodelação do ramo logo atrás dela, à medida que o ramo é relocado posteriormente.

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

As rotações mandibulares clinicamente importantes também podem envolver um considerável campo de reabsorção no bordo anterior do ramo, como mostra a figura 1.39.

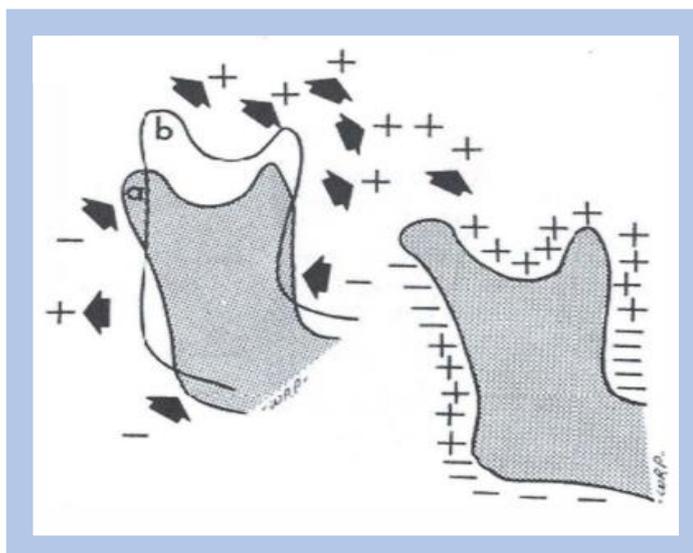


Figura 1.39. Reabsorção no bordo anterior do ramo.

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

A margem posterior do ramo é uma região de remodelação importante. Em geral, o côndilo possui uma direção de crescimento oblíqua para cima e para trás; a trajetória de crescimento envolvida (isto é, quanto para cima e quanto para baixo) é variável. Para manter uma articulação efetiva, o côndilo responde com divisões celulares seletivas ao redor da periferia do côndilo voltada para a direção de crescimento, com atraso nas outras partes do côndilo. Contudo, o crescimento restante do ramo necessariamente acompanha e determina o ritmo de proliferação condilar (Figura 1.40).

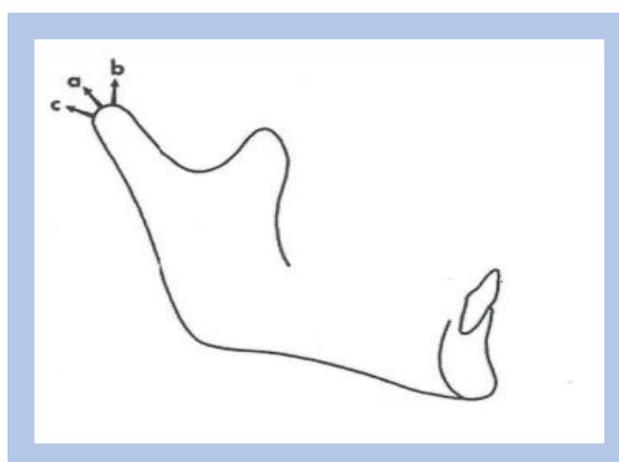


Figura 1.40. Campo de reabsorção na margem posterior abaixo do côndilo

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

Embora correlacionados, esses dois locais de crescimento regional (parte pósterio-superior do ramo e côndilo) são essencialmente separados e desenvolvem-se sob diferentes condições regionais, mas inter-relacionam-se em resposta aos sinais ativadores comuns. Eles representam, em conjunto, as áreas mais ativas durante o crescimento da mandíbula, tanto em distância percorrida, como em quantidade de atividade histogénica. Devido à taxa de crescimento do ramo relativamente rápida, o tecido ósseo da parte posterior do ramo apresenta, caracteristicamente, um dos mais rápidos tipos de crescimento. O desenvolvimento do ramo geralmente envolve uma rotação por remodelação de todo o ramo e ocorre, um campo de reabsorção na margem posterior abaixo do côndilo, como mostram as figuras 1.39 e 1.41.

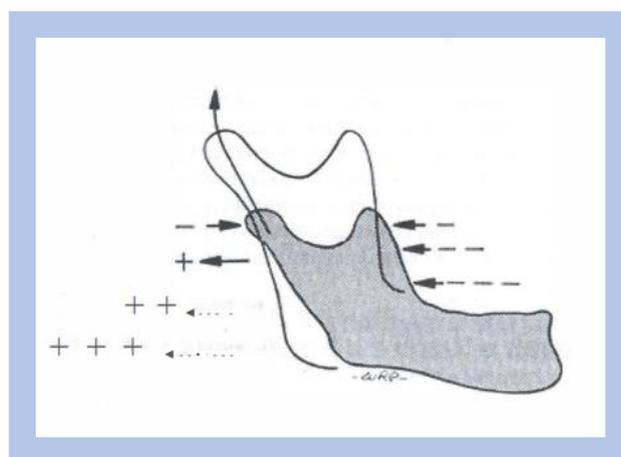


Figura 1.41. Proliferação condilar.
Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

A região do gónion é anatomicamente variável e, portanto, muita variação está envolvida no seu padrão de crescimento. Dependendo da presença de tratamentos abruptos do gónion dirigidos para dentro ou para fora, a face bucal pode ser tanto de aposição como de reabsorção, com a face lingual apresentando o tipo inverso de crescimento. Contudo, muitas combinações histogénicas diferentes podem ser encontradas devido à variabilidade dessa região.

Enquanto todo o ramo cresce posterior e superiormente, o foramen mandibular sofre recolocação, para trás e para cima, por aposição na parte anterior e reabsorção na parte posterior. O foramen, da infância até a velhice, mantém uma posição constante a meio caminho entre os bordos anterior e posterior do ramo. Mesmo quando o ramo sofre alterações acentuadas associadas à perda dos dentes, tornando-

se mais estreito, o foramen geralmente mantém a localização intermediária. Este aspeto é anatomicamente importante, porque o ramo mandibular do nervo trigêmeo sai pelo foramen oval e entra por este ponto no corpo mandibular. Para minimizar o movimento do nervo durante as funções mandibulares, o foramen localiza-se no centro de rotação da mandíbula. Isso torna-o um ponto estável para a sobreposição de imagens seriadas da mandíbula e para a determinação do crescimento normal, assim como para a avaliação dos efeitos do tratamento.

Côndilo mandibular

Esta é uma parte anatómica de interesse especial porque forma a articulação mandibular e assim determina, em parte, a relação dos dentes maxilares e mandibulares. Historicamente, o côndilo tem sido visto como uma espécie de cornucópia a partir da qual toda a mandíbula se estende (Fig. 1.42 A).

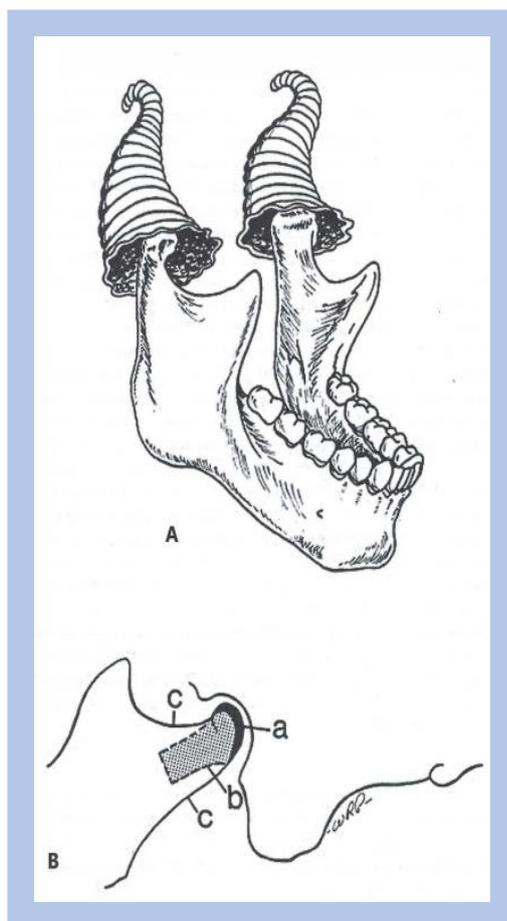


Figura 1.42. A) Côndilo da mandíbula B) Tecido ósseo endocondral.
Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

Durante o desenvolvimento mandibular, o côndilo funciona como um campo de crescimento regional que fornece uma adaptação para as suas próprias circunstâncias de crescimento. O crescimento da mandíbula como um todo é o produto de todas as diferentes forças e agentes funcionais regionais de controlo, que agem sobre ela para produzir a forma topograficamente complexa. Cada região de crescimento local é auto abrangente e independente, embora todas estejam ligadas como um mosaico inter-relacionado que funciona como uma "sinfonia de movimentos de desenvolvimento".

O próprio mecanismo de crescimento condilar é um processo bem definido. O côndilo está revestido por uma cartilagem de tecido não vascularizado especial devido aos variados níveis de compressão entre o contato do côndilo com o osso temporal. Não existem capilares na cartilagem que sejam obliterados pela força compressiva superficial. Além disso, e constitui um aspeto muito importante, como a matriz intercelular da cartilagem é acentuadamente hidrofílica, cede à pressão da superfície. É necessário um mecanismo de crescimento endocondral, porque o côndilo cresce para cima e para trás em direção à sua articulação. Apesar de existirem debates quanto ao carregamento de compressão do côndilo mandibular, não há dúvida que o seu crescimento ocorre numa área onde a pressão direta é, no mínimo, aplicada intermediariamente. Um tipo de crescimento intramembranoso não funcionaria, porque o modo de osteogénese periosteal não é adaptado a pressões e tem um baixo limiar para forças compressivas. O crescimento endocondral ocorre apenas naquela parte do côndilo de contato articular, porque é aí que existem as pressões em níveis acima do tolerável pela membrana de tecido mole vascularizado do osso. Como se vê na figura 1.42 B, o tecido ósseo endocondral (*b*) formado em associação com a cartilagem condilar (*a*) só é depositado na porção medular do côndilo. As corticais ósseas ao redor (*c*) são produzidas por atividade osteogênica periosteal-endosteal; essas membranas vasculares não estão sujeitas às forças compressivas da articulação, mas, ao contrário, estão relacionadas essencialmente com a tensão devida às inserções musculares e de tecido conjuntivo. O verdadeiro significado funcional da cartilagem condilar, assim, envolve a adaptação de uma matriz firme avascular à pressão regional em uma articulação móvel. Esse mecanismo de formação óssea endocondral regional desenvolve uma resposta específica a essa circunstância particular. A cartilagem em si mesma não contém o programa genético que determina e governa diretamente o curso do crescimento em todas as outras áreas da mandíbula. A cartilagem condilar é tolerante à pressão, contudo, fornece

uma outra função de crescimento extremamente básica e significativa, como será descrito a seguir. A cartilagem condilar é do tipo secundário, o que significa que ela não se desenvolve por diferenciação a partir das cartilagens primárias estabelecidas do crânio fetal (isto é, as cartilagens dos arcos faríngeos, como a cartilagem de *Meckel* e as cartilagens definitivas da base do crânio). As células matrizes de tecido conjuntivo indiferenciadas, diferenciaram-se metaplasticamente em condroblastos, e não em osteoblastos, devido às forças compressivas que agem sobre a membrana. Um tipo adventício de cartilagem "secundária" desenvolveu-se, no lugar de osso, devido às condições funcionais e de desenvolvimento alteradas que se impunham a essa parte da mandíbula. Esse não é um osso "endocondral" no sentido filogenético, como são os ossos da base do crânio. A mandíbula do mamífero é essencialmente um osso membranoso no qual uma parte (isto é, o que se tomou o novo côndilo) se desenvolveu em resposta a uma situação de desenvolvimento filogeneticamente alterada. Isso envolveu a presença ectópica de pressão que, por sua vez, provocou isquémia e anóxia localizadas, fatores conhecidos da inclusão da condrogênese a partir das células de tecido conjuntivo indiferenciadas, em lugar da osteogênese.

A cartilagem condilar é, assim, filogenética e ontogeneticamente única, e a sua organização histológica é diferente da maioria das outras cartilagens envolvidas na formação do osso endocondral. Não é comparável, estruturalmente, à placa epifisária cartilaginosa de um osso longo. Além disso, sabe-se agora que a cartilagem secundária do côndilo não é determinante genética do ritmo de crescimento da mandíbula. A sua contribuição real é fornecer o crescimento regional adaptativo, dando assim, mais um outro significado para o termo "secundário". Isso mantém a região condilar numa relação anatômica correta com o osso temporal, à medida que a mandíbula como um todo está simultaneamente sendo transportada para baixo e para a frente. Assim, o côndilo não é um centro "primário" de crescimento, mas: (1) secundário em evolução; (2) secundário em origem embriogénica; e (3) secundário nas respostas adaptativas às condições mutáveis de desenvolvimento. O côndilo da mandíbula tem, contudo, uma capacidade para crescimento e remodelação multidirecional especial em respostas seletivas a vários movimentos de deslocamento e rotações mandibulares. Isso é decorrente da estrutura especial do côndilo, diferente do crescimento linear unidirecional das placas epifisárias dos ossos longos característico da proliferação condroblástica.

Em resumo, o papel primário do côndilo mandibular é manter a sua articulação com o neurocrânio por meio da cavidade condilar. Também apresenta capacidade de adaptação e de resposta ao crescimento, e em circunstâncias normais pode tolerar as forças compressivas do funcionamento mandibular.

Assim, o côndilo da mandíbula: (1) fornece um contato articular que aceita pressões, e (2) torna possível a capacidade de crescimento multidimensional mutável durante o desenvolvimento.

Uma camada capsular única de tecido conjuntivo pobremente vascularizado reveste a sua superfície articular (Figura 1.43). Essa membrana é altamente rica em células no início do desenvolvimento, mas torna-se densamente fibrosa com a idade e a função. Imediatamente abaixo dela está uma camada especial de células pré-condroblásticas (*b*). Esse é o local predominante da proliferação celular e responsável pelo processo de renovação tecidual fornecendo um fluxo contínuo de nova cartilagem (camada *e*) para a substituição endocondral por osso nas camadas mais profundas. O processo proliferativo produz o movimento de crescimento do côndilo "para cima e para trás" (Figura 1.43).

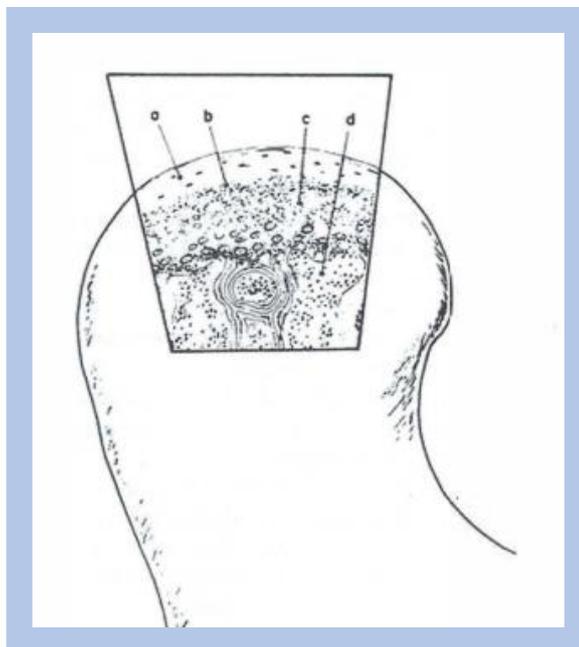


Figura 1.43. Superfície articular do côndilo com uma camada capsular única pouco vascularizada.

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

A cartilagem condilar move-se pelas divisões das células pré-condroblásticas com a remoção de uma quantidade igual de cartilagem na interface cartilagem-osso, sendo que a fase de remoção envolve a substituição por osso endocondral. Assim,

um rastro de osso endocondral em contínua formação acompanha a cartilagem em movimento, como está esquematizado na camada (d).

As células pré-condroblásticas são bastante compactas, com muito pouca matriz intercelular presente, o que se deve à sua rápida atividade proliferativa. Uma zona de transição ou zona imatura relativamente delgada aparece abaixo da camada proliferativa à medida que novas células se depositam, com uma quantidade um pouco maior de matriz. Essa camada não parece contribuir para o processo de divisão celular. As células mais profundas transformam-se, então, na nova camada, à medida que ela se "movimenta para cima" por trás das camadas superiores, sendo formada por condroblastos densamente compactados que estão hipertrofiados (e). A matriz é, também, notavelmente escassa.

A pequena quantidade de matriz nas porções mais profundas da zona hipertrófica sofre calcificação, seguindo-se uma zona de reabsorção e aposição óssea (d). Diferente do arranjo da cartilagem de crescimento primária típica (isto é, as placas epifisárias dos ossos longos e sincondroses), essas várias zonas não apresentam as colunas lineares de células filhas. Essa é uma diferença histológica importante entre os tipos primário e secundário de cartilagem de crescimento. Assim, o arranjo não linear das células filhas na cartilagem condilar não reflete a direção de crescimento do côndilo mandibular. Isso significa também, e é importante, que a calota de cartilagem condilar tem capacidade proliferativa multidirecional. Essa é uma das características mais significativas do desenvolvimento do côndilo da mandibular. Dependendo de onde estão a ocorrer divisões mitóticas na cartilagem condilar, aquela parte do côndilo mandibular (e do ramo) prolifera mais vertical ou mais posteriormente, ou virtualmente em qualquer ponto intermediário, como foi determinado pelos sinais de estímulo. Esses sinais de estímulo estão relacionados tanto com as exigências da articulação dinâmica e estática dentária, como com o padrão arquitetônico e o "ajuste" entre as múltiplas partes craniofaciais.

Enquanto tudo isso acontece, o perióstio e o endóstio estão ativos produzindo o osso cortical, que engloba o núcleo medular de tecido ósseo endocondral. Este arranjo é como uma rolha de garrafa, onde a rolha representa a cartilagem condilar e seu tecido endocondral, e o vidro ao redor da rolha representa o anel cortical de osso intramembranoso. A calota de revestimento de cartilagem resistente às pressões recebeu o impacto das forças compressoras sobre o côndilo mandibular, e o anel cortical de osso intramembranoso estende-se para baixo no colo do côndilo.

As faces bucal e lingual do colo têm superfícies, caracteristicamente, de reabsorção. Isso acontece porque o côndilo mandibular é bastante amplo e o colo estreito. O colo é progressivamente reposicionado em áreas que contenham anteriormente um côndilo mandibular bem mais largo, à medida que esse côndilo se move em uma trajetória superior-posterior. O que antes era o côndilo mandibular transforma-se em colo, à medida que um é remodelado com a forma do outro (Figura 1.44).

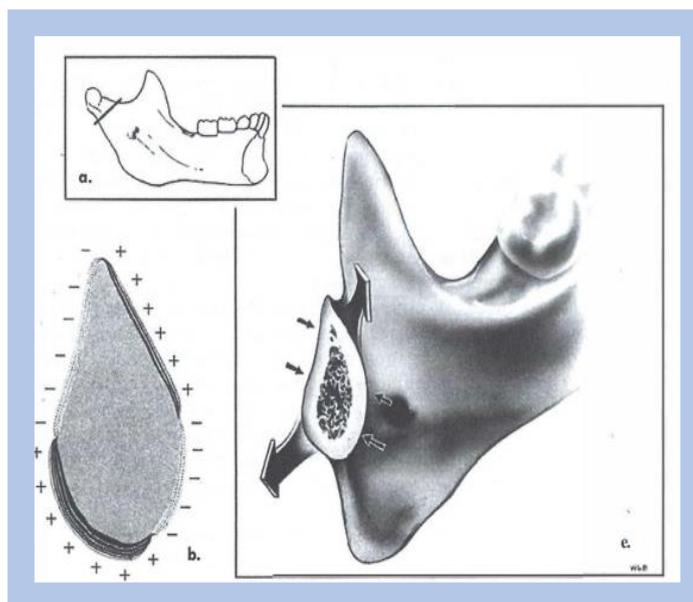


Figura 1.44. O côndilo da mandíbula transforma-se em colo à medida que há remodelação.

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

Isso é feito por reabsorção periosteal, combinada com aposição endosteal. Explicando de outra forma, a superfície endosteal do colo está na realidade voltada para a direção de crescimento e o lado periosteal na direção oposta ao crescimento. Este é um outro exemplo do princípio do “V”, com o cone em forma de V do colo condilar voltado para a sua extremidade ampla.

Enquanto isso, à medida que acontece o desenvolvimento do côndilo e do ramo, a mandíbula, como um todo, está a ser deslocada ântero-inferiormente. Qual é a força física que produz o deslocamento primário para a frente e para baixo da mandíbula? Durante muitos anos acreditou-se que o crescimento da cartilagem condilar, já que é sabido que a cartilagem é um tipo de tecido especial adaptado às pressões, criaria um "impulso" na mandíbula contra a sua superfície de contato articular na fossa condilar. Assim, a proliferação da cartilagem no sentido do seu

contato empurraria a mandíbula como um todo no sentido oposto. As razões biológicas são apresentadas a seguir.

A questão do côndilo

Muitas dúvidas foram criadas quando se demonstrou que existiam na natureza mandíbulas funcionais totalmente sem côndilo. Apesar disso, a sua morfologia era mais ou menos normal em todos os outros aspectos; apenas o côndilo e parte do colo condilar estavam congenitamente ausentes. Além disso, essas mandíbulas com côndilos bilateralmente ausentes ocupam uma posição anatômica essencialmente normal; a arcada está corretamente em oclusão e a mandíbula funciona (embora com sofrimento) nos movimentos mastigatórios, mesmo sem a articulação. Dessas observações sugeriram duas conclusões: a primeira, os côndilos mandibulares não têm o papel central de "mestre" na determinação do ritmo dos processos de crescimento nas outras partes da mandíbula; a segunda, toda a mandíbula pode ser deslocada anterior e inferiormente na sua posição funcional sem o "empurrão" contra a base do crânio. Muitos estudos experimentais foram subsequentemente realizados com resultados semelhantes, embora ainda haja alguma discussão entre os investigadores quanto à forma correta de interpretar o seu significado.

Essas observações levaram à estipulação da lendária "matriz funcional" pelos estudiosos da biologia facial. A ideia é, essencialmente, que a mandíbula seja transportada para a frente e para baixo, mas é supostamente transportada ântero-inferiormente, em conjunto com o crescimento expansivo da matriz de tecido mole a ela associada. Seria um tipo de transporte passivo no qual a remodelação condilar age com deslocamento como coparticipante e não como força propulsora. Eles agem em conjunto em resposta mútua a sinais ativadores comuns. Assim, enquanto a mandíbula é deslocada para longe do seu contato articular com a base do crânio, o côndilo mandibular e o ramo secundariamente (mas simultânea e virtualmente) remodelam-se no sentido articular, fechando dessa forma o espaço potencial sem que seja realmente criada uma lacuna (a menos que o côndilo não se desenvolva, como foi mencionado acima). Ainda existem, contudo, níveis de pressão variáveis, mas reais, exercidos sobre a superfície articular do côndilo, já que é uma junção móvel.

As implicações clínicas são evidentes. Qual o envolvimento do côndilo como fator subjacente e causal nas anomalias faciais? O que acontece com a mandíbula se o côndilo mandibular for lesado na infância? Para o ortodontista, uma pergunta-chave

seria se o próprio côndilo deveria ser o alvo primário e direto de qualquer procedimento clínico ou se acompanha como resposta aos sinais clínicos que agem sobre os tecidos moles. Como pode o alongamento mandibular total ser clinicamente aumentado ou reduzido em indivíduos com Classes II e III pela intervenção fisiológica e mecânica nesse complexo mecanismo de crescimento?

O pensamento corrente é que a cartilagem condilar tem algum papel na programação genética intrínseca. Ela parece ficar restrita, contudo, a uma capacidade de proliferação celular contínua. Isto é, as células da cartilagem são codificadas e equipadas para dividir e continuar a dividir, embora sejam necessários fatores extra-condilares para sustentar essa atividade. A taxa e as direções do crescimento condilar estão supostamente submetidas à influência de agentes extra-condilares, incluindo forças biomecânicas e indutores fisiológicos intrínsecos e extrínsecos. Talvez, o único e mais importante fator de estímulo de crescimento da cartilagem condilar seja o movimento funcional da mandíbula.^{145,146} Acredita-se que quantidades aumentadas de pressão sobre a cartilagem inibem a taxa de divisão e proliferação celular. Quantidades de pressão reduzidas parecem estimular e acelerar o crescimento. Presumivelmente, forças aplicadas à mandíbula de tal maneira que aumentem o nível de pressão sobre o côndilo resultariam numa mandíbula mais curta se isso fosse feito durante o período de crescimento condilar ativo; essa é a base biológica para o uso da mentoneira para reduzir o crescimento mandibular. Da mesma forma, uma diminuição na força compressora sobre a cartilagem condilar produziria uma mandíbula maior se ocorrer durante o período de crescimento ativo utilizando um *Bionator* ou outro aparelho similar para protrusão mandibular. As experiências com animais obtiveram resultados inconsistentes relativos ao comprimento mandibular. Em humanos, três ensaios clínicos randomizados mostraram que o crescimento mandibular poderia ser estimulado, mas a quantidade total de crescimento era a mesma entre os casos tratados e os casos controle. Atualmente, considera-se que o crescimento mandibular pode ser restringido se uma força compressiva for aplicada ao côndilo mandibular durante todo o período de crescimento (até os 18 anos de idade nas mulheres e 25 anos nos homens). No entanto, essa abordagem não se aplica universalmente devido à necessidade de colaboração prolongada por parte dos pacientes para se chegar a resultados satisfatórios.¹⁴⁷ Além disso, pesquisas recentes mostram que a natureza do estímulo condilar é mais complexa do que simples forças, agindo diretamente sobre o côndilo mandibular; ao contrário, estão envolvidas as

trajetórias de tecido conjuntivo-nervo-músculo, e as alterações utilizam um complexo dessas respostas teciduais e fazem um sistema de retroalimentação (*feedback*) em cadeia com o côndilo da mandíbula, bem como com as outras partes da mandíbula. A atividade dos nervos sensoriais das membranas periodontais e da matriz de tecidos moles por toda a face, recolhe os estímulos que são passados adiante pelos nervos motores aos músculos. Por sua vez, estes modificam o deslocamento e o posicionamento da mandíbula, o que afeta o curso do crescimento e remodelação do côndilo e de todas as outras áreas da mandíbula em crescimento. O ponto-chave é que as áreas regionais no próprio côndilo podem ser ativadas ou inibidas pelas forças localizadas, e ter maior ou menor crescimento regional. Isso altera a quantidade do crescimento do ramo em direções diferentes e, dessa forma, permite ajustar continuamente tanto o alinhamento como a forma do ramo para acomodar as suas múltiplas e mutáveis relações anatômicas e funcionais.

Clinicamente, o impacto da maioria dos "aparelhos funcionais" designados para o crescimento mandibular levam a mudanças no processo de remodelação do osso alveolar e da posição relativa do alvéolo em relação ao corpo subjacente. Os efeitos dento-alveolares combinados com as alterações de crescimento no ramo resultam nos efeitos clínicos.

Papel adaptativo do côndilo mandibular

A distribuição dos pré-condroblastos condilares contrasta com as colunas lineares das células filhas associadas com o crescimento essencialmente unidirecional dos ossos longos. Esta é uma adaptação histogénica da cartilagem do côndilo mandibular, que torna possível um crescimento potencial seletivo multidirecional. Existem muitas variações anatômicas que ocorrem nos padrões estruturais do complexo nasomaxilar e da base do crânio. Existem as formas de cabeça tipo dolicocefalo e braquicefalo, regiões nasomaxilares verticalmente longas e curtas, palatos e arcadas superiores largos e estreitos, fossas mandibulares amplamente separadas *versus* outras muito próximas, entre outras. Se realmente o crescimento, a forma e as dimensões da mandíbula fossem "pré-programadas" nos genes dos condroblastos e se os côndilos mandibulares funcionassem verdadeiramente como "centros de controlo do crescimento", de maneira alguma seria conseguido um ajuste da mandíbula com a base do crânio, por um lado, e com a maxila, por outro. Contudo, a natureza da capacidade de resposta adaptativa do

processo do crescimento condilar permite uma amplitude de ajustes morfológicos e morfogênicos e uma relação funcional atuante entre eles. O que poderia ter mais eficácia em *status* do que servir como "centro mestre de crescimento"? A resposta é a capacidade adaptativa do côndilo que se revela uma extraordinária função histogénica.

Côndilo e ramo da mandíbula e seu crescimento

Historicamente, coube ao côndilo mandibular toda a importância, seja como determinante primário do crescimento mandibular, seja como estrutura de resposta que torna possível o crescimento adaptativo, verdadeiramente inter-relacionado.

O côndilo mandibular está diretamente envolvido como um local de crescimento único, regional e fornece uma amplitude indispensável para o crescimento adaptativo. É uma articulação móvel, aceita pressão e fornece os meios para o crescimento ósseo (endocondral) em condições nas quais o crescimento periosteal ou intramembranoso comum não seria possível, e pode ainda, com muita frequência, estar envolvido na disfunção da ATM.

No que se refere aos requisitos de crescimento adaptativos da mandíbula, não é apenas o seu côndilo que participa como componente chave, também todo o ramo está diretamente envolvido, sendo este um ponto muito importante. O ramo faz a ponte com o compartimento faríngeo e coloca o arco mandibular em oclusão com o arco maxilar. A largura horizontal do ramo determina a posição ântero-posterior do arco inferior e a altura do ramo acomoda a dimensão vertical e o crescimento tanto dos componentes nasais como mastigatórios da face média. As dimensões e a morfologia do ramo estão diretamente envolvidas na inserção dos músculos mastigatórios e o ramo deve acomodar o seu crescimento e tamanho. É o crescimento e desenvolvimento de todo o ramo, não apenas do côndilo mandibular, que atinge esses objetivos múltiplos e básicos. A expressão "crescimento condilar" suscita um conceito biológico incorreto. Mais adequadamente, os termos devem ser "*o crescimento do ramo e do côndilo mandibular*". No sentido real, o côndilo acompanha o crescimento de todo o ramo e não o orienta. Isso é importante porque algumas pesquisas mostraram que todo o ramo e os músculos a ele aderidos são os alvos principais de muitos procedimentos ortodônticos. É significativo que a "*capacidade adaptativa*" do côndilo também envolva todo o ramo, o qual também é uma parte anatômica importante e está diretamente envolvido nas compensações de crescimento.

Os clínicos muitas vezes consideram que a mandíbula tem menores respostas ortopédicas que a maxila. Uma explicação biológica é o fato de todo o ramo estar diretamente envolvido no processo, e não apenas o côndilo. As forças clínicas devem sobrepor não apenas os "côndilos", mas toda a musculatura da mastigação, que é um importante fator restritivo. Além disso, as mudanças de crescimento induzidas na cartilagem condilar podem ser compensadas pelo crescimento no ramo, no sentido oposto e com igual magnitude. Assim, a ortopedia deve modificar os sinais de crescimento de forma que os alvos sejam o ramo, o côndilo mandibular e o processo dento-alveolar, para que se atinja a eficiência máxima.

Verticalização do Ramo

Em regra, o ramo torna-se verticalmente mais alinhado durante o seu desenvolvimento, enquanto o ramo cresce ativamente numa direção posterior. Isto é conseguido por quantidades maiores de acréscimo de osso na região inferior do bordo posterior em relação à região superior (Figura 1.41). Em correspondência, acontece uma quantidade maior e equivalente de reabsorção no bordo anterior, mais inferior que superiormente. Ocorre, assim, uma rotação de "remodelação" no alinhamento do ramo, ficando o crescimento do processo condilar direcionado num trajeto mais vertical, junto com o remanescente do ramo.

A razão pela qual o ramo se torna progressivamente mais vertical à medida que o desenvolvimento ocorre na infância, é que ele precisa de se alongar verticalmente em uma extensão muito maior do que horizontalmente, e isso cria um problema de desenvolvimento para os tecidos "genéticos" envolvidos (Figura 1.45). A faringe e a fossa craniana média alargam-se horizontalmente de (*a*) para (*a'*). O ramo alarga-se, correspondentemente, de (*b*) para (*b'*), acompanhando o alargamento de (*a*) para (*a'*). Contudo, também se alonga verticalmente. O ângulo (*c*) fica reduzido para (*c'*), para acomodar o crescimento nasomaxilar vertical que está ocorrendo ao mesmo tempo. Dessa forma, o "ângulo goníaco" deve sofrer uma alteração no sentido do fechamento, de modo a evitar a mudança na relação oclusal entre os arcos mandibular e maxilar.

Contudo, o alongamento vertical do ramo continua a acontecer depois do crescimento horizontal do ramo se reduzir ou cessar (quando o crescimento da fossa craniana média começa a decrescer ou cessa), que ocorre para acompanhar o crescimento vertical contínuo da face média. Para que essas aconteçam, o crescimento do processo condilar precisa de ser orientado mais verticalmente e um

padrão diferente de remodelação do ramo também pode acontecer (Figura 1.39). A direção de reabsorção e aposição inverte-se.

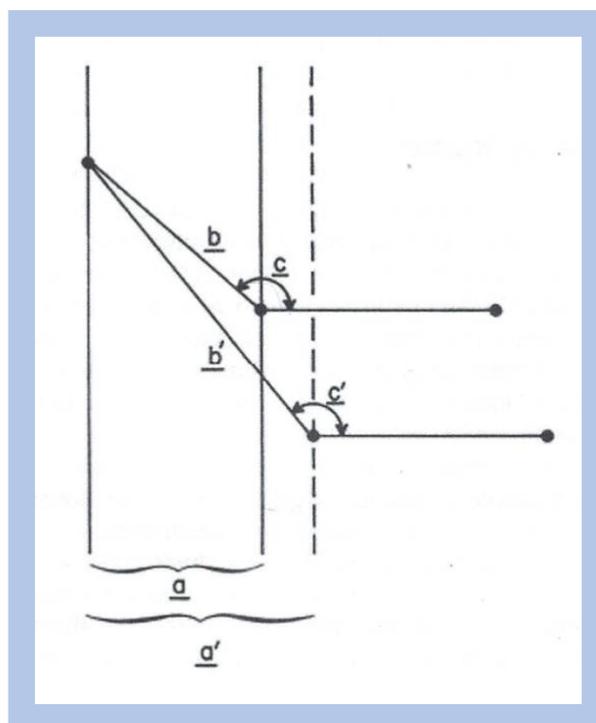


Figura 1.45. Neste diagrama esquemático, a faringe (e a fossa craniana média) alarga-se horizontalmente de (*a*) para (*a'*). O ramo alarga-se, correspondentemente, de (*b*) para (*b'*), acompanhando-a. Contudo, também se alonga verticalmente. O ângulo (*c*) ficou reduzido para (*c'*), para acomodar o crescimento nasomaxilar vertical que está ocorrendo ao mesmo tempo. O "ângulo goníaco", assim, deve sofrer uma alteração (fechar) para evitar a mudança na relação oclusal entre os arcos mandibular e maxilar.

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

Em alguns indivíduos, pode então ocorrer um crescimento para a frente, no bordo ântero-superior do processo coronóide. A reabsorção, por sua vez, acontece na parte superior-posterior. O resultado é um alinhamento mais vertical e uma dimensão vertical maior do ramo, sem um aumento em largura. Essa mudança por remodelação, quando ocorre, parece ser mais acentuada quando diminui a recolocação para trás do ramo para permitir o alongamento do corpo.

O crescimento do ramo passa por uma importante etapa. A remodelação crítica está representada nas figuras 1.41 a 1.46, que mostram a capacidade de adaptação de todo o ramo para proporcionar o perfeito ajuste do corpo mandibular e da arcada dentária ao osso temporal e ao complexo nasomaxilar, também em crescimento. Todo o ramo e os sinais intrínsecos controladores do crescimento são os agentes-chave responsáveis por esse fenómeno.

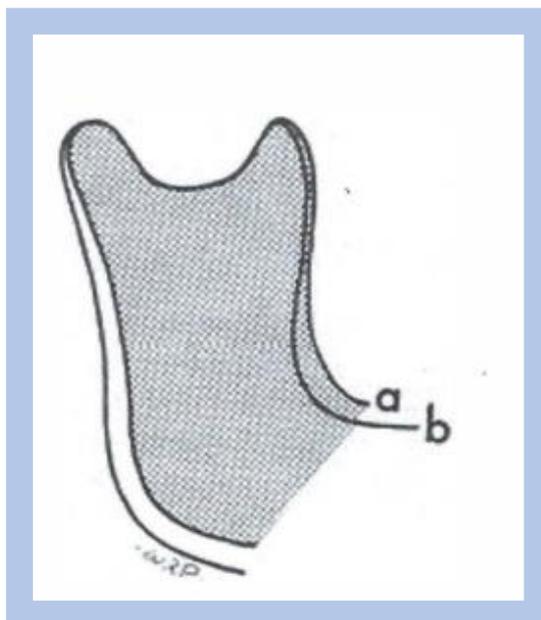


Figura 1.46. O ramo tem a capacidade de proporcionar o perfeito ajuste do corpo mandibular e da arcada dentária ao osso temporal e complexo nasomaxilar.

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

Essas remodelações compensatórias ocorrem durante o longo período da infância com: (1) o alargamento vertical da região nasal e do arco maxilar, que já crescem significativamente, (2) a expansão anterior (protrusiva) do lobo temporal, da fossa craniana média e da faringe subjacente, cruzada pelo ramo. Na infância tardia, o alargamento vertical da região nasal e do arco maxilar continuam em grande extensão, enquanto a expansão anterior do lobo temporal, da fossa craniana média e da faringe subjacente diminuem ou cessam. O crescimento do ramo confronta-se então com o problema, que é sair de uma faixa de crescimento para outra. Para acomodar esta importante transição é necessário o desenvolvimento protrusivo. As mudanças progressivas no ângulo goníaco são consequentes. Qualquer distúrbio de desenvolvimento que interrompa esse processo resulta numa variação indesejada na direção do crescimento e possíveis más oclusões. Essa é uma remodelação adaptativa e rotineira do ramo no processo de crescimento facial diário. O ramo sofre, assim, uma alteração por remodelação na qual o seu ângulo muda para conservar constantes as relações entre as arcadas superior e inferior. Por outro lado, o desenvolvimento entre todas as partes envolvidas, em épocas, em quantidades e em direções diferentes, resultaria em um desajuste acentuado entre ambas as arcadas. Este é outro exemplo de uma "compensação" de desenvolvimento, um ajuste intrínseco.

Se a mandíbula (a) na figura 1.46 for sobreposta à (b) na posição anatomicamente funcional, pode observar-se que todas as alterações complexas por remodelação acima delineadas servem, simplesmente, para modificar o ângulo do ramo sem aumentar a sua largura. Isto dá lugar também aos feixes musculares em crescimento e às adaptações musculares associadas às rotações mandibulares. Além disso, abre-se um espaço adicional para a erupção dos terceiros molares.

O conjunto de alterações do crescimento vertical do processo dento-alveolar inferior, do ramo e da fossa craniana média deve equiparar-se ao complexo de alterações de crescimento nasomaxilar vertical para conseguir manter o equilíbrio facial contínuo. Qualquer diferença vai provocar um tipo de deslocamento por rotação mandibular, seja para baixo, seja para trás, para a frente ou para cima. As variações normais do tipo facial e do padrão do côndilo são uma base comum dessas rotações mandibulares.

A sequência de remodelações apresentadas nas figuras 1.41 a 1.46 representam as incontáveis mudanças que ocorrem durante o desenvolvimento do ramo, conforme referem *Cevdanes* e coautores.¹⁴⁸ A significativa capacidade de remodelação é o fator-chave operacional do complexo crescimento facial.

Durante a descida da arcada maxilar e a flutuação vertical dos dentes mandibulares, os dentes anteriores flutuam de forma simultânea lingual e superiormente (Figura 1.47). Isso produz uma quantidade maior ou menor de sobremordida horizontal ou de sobremordida vertical anterior. O processo de remodelação que provoca essa situação (Figura 1.47 a) envolve: reabsorção periosteal da cortical óssea (a), aposição na superfície alveolar da cortical labial (b), reabsorção na superfície alveolar da cortical lingual (c) e aposição na face lingual da cortical lingual (d).

Ao mesmo tempo, é progressivamente acrescentado osso à superfície externa da área basal mandibular, incluindo a protuberância mentoniana (sínfise). A linha de reversão entre esses dois campos de crescimento, em regra, localiza-se no ponto em que o contorno côncavo da superfície se torna convexo. O resultado desse processo duplo de crescimento é um aumento progressivo da protuberância mentoniana. Qualquer que seja a adaptação mecânica, o mento humano é o resultado filogénico da rotação de toda a face.

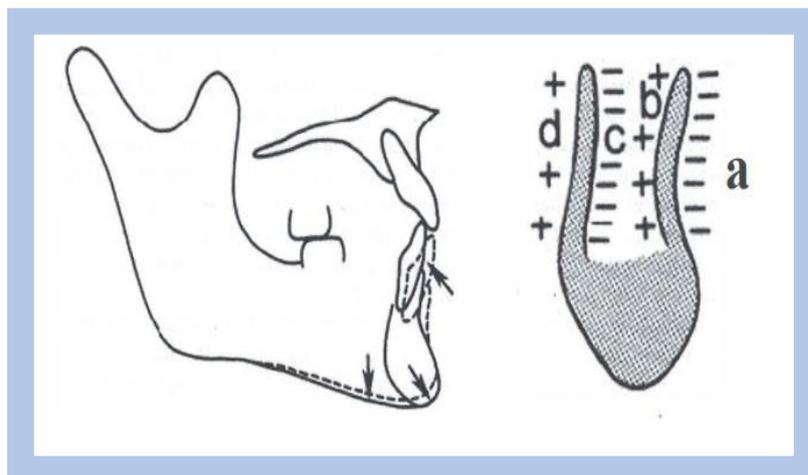


Figura 1.47. Reabsorção periosteal da cortical óssea (a), aposição na superfície alveolar da cortical labial (b), reabsorção na superfície alveolar da cortical lingual (c) e aposição na face lingual da cortical lingual (d).

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

Sínfise Humana

Os fatores evolutivos da postura corporal ereta e do cérebro humano e da sua relação com o posicionamento rotacional para baixo e para trás no complexo nasomaxilar provocaram um sério problema evolutivo para a mandíbula em desenvolvimento. A rotação da face média trava a mandíbula humana em uma posição circunscrita, por um lado, pela maxila, e do outro lado pelo espaço aéreo e outras partes cervicais e faríngeas, colocando essas partes vitais em grande risco. Entretanto, aconteceram três ajustes evolutivos, cada um baseado em tipos faciais cefálicos contrastantes. O primeiro, em muitos indivíduos com face média longa, o "ajuste" da mandíbula levou a uma característica sobremordida com biprotrusão. O segundo, em muitos tipos de face curta, uma alternativa de adaptação foi uma tendência a mordida cruzada anterior ou protrusão bimaxilar. Um terceiro caminho foi o apinhamento anterior, o qual encurta a mandíbula. Todos estes três ajustes são considerados "más oclusões" dentro do conceito clínico, embora tenham servido, como respostas filogênicas de compensação biológica a esse problema evolutivo.

Existe uma variação considerável no posicionamento e na quantidade relativa de reabsorção e de aposição da sínfise. Nessa conformidade, são observadas variações acentuadas na forma e no tamanho do mento em diferentes indivíduos.

É uma das áreas mais variáveis de toda a mandíbula, devido aos diferentes tipos e padrões faciais básicos. E apesar desta variabilidade, é interessante que não existem estratégias ortopédicas cujo alvo seja a sínfise óssea. Os aumentos na

proeminência podem ocorrer por meio de um ou mais dos seguintes caminhos: o primeiro, por aposição natural de osso associada ao início da puberdade; o segundo, relaciona-se com a verticalização dos incisivos mandibulares decorrentes do tratamento ortodôntico ou da flutuação dos dentes anteriores mandibulares; e o terceiro, por genioplastia cirúrgica.

Associação Ramo – Corpo

A maioria das superfícies externas do corpo mandibular recebem deposições de osso progressivas tanto na face bucal como lingual, com a reabsorção a acontecer nas superfícies endósteas. Como abordado anteriormente, as áreas de reabsorção periosteas existem, contudo, na face labial da região de incisivos e abaixo da tuberosidade lingual. Estas alterações aumentam a largura do corpo e a face vestibular remodela-se numa quantidade um pouco maior que a lingual. O bordo vertical do corpo também é de aposição; esse é um processo de crescimento prolongado, que acontece em sintonia com o desenvolvimento mastigatório a longo prazo e a maturação da arcada dentária.

Também a quantidade de crescimento de osso alveolar para cima excede significativamente o aumento para baixo do “osso basal”.

Sempre que acontece uma alteração no ângulo entre o ramo e o corpo, são envolvidos múltiplos locais de remodelação. A trajetória adaptativa do crescimento condilar geralmente é um fator (Figura 1.40), como se vê em (a), (b) e (c). Direções de crescimento variáveis são produzidas pela proliferação dos pré-condroblastos em algumas partes ao redor da periferia do côndilo, com atraso de divisão celular em outras partes. Assim, o "crescimento condilar" é um reagente ativo na função de desenvolvimento, podendo adaptar-se a uma ampla variedade de condições que agem sobre ele.

Se o crescimento do côndilo mandibular e do ramo sofreu redução ou cessou totalmente (Figura 1.41), a remodelação pode produzir alterações angulares do ramo em relação ao corpo, por remodelação direta. Esses processos podem tanto abrir como fechar o "ângulo goníaco". Na realidade, algumas estratégias terapêuticas clínicas, principalmente a mentoneira vertical, procuram modificar o ângulo pela remodelação do ramo e não apenas a área condilar.

Neste contexto, podemos considerar dois pontos fundamentais: está envolvido todo o ramo e não apenas o "crescimento condilar". Além disso, qualquer alteração

no ângulo ramo/corpo (goníaco) é produzida principalmente pela remodelação do ramo, não do corpo, e é determinada pela direção de remodelação do ramo com seu processo condilar (Figura 1.48). Este aspeto é muito importante, porque o alvo clínico primordial é o ramo na sua totalidade e não apenas o processo condilar.

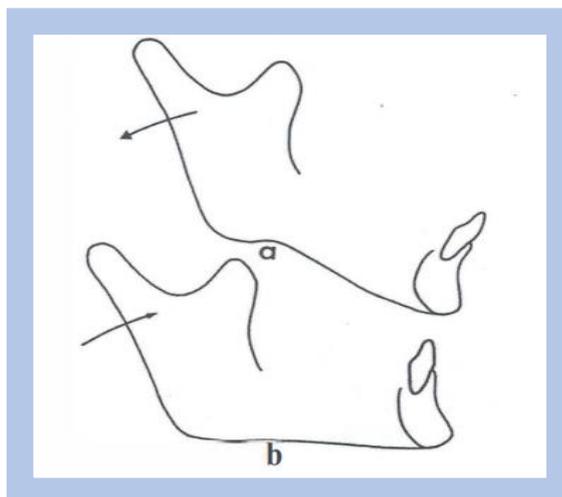


Figura 1.48. a) Chanfradura antegonial mais proeminente quando o ângulo entre o ramo e o corpo é aberto b) Chanfradura antegonial menos proeminente se o ângulo entre o ramo e o corpo for mais fechado.

Adaptado de Enlow e Hans.¹⁴²

As combinações de remodelação (Figura 1.41) são primariamente responsáveis pelas posições de alinhamento relativas entre o ramo e o corpo. A remodelação para cima do corpo, envolvendo reabsorção da sua superfície inferior, geralmente não acontece. São comuns, contudo, uma quantidade de crescimento ósseo alveolar superior e a flutuação dos dentes mandibulares (ver curva de *Spee*). O tamanho da chanfradura antegonial é, consideravelmente, determinado pela natureza do ângulo ramo-corpo e também pela aposição de osso na margem inferior imediatamente anterior ou posterior à chanfradura. A própria chanfradura também aumenta de tamanho devido à sua superfície periosteal de reabsorção. Uma mandíbula tem, caracteristicamente, uma chanfradura antegonial menos proeminente (Figura 1.48 b), se o ângulo entre o ramo e o corpo for mais fechado e uma chanfradura antegonial muito mais proeminente (a), em situação contrária. A própria chanfradura antegonial é uma superfície de reabsorção porque é reposicionada posteriormente, à medida que o corpo se alonga (Figura 1.38). Um ponto significativo é que a manipulação clínica do ramo só será eficiente se estiver incluída ativamente no crescimento mandibular. Consequentemente, não se compreende bem como ativar a sua capacidade de resposta por remodelação, uma vez que o "equilíbrio" de

desenvolvimento foi há tempo obtido com as relações verticais, ântero-posteriores e bilaterais, com a base do crânio, o espaço aéreo, o complexo nasomaxilar, a dentição, a língua e a musculatura da mastigação e supra-hióideos.

1.4.3. Relações entre as tendências de deslocamento das diferentes unidades craniofaciais

Os ortodontistas para instituírem uma terapêutica assertiva devem saber adaptar o tratamento, ao processo de crescimento, respeitando as relações entre as tendências de deslocamento das diferentes unidades faciais. O movimento da sínfise mandibular em relação ao resto da face é de fundamental importância, ilustrado pelo deslocamento do gnáthion ao longo do eixo Y de *Downs* ou similarmente ao longo do eixo facial de *Ricketts*, movendo-se para baixo e para a frente.¹⁴⁹ O eixo de crescimento representa a sùmula do resultado do deslocamento vertical e sagital dos diversos componentes do “mosaico” facial (Figura 1.49).

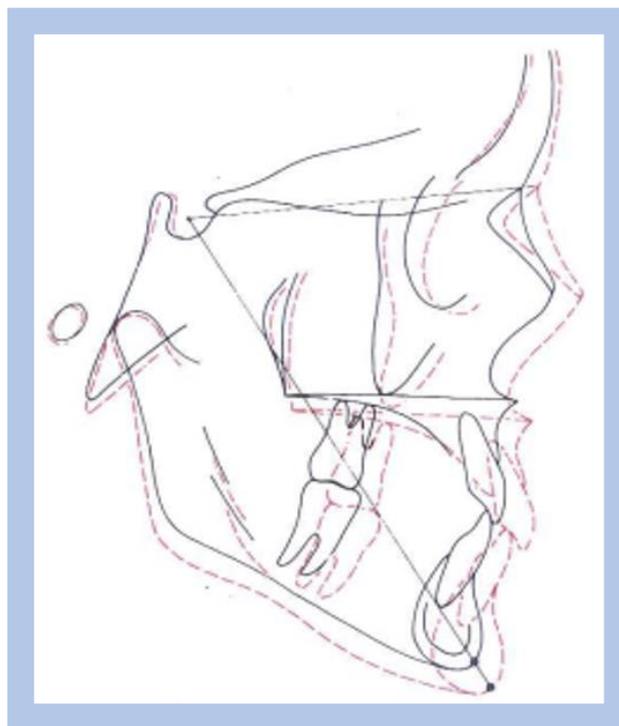


Figura 1.49. Deslocamento médio das estruturas maxilares e mandibulares durante um período de 3 anos. Sobreposição na base anterior do crânio (Sela).

Adaptado de Graber e Vanarsdall.¹⁴⁹

Num padrão de crescimento normal, com o deslocamento para baixo e para frente da sínfise mandibular ao longo do eixo facial, a adaptação das cavidades

glenóides e do crescimento vertical dos côndilos, equilibra o movimento vertical, para baixo do corpo maxilar e do processo alveolar maxilar, com o movimento para cima do processo alveolar mandibular (Figura 1.50 A). Se o desenvolvimento vertical da maxila, dos processos alveolares maxilares e mandibulares for menor que a contribuição vertical das fossas e côndilos, a sínfise mover-se-á predominantemente para a frente. Consequentemente, há um deslocamento sagital maior, que o deslocamento vertical, fechando-se o eixo facial (Figura 1.50 B). Se por outro lado, o desenvolvimento vertical da maxila e dos processos alveolares maxilares forem maiores que a contribuição das fossas glenóides e dos côndilos, então a sínfise mover-se-á quase exclusivamente para baixo e para trás, abrindo-se o eixo facial (Figura 1.50 C).

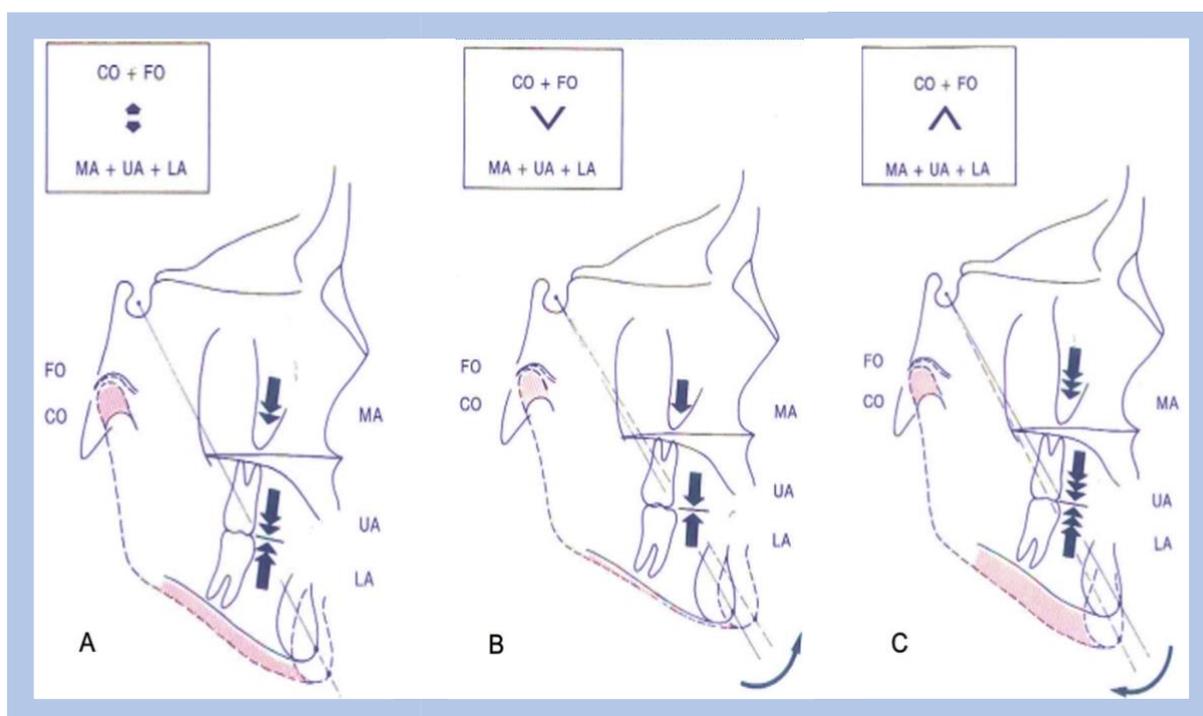


Figura 1.50. Contribuições verticais da maxila (MS) e dos processos alveolares maxilares (AS) e mandibulares (AI) e rotação da mandíbula.

Adaptado de Graber e Vanarsdall.¹⁴⁹

Em conclusão, se os fatores de crescimento das fossas e dos côndilos forem mantidos a um nível constante, os componentes verticais da maxila e dos processos alveolares maxilares e mandibulares influenciam grandemente o deslocamento inferior da sínfise mandibular e com isso, a sua posição ântero-posterior. A ordem de grandeza de estes processos de crescimento naturais é altamente relevante para avaliar os conceitos de tratamento.

Cálculos aproximados, baseados nos estudos de *Björk* e *Skieller*^{150,151}, *Luder*¹⁵², *Riolo*¹⁵³ e *Teuscher*¹⁰ indicam um abaixamento do complexo-maxilar de 0,7 mm ao ano, em relação à base do crânio, com um aumento de altura dento-alveolar de quase 1 mm na maxila e de 0,75 mm na mandíbula.

Conseqüentemente, o desenvolvimento vertical do complexo-maxilar medido na região do molar alcança aproximadamente 1,5 a 2 mm por ano. Se incluir o desenvolvimento dento-alveolar mandibular pode esperar-se um desenvolvimento vertical total de 2 a 3 mm. Em contrapartida, o movimento da fossa glenóidea e a quantidade de crescimento dos côndilos deve ser tida em conta. O movimento vertical para baixo da cavidade glenóidea estima-se ser de 0,25 a 0,5 mm por ano. Contudo, a maior mudança anual nesta fração recíproca está na região do côndilo, onde, por meio de adição, se podem registrar valores de 2,5 mm. A comparação entre a contribuição vertical das cavidades glenóides e dos côndilos mandibulares e a contribuição vertical da maxila e dos processos alveolares maxilares e mandibulares revela que o equilíbrio estabelecido é também quantitativamente evidente dentro dos limites biológicos. Basicamente, o elemento condilar deve compensar o desenvolvimento vertical dos três componentes faciais, cada um dos quais é relativamente pequeno. Este equilíbrio dos deslocamentos pode facilmente ser perturbado quando se associa o tratamento ortopédico e/ou ortodôntico. Na maioria dos processos de tratamento a tendência é aumentar a dimensão vertical das regiões dento-alveolares, e inclusive, as estruturas do terço médio da face. De facto, o efeito mecânico extrusivo presente em muitos dispositivos ortodônticos não produz uma resposta biológica em todos os casos, devido ao efeito de controlo das forças oclusais que derivam dos músculos adutores. Deve admitir-se, sem dúvida, que em muitos casos a eficácia dos aparelhos ortodônticos prevalece sobre as forças oclusais antagónicas. Tendo em vista o crescimento da dimensão vertical anual de 2,5 mm por ano, uma pequena alteração adicional na região dento-alveolar dos segmentos vestibulares tem um efeito considerável sobre a rotação da mandíbula e com ela a posição ântero-posterior da sínfise mandibular.

Com a extrusão de 1 mm de cada um dos molares maxilares e mandibulares, a consequência geométrica no padrão ilustrado é uma abertura do eixo facial de 2,5° e a diminuição de 2,5° do SNB. Efeitos deste tipo podem certamente ser observados como resultado do impacto mecânico dos aparelhos ortodônticos. Neste contexto, afirma-se que se produz um padrão de crescimento alterado, interpretando-se, em

muitos casos, como uma deflexão iatrogénica da trajetória do processo de crescimento natural. No tratamento da má oclusão de Classe II esquelética, esses efeitos colaterais negativos contraproducentes devem ser evitados, mesmo que a possibilidade de se manifestarem seja baixa.

Evolução de um conceito relacionado com o crescimento para o tratamento da má oclusão de Classe II esquelética

Um dos requisitos chave para um correto tratamento da má oclusão de Classe II esquelética é reconhecer quais os fatores naturais de crescimento que contribuem para a correção do desequilíbrio maxilo-mandibular sagital e que não devem ser perturbados. Assim, deve haver um estímulo que permita a expressão dos fatores no seu pleno potencial.

A resultante do vetor de expressão do crescimento pode ser dividida em dois componentes, de deslocamento horizontal e vertical. Normalmente, o avanço da mandíbula para baixo e para a frente durante o crescimento é ligeiramente maior do que o da maxila, o que leva a um gradual aplanamento da face.

No tratamento da má oclusão de Classe II esquelética, deve ser aumentada esta diferença entre o deslocamento mandibular e maxilar, de outra maneira não seria possível esperar a correção esquelética. A ortopedia funcional dos maxilares pretende estimular o crescimento para a frente da mandíbula. O vetor de crescimento anterior adicional da mandíbula deve originar o chamado salto de mordida. De entre os inúmeros aparelhos que podem produzir esta reação, existem variados ativadores. São eles, nomeadamente, o ativador de *Frankel*, e o antigo ativador de *Herbst*. Todos têm um denominador comum: a mandíbula é forçada a uma posição anterior por um aparelho ortopédico. A ideia consiste em estimular o crescimento dos côndilos, de modo que depois de certo tempo, esta posição se estabilize por uma adaptação estrutural compensatória.

Um argumento importante acerca deste conceito foi realizado por *Korkhaus*¹⁵⁴ já há muitos anos: “A correção da má oclusão de Classe II esquelética é efetuada exclusivamente por desenvolvimento para anterior da mandíbula”.

No entanto, apesar dos amplos estudos desenvolvidos,^{155,156} este assunto ainda é controverso. É questionável se os processos adaptativos se podem iniciar nas regiões dos côndilos por um simples deslocamento forçado da mandíbula para diante. Estudos experimentais em animais¹⁵⁷⁻¹⁵⁹ provaram histologicamente que se pode

produzir uma reação adaptativa na região dos côndilos através de uma protrusão forçada da mandíbula. Os processos de remodelação das fossas glenóideas indicam uma tendência ao movimento reativo para a anterior e para inferior.^{160,161}

Estudos clínicos de vários autores não encontraram indícios cefalométricos da reação mandibular em comprimento ou em posição anterior melhorada depois do tratamento com a protrusão forçada. Os efeitos mais importantes são as reações dento-alveolares tanto na maxila como na mandíbula.

No entanto, outros grupos^{152,162-164} constataram que a reação em comprimento e a posição da mandíbula contribuíram efetivamente para uma melhoria da relação entre os maxilares durante o tratamento da má oclusão de Classe II, quando se utiliza o conceito de posição forçada da mandíbula para anterior.

Os resultados divergem podendo atribuir-se, em parte, aos diferentes métodos de investigação e também ao facto de diferentes aparelhos propulsores parecerem induzir diferentes reações condilares, dependendo do seu desenho e utilização. No entanto, se os resultados forem cuidadosamente analisados, a resposta mandibular acontece numa reduzida gama de padrões faciais e, em muitos casos, os efeitos desfavoráveis que abrangem os componentes dento-alveolares e da maxila, constituem efeitos indesejáveis concomitantes no tratamento. Do ponto de vista de ancoragem e estabilidade futura, estas implicações adversas não desejáveis podem ser até contraproducentes em relação à melhoria do perfil facial. Em nenhum dos estudos, a adaptação dos côndilos foi de tal modo evidente que pudesse justificar-se para a maior parte das correções esqueléticas da má oclusão de Classe II.

A possibilidade ortopédica para aumentar a diferença da expressão do crescimento anterior entre a mandíbula e a maxila é a redução do vetor anterior de deslocamento maxilar superior. A eficácia da ortopedia do maxilar superior dirigida para distal foi constatada em vários estudos experimentais com animais¹⁶⁵⁻¹⁶⁷ e em estudos clínicos com pacientes.^{163,168-171}

Com o tratamento combinado de ativadores com uma FEO, o deslocamento maxilar para baixo e para a anterior pode ser limitado significativamente. Foram conseguidas reduções importantes do SNA mediante o uso de uma FEO aplicada sobre a arcada maxilar. A componente principal para este efeito é a rotação posterior da maxila, provavelmente por causa das suturas estarem predominantemente expostas a forças de tensão. As reações de rotação e alongamento da maxila e especialmente do processo alveolar anterior, não obstante, criam exigências verticais

adicionais, de modo que a mandíbula, por si, é forçada a uma rotação posterior. Em consequência, o benefício sagital do complexo maxilar dilui o resultado geral de promover uma perda sagital na posição da mandíbula. A diferença do deslocamento anterior entre a maxila e a mandíbula foi aumentada, contribuindo assim para a correção da má oclusão de Classe II. No entanto, houve prejuízo no perfil facial porque a mandíbula rodou no sentido horário para baixo e para posterior.

Surge então a questão acerca dos efeitos indesejáveis verticais poderem ser controlados, de modo que o crescimento natural da mandíbula contribua plenamente para a correção da discrepância mandibular pósterio anterior.

O componente vertical do deslocamento esquelético e dento-alveolar da maxila não se intensifica apesar da redução do componente anterior. O vetor de crescimento mandibular segue o seu caminho natural. Por isso o princípio de preservação dos fatores contribuintes para o crescimento na correção da má oclusão de Classe II é respeitado e a terapia não apresenta efeitos secundários. Esta é a premissa básica do tratamento da má oclusão de Classe II.¹⁰ O diferencial do deslocamento anterior entre a maxila e a mandíbula, aumenta substancialmente em comparação.

Levando mais longe a ideia, a eficiência pode ser aumentada diminuindo não só o componente anterior, mas também o componente vertical. Devido à autorrotação, a sínfise mandibular alcançará então uma posição ainda mais adiantada que aquela que teria alcançado pelo seu crescimento natural.

Em resumo, a diminuição do deslocamento vertical e sagital da maxila, a autorrotação e o aumento do deslocamento anterior da mandíbula resultam, então, num conceito muito eficiente na correção das discrepâncias esqueléticas da má oclusão de Classe II. Está previsto não só a disposição dos dentes e a coordenação da arcada maxilar e mandibular, mas também um equilíbrio adequado da estrutura óssea da face.

O balanço não deve ser alcançado por um efeito ortopédico rotacional sobre a maxila, mas deve procurar-se o deslocamento anterior por meio do crescimento da mandíbula.

1.5. Princípios biomecânicos do aparelho funcional do tipo *Teuscher*

A utilização de dispositivos com FEO no tratamento da má oclusão de Classe II exige que os princípios biomecânicos e conceitos de crescimento sejam entendidos

e aplicados, para que os efeitos colaterais sejam minimizados e os efeitos benéficos maximizados. Portanto, o ortodontista deve conhecer todos os componentes e as variações programáveis durante a utilização da FEO. O efeito da utilização da FEO depende da interação de alguns fatores, destacando-se:

- ✓ centros de resistência da dentição maxilar e da maxila
- ✓ magnitude de força
- ✓ linha de ação da força
- ✓ tipos de tração
- ✓ comprimento do arco externo e interno
- ✓ inclinação do arco externo,
- ✓ resistência à movimentação
- ✓ estágio de crescimento do paciente.

A influência mecânica do aparelho com FEO produz uma reação no sistema biológico sob tensão. Pode antecipar-se a resposta local das áreas de tecido afetadas e, durante o período de crescimento, a dinâmica de crescimento também pode ser modificada. A quantidade de força pode ser controlada, no entanto, a previsão exata da resposta do tecido e o comportamento de crescimento em um caso particular é altamente especulativa. Portanto, é uma prioridade controlar a mecânica de acordo com as reações observadas em cada consulta. Durante o tratamento deve-se verificar se o objetivo final de tratamento está a ser alcançado. Sendo a força o agente de tratamento é imperativo dominar bem os fundamentos da biomecânica^{172,173}

O sistema de forças predetermina a direção geral em que um dente, um grupo de dentes ou uma unidade esquelética responde. A combinação de vetores de força, binários e momento/força aplicados são os meios pelos quais o ortodontista tenta obter o plano de tratamento desejado.

O centro de resistência da unidade ou unidades a serem movidas é o ponto básico que deve ser considerado para a organização de um sistema de forças. A aplicação de uma única força através do centro de resistência levará a um movimento de translação puro, ao longo do vetor de força. Não haverá rotação porque o centro de rotação encontra-se no infinito. A localização do centro de resistência de uma entidade biológica pode não ser determinada com exatidão, já que está sujeita a alterações dos tecidos e a outros fatores. Será tão somente a observação cuidadosa da reação, que ajudará o ortodontista a modificar em conformidade o sistema de

forças. Se o vetor de força está orientado excentricamente ao centro de resistência, ocorrerá um movimento combinado, de translação e rotação. A quantidade da rotação dependerá da distância do vetor de força em ângulo reto, ao centro de resistência, isto é, do seu momento, verificando-se uma relação inversamente proporcional: se o vetor de força é posicionado mais próximo do centro de resistência, o centro de rotação irá mover-se em direção ao infinito; se o vetor de força estiver localizado longe do centro de resistência, então ocorrerá somente rotação.

Como a natureza da reação à aplicação de um sistema de força depende tão intrinsecamente da localização do centro de resistência, é de fundamental importância estimar onde estará localizado. Isto também se aplica quando está em causa um grupo de vários dentes.

É razoável postular que o complexo nasomaxilar, suspenso como está num sistema de suturas comparável ao sistema de fibras periodontais de um dente, possui um centro de resistência.^{10,173} De acordo com as reações clínicas observadas, a localização do Centro de Resistência (CRe) deve ser na área pósterio-superior do osso zigomático-maxilar, na sutura zigomática-maxilar (Figura 1.51).

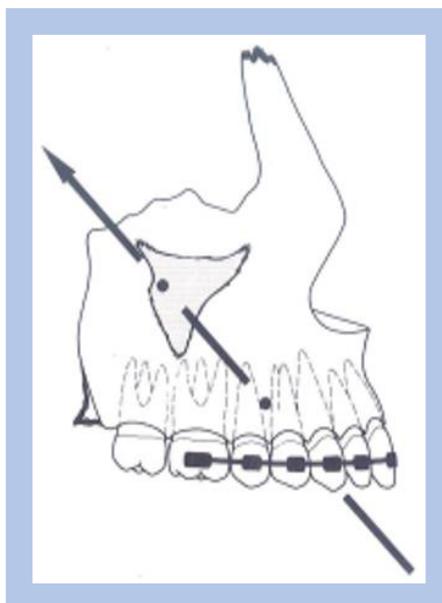


Figura 1.51. O vetor de força aplicado deverá passar nos CRe da maxila e CRe da dentição maxilar, para não induzir movimentos de rotação.

Adaptado de Graber e Vanarsdall.¹⁴⁹

O prognóstico da reação, no que diz respeito à direção, pode ser feito da mesma forma para um dente individual. Quando são aplicadas forças na maxila, um determinado vetor de força deve ser analisado em relação ao centro de resistência

das unidades dentárias, bem como, com respeito ao centro de resistência da unidade esquelética. Se não houver efeito de rotação em nenhum deles, então o vetor de força deverá passar entre os dois centros de resistência e será exatamente definida a sua direção. Ao projetar a direção da força nos dentes e nas unidades esqueléticas deve ter-se em conta um determinado objetivo de tratamento. Adicionalmente, o ortodontista deve também considerar os efeitos do crescimento dessas estruturas. O vetor de força e o vetor de crescimento juntos determinarão o vetor resultante. Em exemplos clínicos da aplicação de FEO foram analisados não só os vetores reativos das unidades dentárias, mas também das unidades esqueléticas, assim como o vetor de crescimento.⁷

Como primeiro passo, estabeleceu-se uma relação do vetor de força aplicada com o centro de resistência da maxila e com o centro de resistência da dentição. O conhecimento das distâncias de cada um deles, permitiu a determinação da localização aproximada dos centros de rotação para o maxilar e para a dentição.

O deslocamento de um determinado ponto da dentição pode ser determinado a partir dos dois centros de rotação, do maxilar e da dentição. Quando o vetor de crescimento está incluído, o resultado do vetor de deslocamento resultante pode ser deduzido através da adição de vetores. Escusado será dizer que a localização do centro de resistência e, especialmente, o centro de rotação para cada unidade é, na melhor das hipóteses, aproximada. Todavia, não é possível determinar a direção exata nem o comprimento dos vetores, uma vez que, por um lado, variam de acordo com a quantidade e duração da aplicação da força, e, por outro lado, com a resposta tecidual, padrão e duração do crescimento. A figura 1.52 ilustra alguns exemplos de como poderá ser aplicada a FEO.

A tendência para extrusão ou intrusão nas áreas dos molares e dos incisivos pode ser determinada pela ação do vetor da força, em especial pelos efeitos rotacionais desse vetor que derivam das relações dos vetores com os respectivos centros de resistência.

Tem-se demonstrado que a rotação da maxila e da arcada dentária maxilar pode variar nos exemplos apresentados, nas figuras 1.52 A) e 1.52 C) com rotação posterior de ambos e na configuração dos exemplos das figuras 1.52 B) e figura 1.52 D) resultará na rotação posterior da maxila com rotação anterior da dentição maxilar.¹⁴⁹

Nos exemplos apresentados, são mais evidentes as alterações do plano oclusal resultantes dos efeitos verticais e rotacionais. Pode ver-se facilmente que se obtêm

menores mudanças rotacionais e verticais na configuração, quando o vetor de força aplicado passa entre os centros de resistência da maxila e da dentição maxilar, numa direção para cima e para posterior (Figura 1.52 D). Esta será, portanto, a configuração para um melhor controlo vertical.

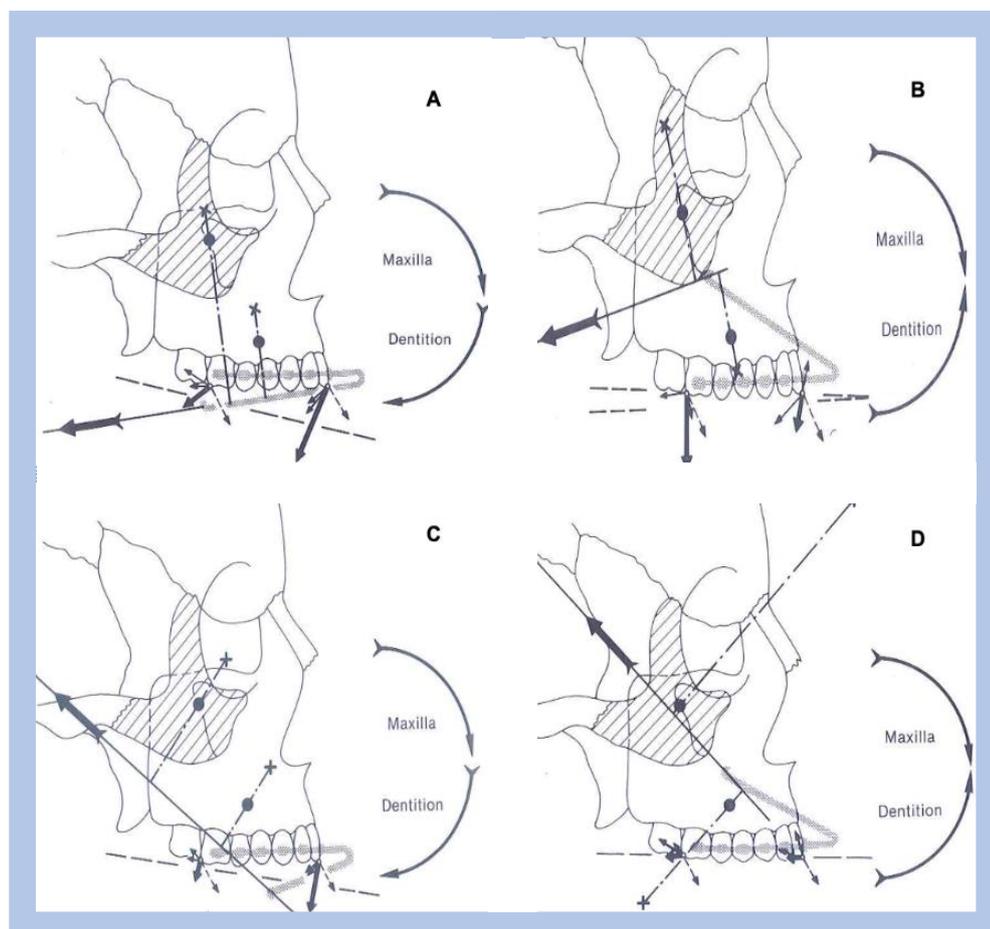


Figura 1.52. Exemplos da aplicação da FEO.
Adaptado de Graber e Vanarsdall.¹⁴⁹

Seria desejável estabelecer uma configuração que colocasse o vetor de força aplicado coincidente com os centros de resistência da maxila e da dentição maxilar (Figura 1.51), mas até agora não tem sido possível construir um AFTT estável e aceitável para uma inclinação do vetor de força tão íngreme ou inclinado. A configuração da parte pósterio-superior do AFTT, é, portanto, um fator limitativo para a regulação da inclinação máxima do vetor de força.

Outra consideração biomecânica importante diz respeito aos efeitos do deslocamento ativo da mandíbula.

As observações clínicas e experimentais sugerem que na correção da má oclusão de Classe II, para se iniciar uma resposta condilar intermaxilar adaptativa, é

necessário o deslocamento da mandíbula para baixo, para a frente e para fora da fossa mandibular, com um ativador ou placa de mordida durante um período prolongado. Este é o denominador comum para os aparelhos ortopédicos funcionais,^{149,174} incluindo o aparelho fixo funcional de *Herbst*.^{175,176}

O posicionamento forçado da mandíbula em protrusão tenciona os tecidos moles e especialmente os músculos envolvidos na ancoragem da mandíbula à cabeça e ao pescoço. Numa interpretação muito simplificada sobre o assunto,¹⁵⁸ podem identificar-se dois padrões básicos de reação, nomeadamente, a resposta neuromuscular e as propriedades elásticas dos músculos.

A resposta neuromuscular pode levar a uma mudança adaptativa na atividade postural, mas o aparelho mantém a mandíbula na posição imposta. Após um curto período de adaptação, o músculo pterigóideo externo, especialmente a parte superior, assegura a posição devido à sua sustentada atividade. *Mcnamara*,^{158,159} numa experiência em macacos com um aparelho mandibular propulsivo, demonstrou durante um longo período de observação através de eletromiografia que a atividade do pterigóideo externo se encontrava aumentada, não apenas durante o movimento da mandíbula, mas também durante a manutenção postural. Se este padrão de resposta neuromuscular prevalece, então nenhuma ou quase nenhuma força de retração é transmitida ao aparelho e deste às estruturas de ancoragem.

Por outro lado, a posição forçada para frente e para baixo da mandíbula afeta a relação comprimento-tensão da musculatura envolvida. O alongamento de um músculo esquelético não estimulado irá aumentar exponencialmente a tensão devido às suas propriedades elásticas. Quando o músculo é estimulado, a tensão total resultante pode ser medida. Um leve declínio poderá ser observado se, devido ao alongamento adicional, é excedido o comprimento de repouso do músculo. Este efeito é causado por uma marcada diminuição da tensão ativa, ou seja, a diferença entre a tensão total e a tensão passiva. A tensão ativa gera uma contração tónica reflexiva, mas o aumento do tónus depende do estado de vigília, se o indivíduo está desperto, em sono leve ou profundo. Em qualquer caso, a tensão dos músculos, seja elástica apenas ou aumentada pelo reflexo tónico, é transmitida ao aparelho apesar da compensação por adaptação neuromuscular.

Resultados clínicos após o tratamento com aparelhos ortopédicos funcionais mostram uma forte influência ântero-posterior sobre a dentição maxilar, mandibular e sobre a maxila (diminuição do ângulo SNA). Portanto, é razoável supor que as

propriedades elásticas dos músculos desempenham um papel dominante, especialmente os efeitos de retração dos músculos temporais posteriores e supra hióideos (Figura 1.53). Isto obviamente em muitos casos supera a atividade de manutenção postural compensatória dos pterigoides externos e não significa que a atividade postural não desempenha um papel significativo. Podem ocorrer algumas diferenças na resposta muscular de acordo com o tipo de aparelho, especialmente dependendo do uso diurno ou noturno. Em muitos casos, é óbvio que certamente ocorre uma adaptação da posição dos maxilares durante o tratamento da má oclusão de Classe II com aparelhos ortopédicos funcionais. No entanto, a tendência para funcionar numa posição mandibular avançada não garante a obtenção espontânea da adaptação estrutural.

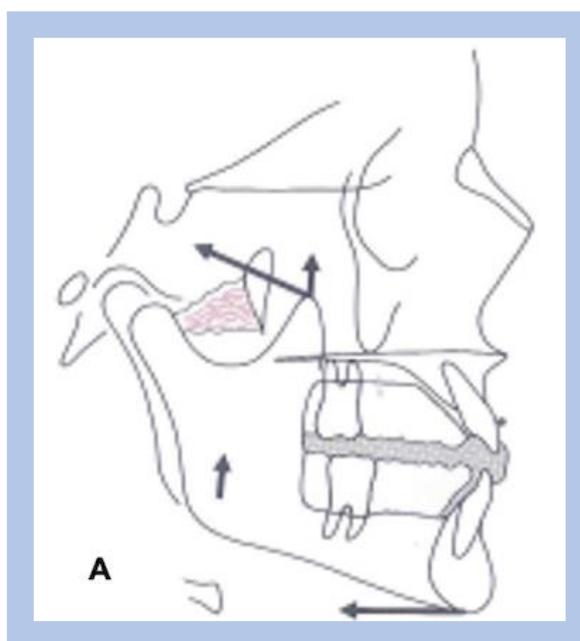


Figura 1.53. Efeito retrator da parte posterior do temporal e dos supra hióideos, devido à protrusão forçada da mandíbula pelo aparelho.

Adaptado de Graber e Vanarsdall.¹⁴⁹

Devem ser tidas em conta as interferências biomecânicas da instalação de um aparelho de ortopedia funcional dos maxilares para a correção da má oclusão de Classe II com a conseqüente tensão aumentada nos músculos elevadores e especialmente nos retratores. O vetor da força resultante deve ser localizado para baixo e para posterior do centro da resistência da maxila e da dentição maxilar (Figura 1.54 A). Assim, o resultado será uma relação similar à configuração do exemplo da figura 1.52 C.

Pesquisas sobre reações dento-alveolares na maxila depois do tratamento com aparelhos ortopédicos funcionais geralmente confirmam a presunção de que o vetor de força resultante é o estimado da figura 1.54. A figura 1.54 A representa uma situação muito próxima do real.

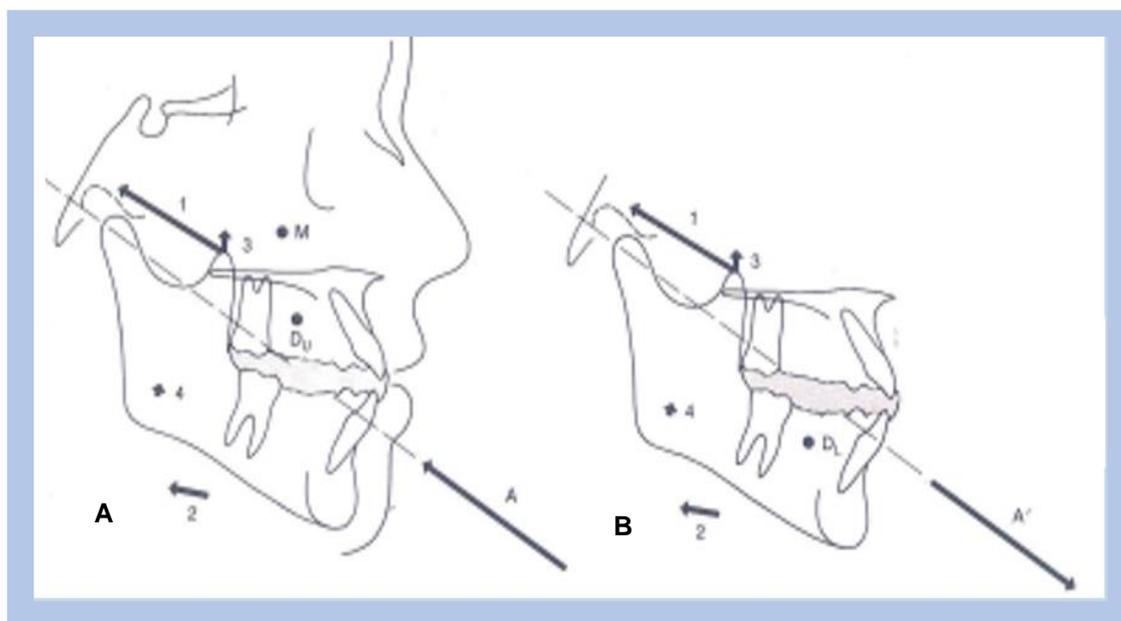


Figura 1.54. A) Vetor força resultante (A) da adição de vetores, dos vetores das forças retratoras (1 e 2) (parte superior dos músculos temporal e supra hióideo e dos elevadores (3 e 4) (parte média do temporal e dos músculos masséter e pterigóideo medial). O vetor A tem direção pósterio-superior e passa abaixo dos centros de resistência da arcada dentária maxilar. B) Nas estruturas mandibulares cria-se um vetor força A' da mesma longitude que o vetor A mas na direção oposta. Passa por cima do centro de resistência da dentição mandibular (Di).

Adaptado de Graber e Vanarsdall.¹⁴⁹

Com a aplicação de um ativador para a correção da má oclusão de Classe II, que cobre todas as superfícies oclusais, o vetor de força excêntrica transmitirá as maiores tensões nos molares maxilares e incisivos mandibulares. De acordo com a relação do vetor da força com o centro de resistência da dentição, resultará numa inclinação para trás das unidades dentárias e uma rotação posterior de dentição. O efeito rotacional pode ser comparado com o padrão discutido na figura 1.52 C. Também é suscetível de ocorrer inclinação lingual e pro-inclinação dos incisivos maxilares.

Em relação ao centro de resistência da maxila, o vetor da força é ainda mais excêntrico; conseqüentemente, observa-se um movimento aumentado para baixo da espinha nasal anterior em muitos casos com tratamento somente com ativador. O vetor de força indicado atua na direção oposta à dentição mandibular (Figura 1.54 B). O componente anteriormente orientado irá inclinar os dentes para a frente. Isso irá

certamente ocorrer se a ancoragem não se estender até a face lingual do processo alveolar. No entanto, o efeito rotacional não pode ser totalmente controlado e pode resultar, entre outras sequelas, na protrusão dos incisivos mandibulares.

A figura 1.55 mostra exemplos de algumas consequências descritas quando se realiza o tratamento da má oclusão de Classe II unicamente com ativadores. Quando adicionadas as reações ao vetor de força criado, poderá ser esperada a correção da intercuspidação da má oclusão de Classe II e redução da sobremordida horizontal. No entanto, os componentes rotacionais posteriores verificados exigem uma dimensão vertical; portanto, mesmo que tenha sido iniciada alguma estimulação na cartilagem condilar, a consequência espacial é um movimento predominantemente descendente da sínfise. Deve prever-se um aumento da altura facial anterior e uma falta de melhoria do perfil, como possíveis consequências. Por conseguinte, o padrão básico de crescimento determinará se essas influências desfavoráveis podem ser minimizadas, pelo menos parcialmente, uma vez que se forem aumentadas, ocorrerá inevitavelmente um prejuízo no tratamento. A eficácia da correção de uma intercuspidação da má oclusão de Classe II, principalmente por rotação posterior do plano oclusal, pode ser intensificada pelo aumento de mordida intermaxilar.

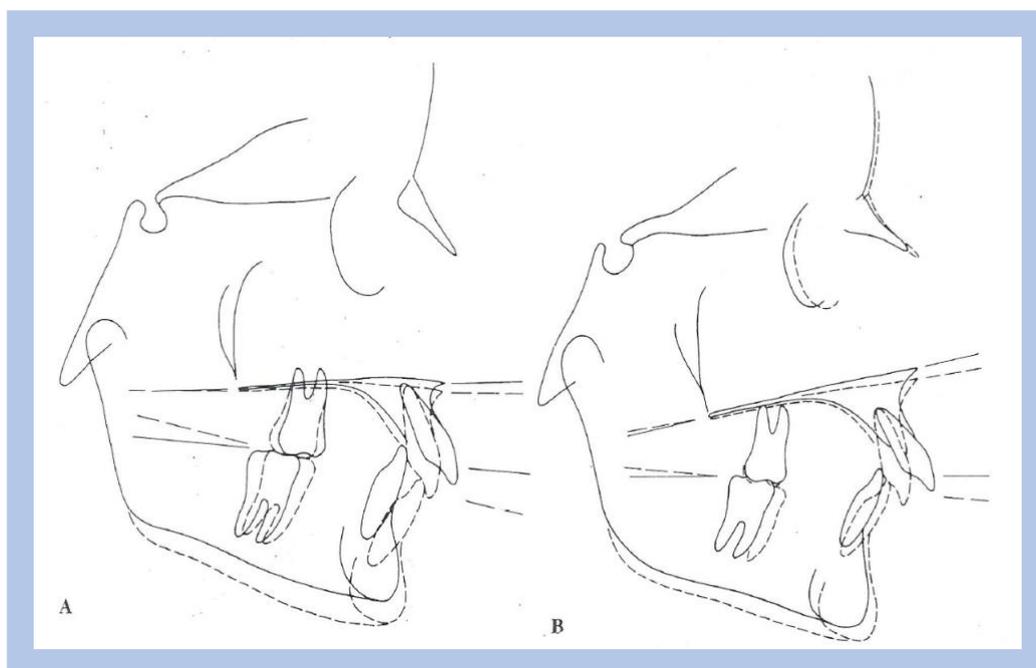


Figura 1.55. Dois exemplos de correção da má oclusão de Classe II somente com ativadores: rotação posterior do plano palatino e do plano oclusal, redução do SNA, retrusão dos incisivos maxilares, protrusão dos incisivos mandibulares. Em A, a rotação posterior do plano oclusal é mais acentuada do que em B. Como consequência, a sínfise mandibular é deslocada mais para baixo do que para a frente. Em B, o crescimento condilar amplo provavelmente compensou os efeitos verticais desfavoráveis, de modo que o eixo facial não abriu.

Adaptado de Graber e Vanarsdall.¹⁴⁹

1.6. Efeitos da correção da má oclusão de Classe II - alterações esqueléticas, dento-alveolares e dos tecidos moles e ATM

1.6.1. Efeitos da utilização dos aparelhos funcionais combinados com força extra-oral - alterações esqueléticas, dento-alveolares e dos tecidos moles

Os indivíduos com má oclusão de Classe II hiperdivergentes apresentam discrepância das bases ósseas que resulta de uma desarmonia entre as porções anterior e posterior da face, acompanhada por uma hiperplasia alveolar maxilar, com um crescimento vertical excessivo da maxila e retrognatismo mandibular. Nestes indivíduos, a face é caracteristicamente estreita e alongada, e muitas vezes há dificuldades na respiração nasal, mudanças na postura crânio-cervical e na posição do osso hióide.

No tratamento dos pacientes hiperdivergentes em crescimento com má oclusão de Classe II têm sido usados vários dispositivos ortodônticos, nomeadamente: aparelhos de FEO (arco facial combinado com diferentes trações), aparelhos funcionais e aparelhos funcionais combinados com FEO. Os aparelhos funcionais combinados com FEO têm sido utilizados com o intuito de uma maior restrição ou limitação do crescimento esquelético maxilar e do movimento dentário maxilar, contribuindo assim para a correção diferencial da discrepância ântero-posterior entre a arcada maxilar e a arcada mandibular. São exemplo, os aparelhos funcionais combinados com FEO, *Teuscher*,¹⁷⁷ *Van Beek*,¹⁷⁸ *Thurow*,¹⁷⁹ que são utilizados com o objetivo de promover maiores alterações esqueléticas do que as ocorridas com a utilização isolada de aparelhos funcionais.

No entanto, alguns efeitos adversos, como a rotação horária mandibular, restrição parcial do deslocamento anterior da maxila, o aumento da altura facial ântero-inferior e a pro-inclinação aumentada dos incisivos mandibulares, são referidos em certos estudos.¹⁸⁰⁻¹⁸²

O controlo dos efeitos verticais indesejáveis durante o tratamento ortodôntico com FEO é de grande importância em pacientes que apresentam uma maior dimensão vertical, particularmente em pacientes em crescimento.¹⁸³

A utilização da FEO com tração occipital aplicada aos primeiros molares foi inicialmente utilizada com o objetivo de evitar a extrusão dos molares, em casos de mordida aberta e em pacientes com ângulos do plano mandibular aumentados.^{181, 184}

Acredita-se que a FEO de tração occipital consiga esse efeito com as suas componentes de força distais e intrusivas, proporcionando um melhor controlo do movimento dentário. Em contraste, a tração cervical foi pensada para permitir uma rotação horária da mandíbula devido a um vetor de força descendente, sendo a extrusão dos primeiros molares maxilares, responsável por essa rotação.¹⁹

Poucos são os estudos que se têm debruçado sobre os efeitos esqueléticos e dento-alveolares dos aparelhos funcionais combinados com a FEO.

Märsan e coautores,⁸ por exemplo, avaliaram as alterações esqueléticas, dento-alveolares e dos tecidos moles em pacientes com más oclusões de Classe II causadas por prognatismo maxilar e retrognatismo mandibular tratados com um ativador combinado com uma FEO com tração occipital. Os indivíduos, todos em fase de dentição mista com valores de sobremordida horizontal superior a 5 mm, foram divididos em dois grupos: 28 pacientes, tratados com um ativador, combinado com uma FEO de tração occipital (13 meninas, 15 meninos, idade cronológica média $11,7 \pm 1,2$ anos) e um grupo não tratado de 28 crianças (14 meninas, 14 meninos, idade média cronológica média $11,9 \pm 1,1$ anos). A FEO foi aplicada de forma a passar no centro de resistência da maxila, e aplicadas 400-500 g de força em cada lado, com utilização de pelo menos 14 horas por dia. As alterações esqueléticas e dento-alveolares e dos tecidos moles que ocorreram foram comparadas, através da análise cefalométrica, antes do tratamento (T0) e após $1,1 \pm 0,3$ anos de tratamento (T1). No grupo controlo, os parâmetros foram obtidos no início (T0) e após um período de observação de $1,2 \pm 0,4$ anos (T1).

Os autores verificaram que o tratamento do ativador combinado com FEO de tração occipital resultou em diversas melhorias; correção da relação esquelética de má oclusão de Classe II, com redução do ANB; restrição do crescimento maxilar, comprovado pela diminuição de SNA e de OLp-A; avanço das estruturas mandibulares, refletido nos aumentos de SNB, FH-NPg, OLp-B e OLp-Pg; aumento da altura facial inferior (ANS-Me); correção da sobremordida horizontal; melhoria na sobremordida vertical; verticalização dos incisivos maxilares, comprovada pela diminuição de U1-FH e OLp-U1; protrusão dos incisivos mandibulares, visível aumento do IMPA e OLp-L1); e uma correção da má oclusão dentária, refletida no aumento de OLp-L6. Relativamente às alterações do perfil dos tecidos moles, observou-se uma correção da convexidade facial (com o aumento dos ângulos G'-Sn-Pg' e Mlf-Li-eixo x), e um aumento das dimensões ântero-posterior inferior (Mlf-

eixo y, Pg'–eixo y) e vertical inferior (Sls–eixo, Pg'–eixo x, Me'–eixo x). Em termos globais, os autores concluíram que o ativador combinado com FEO de tração occipital foi eficaz no tratamento de pacientes em crescimento com prognatismo maxilar, deficiência mandibular e convexidade facial aumentada. Este resultado foi conseguido através de uma combinação de alterações dento-alveolares, mas também pelo deslocamento maxilo-mandibular, principalmente o avanço mandibular, que contribuíram para uma melhoria no perfil facial.

Hänggi e coautores¹⁸⁵ desenvolveram um estudo longitudinal retrospectivo com o objetivo de avaliar as alterações da via aérea faríngea em crianças e adolescentes com má oclusão de Classe II e compará-las com um grupo de crianças que receberam tratamento com um aparelho funcional combinado com FEO. Das 64 crianças selecionadas (32 rapazes e 32 raparigas), metade utilizaram um ativador combinado com FEO de tração occipital, durante pelo menos nove meses (grupo de estudo), seguido de terapia com aparelhos fixos (na maioria dos pacientes), enquanto a outra metade recebeu apenas um tratamento ortodôntico simples com aparelho fixo (grupo controlo). Ambos os grupos apresentavam uma relação esquelética sagital e divergência facial inicial, semelhante. Os autores analisaram os cefalogramas laterais antes do tratamento (T1, média de 10,4 anos), no final do tratamento ativo (T2, com média de idade de 14,5 anos) e depois do tratamento (T3, média de idade de 22,1 anos). A partir dos cefalogramas foram avaliadas algumas medidas cefalométricas relacionadas com as mudanças esqueléticas - SNA, SNB, ANB, SN/ML.

Durante o tratamento (T1-T2), os autores observaram diferenças significativas de crescimento entre os dois grupos: o grupo de estudo apresentou maior redução do ângulo ANB ($p < 0,001$) e maior aumento da área faríngea ($p = 0,007$) e do comprimento faríngeo ($p < 0,001$), e uma menor distância entre a língua e a parede posterior da faringe ($p = 0,038$). Em T2, os valores do grupo de estudo foram semelhantes aos do grupo controlo e mantiveram-se estáveis ao longo do intervalo pós-tratamento (T2-T3), concluindo-se, então, que o tratamento com a FEO tem o potencial de aumentar as dimensões das vias aéreas da faringe e manter esse aumento a longo prazo, destacando-se o potencial deste tipo de tratamento em crianças com má oclusão de Classe II.

Garbui e coautores¹⁸⁶ avaliaram o controlo vertical, por meio de medidas cefalométricas, durante o tratamento da má oclusão de Classe II, Divisão 1, em 30 crianças com hiperdivergência facial, selecionadas dos arquivos do Centro de

Pesquisas Odontológicas São Leopoldo Mandic, Brasil. Os pacientes foram tratados com um ativador combinado com FEO durante um tempo médio de 1,1 anos, sendo que a FEO foi direcionada considerando o Centro de Resistência (CRe) da dentição e do complexo nasomaxilar.

A força aplicada, inicialmente de 250 g, foi aumentada gradualmente até 300 g, e os pacientes foram aconselhados a usar o aparelho 14 horas por dia. Foram comparadas as medidas cefalométricas antes e depois do tratamento para avaliar o controle vertical, mediante os seguintes parâmetros cefalométricos: eixo Y, ângulo do plano oclusal, FMA⁰, PP.MP, SN.MP, SN.PP, Co-Go, AFH, PFH e FHI. No estudo não se observou nenhuma diferença estatisticamente significativa entre os valores pré e pós-tratamento do ângulo do plano oclusal e SN.MP, o que indica que o plano oclusal manteve uma posição constante em relação ao plano horizontal de Frankfurt. Não houve uma rotação significativa no sentido horário do complexo nasomaxilar e da mandíbula, indiciando uma relativa estabilidade na proporção do terço médio em relação à face e que a divergência facial não aumentou.

Por outro lado, verificou-se uma diminuição estatisticamente significativa no eixo Y e nos valores cefalométricos FMA e PP.MP, o que vem também reforçar a observação anterior. O aumento estatisticamente significativo dos valores relacionados com as alturas faciais, AFH e PFH, denota o crescimento vertical esperado no terço inferior da face, mas menor se for considerado o aumento esperado para esses valores em indivíduos da mesma faixa etária. Estas variações, associadas ao aumento dos valores de SN.PP, Co-Go e FHI, sugerem que a linha da FEO seja direcionada ao CRe da maxila para a maior eficácia do tratamento da má oclusão de Classe II em indivíduos hiperdivergentes.

Algumas questões podem-se eventualmente colocar sobre a eficácia do tratamento de pacientes com má oclusão de Classe II hiperdivergentes com ativadores combinados com FEO, como a influencia da duração de tratamento ortodôntico nas melhorias esqueléticas verticais em pacientes com má oclusão de Classe II, bem como, a manutenção dos efeitos a longo prazo.

O estudo desenvolvido por *Lerstol* e coautores¹⁸⁷ teve como objetivo analisar a estabilidade a longo prazo do tratamento com ativador combinado com FEO nas estruturas esqueléticas e dentárias em pacientes com má oclusão de Classe II. As 26 crianças incluídas no estudo, 10 meninas e 16 meninos, apresentavam valores de sobremordida horizontal e de sobremordida vertical superiores a 6 e 5 mm,

respetivamente. O tratamento incluiu a utilização de um ativador combinado com FEO com tração cervical, sendo o tempo de tratamento médio de quatro anos.

As radiografias cefalométricas laterais e os modelos de estudo ortodônticos foram obtidas antes do tratamento (T0, idade média de 11,9 anos), no final do tratamento com combinação de ativador e FEO (T1, idade média de 15,9 anos) e após 12-15 anos (T2, idade média 28,6 anos). Foram avaliados, 19 variáveis cefalométricas e nove parâmetros dentários entre T0–T1, T1–T2 e T0–T2. Em T1, a maioria das medidas cefalométricas apresentou alterações estatisticamente significativas: ANB foi significativamente reduzido em 2,3° devido a um aumento significativo no SNB, mas apenas pequenas alterações foram observadas no SNA. O ângulo inter-incisivo aumentou como resultado da retroinclinação significativa dos incisivos maxilares e mandibulares. Todos os pacientes alcançaram uma relação molar de Classe I e uma redução significativa da sobremordida horizontal e sobremordida vertical. Em T2, os resultados mostraram uma ligeira recidiva dos resultados obtidos em T1, nomeadamente, um ligeiro aumento da sobremordida horizontal, apesar de não ser significativo; o aumento significativo da sobremordida vertical e a retrusão significativa dos lábios, acompanhada pela diminuição significativa do ângulo nasolabial. No entanto, a recidiva não comprometeu a melhoria significativa em quase todas as variáveis cefalométricas e dento-alveolares, se forem considerados os efeitos globais entre T0 e T2. Sobre a eficácia do tratamento, os autores concluíram que a combinação de ativador com FEO melhorou as condições esqueléticas e dentárias e os resultados permaneceram estáveis a longo prazo.

Al-Kurwi e coautores¹⁸⁸ desenvolveram um ensaio clínico com 28 pacientes com uma idade média de 11,6 anos, que foram sujeitos a um tratamento com ativador do tipo *Van Beek* combinado com FEO durante 9,3 meses (T3). Neste período foram recolhidos dados da sobremordida horizontal e analisadas as correlações entre a redução da sobremordida horizontal, o tempo de uso diário e a duração do tratamento, em três intervalos de tempo (médios) - T1 (3,6 meses), T2 (5 meses) e T3 (9,3 meses). Os autores obtiveram valores medianos de 9,00 mm, no início do tratamento, e de 5,75 mm na terceira consulta (T3), sendo que o tempo médio total de utilização durante o período de avaliação foi de 7,75 ($\pm 3,66$) horas por dia.

Para investigar a redução da sobremordida horizontal em relação aos tempos de uso diário no período de avaliação, a amostra total foi dividida em dois grupos de acordo com a duração de uso diário: inferiores a oito horas (grupo I) e superiores ou

iguais a oito horas (grupo II). Os autores verificaram que o grupo II apresentou reduções da sobremordida horizontal significativamente maiores que o grupo I, entre T1 e T2 (redução média da sobremordida horizontal de 25,40% vs. 10,56%; $p < 0,01$), e entre T0 e T3 (redução média da sobremordida horizontal de 50,00% vs. 27,27%; $p < 0,01$). A duração do período de tratamento com um tempo de uso diário de oito horas ou mais apresentou uma correlação positiva com a redução total da sobremordida horizontal. O subgrupo com um período de tratamento de cinco meses ou mais e com um tempo médio de uso diário de pelo menos oito horas apresentou uma redução significativamente maior da sobremordida horizontal em comparação com o subgrupo com um período de tratamento inferior a cinco meses e com um tempo de uso diário de pelo menos oito horas (48,68% vs. 27,92%, $p < 0,01$). Os autores verificaram também que o período total de tratamento com o ativador de *Van Beek* não se correlacionou com a redução da sobremordida horizontal e com o tempo de uso diário, confirmando a expectativa de que a redução da sobremordida horizontal não pode ser obtida com reduzido tempo de uso diário, mesmo que se trate de um período de tratamento prolongado.

Nas últimas duas décadas também têm sido desenvolvidos alguns estudos sobre o tratamento de más oclusões de Classe II, com o objetivo de comparar os efeitos dentários e esqueléticos do ativador combinado com FEO com o uso do ativador usado isoladamente.

Sari e coautores¹⁸⁹ desenvolveram um estudo em que compararam um ativador combinado com FEO com o aparelho *Jasper Jumper* combinado com FEO (JJ-FEO), ambos com tração occipital, e cuja metodologia incluía também um grupo controle.

O grupo de estudo foi composto por 60 crianças com deficiência mandibular e padrão de crescimento vertical com má oclusão de Classe II: 20 crianças (15 meninas e 5 meninos, idade média de 12,1 anos) foram tratadas com aparelho JJ-FEO incorporado nas placas removíveis superior e inferior; 20 crianças (12 meninas e 8 meninos, idade média de 13,0 anos) foram tratadas com uma combinação de ativadores combinados com a FEO e as outras 20 crianças (11 meninas e 9 meninos, idade média de 12,3 anos), que recusaram o tratamento ortodôntico, serviram como controle. A FEO aplicada foi de 700 g e o tempo médio de tratamento foi de 8,5 meses.

Foram recolhidos os cefalogramas laterais antes e depois do tratamento, e analisados trinta e cinco parâmetros dentários e esqueléticos.

Os resultados evidenciaram a diminuição significativa do ângulo ANB em ambos os grupos de tratamento em comparação com o grupo de controlo. O aumento da altura facial total foi maior no grupo ativador do que no grupo JJ. A inibição do crescimento vertical dos incisivos mandibulares foi maior no grupo JJ. O ativador combinado com a FEO foi mais eficaz na mandíbula, enquanto o aparelho JJ foi principalmente ativo na maxila. Assim, o tratamento com o aparelho JJ-FEO tem indicação preferencial nos casos de pacientes com promaxilia e alguma deficiência mandibular.

*Türkkahrman e Sayin*⁹ desenvolveram um estudo cujo objetivo foi determinar se um ativador e um ativador combinado com FEO estimulam o crescimento mandibular e se há alguma vantagem de um aparelho sobre o outro, ou se as alterações resultantes são devidas ao crescimento normal. A amostra em estudo incluiu quarenta e nove pacientes com má oclusão de Classe II divisão 1, sendo que 33 (13 meninas 20 meninos; idade média $12,52 \pm 1,42$ anos) foram tratados com um ativador de *Andresen* e os 16 restantes (7 meninas, 9 meninos; idade média $13,04 \pm 1,47$ anos) com a combinação de um ativador com a FEO de tração occipital (300-400 g), durante pelo menos 16 horas por dia. Vinte crianças com má oclusão de Classe II (9 meninas, 11 meninos; idade média $12,57 \pm 1,11$ anos) serviram como grupo de controlo. Foram estabelecidos e medidos nove parâmetros angulares, no início e após a conclusão do tratamento.

Os resultados obtidos permitiram concluir que os incisivos maxilares foram mais retraídos no grupo do ativador combinado com a FEO, o que pode ser devido às forças adicionais da FEO, agindo posteriormente na base apical maxilar e nas estruturas alveolares. Os incisivos mandibulares foram também mais controlados no grupo do ativador combinado com a FEO. Não se observaram diferenças significativas nos valores do ângulo interincisivo entre o grupo ativador e o controlo, mas já foram observadas diferenças significativas entre o grupo do ativador combinado e o grupo controlo e na comparação entre os dois grupos experimentais em tratamento. As alterações na posição do lábio inferior também diferiram entre os dois grupos de tratamento, observando-se um maior avanço do lábio inferior no grupo do ativador combinado com a FEO em comparação com o grupo ativador.

Em termos globais, os resultados revelaram efeitos muito semelhantes para os ativadores. De facto, ambos estimularam o crescimento da mandíbula, verificado

através do aumento do comprimento mandibular efetivo, quando comparados com o grupo controlo. Já no que respeita à maxila, o efeito restritivo foi pequeno.

O estudo desenvolvido por Fernandes e coautores¹⁷⁹ em 2010, pretendeu avaliar a eficácia do aparelho *Twin Block* e do aparelho de *Thurrow* na correção de relações de má oclusão de Classe II, através do estudo das alterações esqueléticas e dento-alveolares resultantes dos tratamentos. A amostra de 58 pacientes foi repartida aleatoriamente em três grupos: 19 crianças (12 rapazes e 7 raparigas, com idade média de 9,5 anos) usaram o aparelho *Twin Block*; 19 crianças (10 rapazes e 9 raparigas, com idade média de 10,0 anos) usaram o aparelho de *Thurrow* (com uma FEO de tração occipital aproximada de 400 N); e 20 crianças (13 rapazes e 7 raparigas, com idade média de 9,9 anos) integraram o grupo controlo. Todos os pacientes foram tratados durante um período de 12 meses, tendo sido recolhidos os cefalogramas laterais, no início (T1) e no final do tratamento (T2). Os autores estudaram os valores de 20 medidas cefalométricas lineares e angulares, e avaliaram não somente as diferenças dos grupos de tratamento em relação ao grupo controlo, mas também as diferenças entre os dois grupos *Twin Block versus Thurrow*.

Os autores verificaram que após os 12 meses de tratamento, a maxila foi retruída nos grupos *Twin Block* e *Thurrow* (SNA: *Thurrow* = $-0,7^\circ$, *Twin Block* = $-0,4^\circ$), enquanto no grupo controlo o valor de SNA aumentou (SNA = $1,0^\circ$). O SNB aumentou sem diferenças significativas em qualquer um dos grupos (*Twin Block* = $1,2^\circ$, *Thurrow* = $0,1^\circ$, grupo controlo = $0,9^\circ$), estando de acordo com a literatura relevante. O ANB foi reduzido em ambos os grupos por comparação com o grupo controlo, o que também é corroborado por outros estudos.^{8,187,190}

O valor de ANS-Me apresentou um aumento em ambos os grupos tratados e uma redução no grupo controlo, demonstrando que o desgaste dos blocos posteriores da maxila permitirá a erupção dos molares, o que levará a um aumento extra da altura facial posterior que é favorável em pacientes com mordida profunda.

Relativamente à relação da má oclusão de Classe II, no grupo *Thurrow* esta foi melhorada porque os molares maxilares foram movidos distalmente pela FEO. Já no grupo *Twin Block*, os molares mandibulares moveram-se 1,0 mm mesialmente, demonstrando que este aparelho promove um aumento no comprimento total da mandíbula, bem como da altura facial anterior.

Lall e coautores¹⁹¹ avaliaram as alterações dentárias provocadas pela utilização de um ativador combinado com FEO e de um ativador *Andresen*, por forma a

determinar se seria possível controlar a pro-inclinação dos incisivos mandibulares, que é um efeito colateral do uso de aparelhos funcionais, no tratamento da má oclusão de Classe II. A amostra contemplou 45 pacientes, 15 tratados com cada um dos ativadores e 15 do grupo controlo. A faixa etária variou de 8,2 a 13,3 anos, com média de 10,5 anos. Foram determinadas nove medidas cefalométricas relativas a mudanças dentárias e comparadas entre os três grupos, por forma a avaliar as alterações dentárias maxilares, dentárias mandibulares e as alterações da relação maxila/mandíbula. Os resultados revelaram que tanto o ativador como o ativador combinado com a FEO demonstraram mudanças significativas em comparação com o grupo controlo em quase todas as variáveis medidas. No entanto, foram observadas diferenças significativa nos ângulos U1-NA e L1-NB e no ângulo interincisal entre os grupos de tratamento. Os incisivos maxilares estavam mais retraídos no grupo do aparelho ativador combinado com FEO, o que pode ser explicado devido ao efeito de forças adicionais do aparelho de FEO com tração occipital, que atua posteriormente na base apical da maxila e nas estruturas alveolares associadas. Também foi verificado um melhor controlo da inclinação axial dos incisivos mandibulares no tratamento com esse ativador, que é um efeito desejável para a correção em maior extensão da sobremordida horizontal.

Os resultados levaram os autores a concluir que a combinação de ativador com FEO oferece uma opção melhor em comparação com o ativador usado isoladamente no tratamento das más oclusões esqueléticas de Classe II, especialmente nos casos com incisivos mandibulares proclivados.

Spalj e coautores¹⁹⁰ também compararam os efeitos do tratamento de um ativador combinado com a FEO com tração occipital *versus* os efeitos do tratamento com o ativador *Twin Block* usado isoladamente, sobre as estruturas dentárias e de tecidos moles em indivíduos com má oclusão de Classe II divisão 1.

A amostra incluiu 50 crianças (56% do sexo feminino) com idades entre 8 e 13 anos com má oclusão de Classe II divisão 1, repartidas nos dois grupos de tratamento e um grupo de controlo com 50 casos não tratados de má oclusão de Classe II divisão 1, emparelhados por idade, sexo, ângulo ANB e maturidade esquelética. As crianças com ativador combinado com a FEO foram tratadas durante $14,2 \pm 4,8$ meses, e o grupo de crianças tratadas com o *Twin Block* usaram o ativador durante $15,4 \pm 5,5$ meses. Foram obtidos os cefalogramas laterais, antes e depois do tratamento e foram avaliados e comparados entre os três grupos os valores de 28 variáveis.

Ambos os aparelhos funcionais, *Twin Block* e ativador combinado com FEO, reduziram com sucesso a gravidade da má oclusão de Classe II por uma combinação de alterações dentárias e esqueléticas. Os ângulos SNB e ANB foram significativamente melhorados em ambos os grupos. Todas essas alterações foram significativamente diferentes das alterações do grupo controle não tratado, sugerindo efeito positivo do tratamento com aparelhos funcionais. As únicas variáveis que exibiram diferenças significativas entre os dois aparelhos após o tratamento foram a pro-inclinação e a protrusão dos incisivos mandibulares, mais pronunciados no grupo *Twin Block*, verificando-se também um aumento mais acentuado do comprimento mandibular no grupo do *Twin Block*.

Em termos globais, os autores concluíram que ambos os ativadores contribuíram com sucesso para a correção da má oclusão de Classe II divisão 1, apesar do ativador combinado com a FEO ser a solução que permite um maior controle da dimensão vertical da altura facial anterior inferior das crianças tratadas.

Mais recentemente, *Oh* e coautores¹⁹² desenvolveram um estudo em que compararam a curto e longo prazo, as alterações dento-alveolares, esqueléticas e rotacionais, pelo método estrutural de superposição de *Björk*, entre crianças com má oclusão de Classe II, tratadas com aparelhos funcionais com/sem a FEO, comparando com controles emparelhados não tratados. Foram incluídas 79 crianças pré-púberes ou púberes (média de idade de $11,57 \pm 1,40$ anos) com má oclusão de Classe II, sendo que 34 crianças foram tratadas com ativador combinado com a FEO de tração occipital (Z-ativador), enquanto 28 foram tratadas com ativador sem a FEO (E-ativador) e foram incluídas 17 crianças, não tratadas, como controle. Os cefalogramas laterais dos participantes foram obtidos antes do tratamento (T1), após o tratamento (T2) e após a contenção na fase pós-púbere (T3). As alterações de T1 a T2 e T1 a T3 foram comparadas entre os grupos tratados e o grupo controle, por meio de análise de regressão linear múltipla.

Em relação aos resultados do grupo controle em T2, a relação sagital da mandíbula (subespinhal-pogônio, $p < 0,001$), o prognatismo maxilar (sela-násio-subespinhal, $p < 0,05$) e crescimento condilar ($p < 0,001$) exibiram melhorias significativas nos grupos Z e E-ativador, que também mostraram um aumento significativo da retração dos incisivos maxilares ($p < 0,001$) e uma diminuição da sobremordida horizontal ($p < 0,001$). Os autores verificaram que apenas o grupo E-ativador apresentou rotação significativa da maxila para posterior em T2 ($p < 0,01$),

enquanto esta alteração foi insignificante no grupo Z-ativador. A rotação para posterior da maxila e o desenvolvimento vertical das estruturas alveolares maxilares podem neutralizar o crescimento condilar adicional. As melhorias na relação sagital da mandíbula ($p < 0,01$) e na relação dentária ($p < 0,001$) permaneceram significativas em T3. No entanto, o crescimento condilar e as rotações da mandíbula não foram significativos em T3. Os autores verificaram que, independentemente da remodelação da superfície mandibular inferior, os resultados sugerem que o Z-ativador é indicado quando não é desejável a inclinação labial dos incisivos.

As alterações tridimensionais no maxilar e na mandíbula em crianças com má oclusão de Classe II tratadas com FEO foi avaliada por alguns autores através do MEF.

Gautam e coautores²⁵ e *Maruo* e coautores¹⁹³ avaliaram os efeitos na maxila da utilização de FEO.

O estudo de *Gautam* e coautores²⁵ avaliou os padrões de deslocamento dos ossos faciais a nível biomecânico, em resposta à aplicação de FEO com diferentes trações (tração cervical, tração horizontal e tração occipital), usando o MEF. Para esse efeito, os autores desenvolveram um modelo analítico a partir de imagens sequenciais de Tomografia Computorizada (TC) feitas em intervalos de 2,5 mm a um crânio seco de uma criança de 7 anos.

Os diferentes tipos de tração (tração cervical, tração horizontal e tração occipital) foram simulados com a aplicação de 1 kg de força direcionada posteriormente na região do primeiro molar. Foram avaliados os deslocamentos (em mm) de várias estruturas craniofaciais ao longo das coordenadas x, y e z.

As três aplicações da FEO (tração cervical, tração horizontal e tração occipital) originaram um deslocamento posterior da maxila com rotação no sentido horário do plano palatino, que foi evidenciado pelo movimento inferior do SNA e SNP. Este foi maior para a FEO de tração cervical e menor para a FEO de tração occipital. Todas as estruturas da maxila exibiram deslocamentos laterais com as três diferentes trações, com exceção da borda orbital inferior. Ocorreu um efeito semelhante à expansão rápida palatina com todas trações, sendo a abertura da sutura palatina mediana evidente, mais pronunciada na região anterior e diminuindo progressivamente em direção à região posterior.

Da mesma forma, no plano frontal, a abertura era inferior e diminuída superiormente. O deslocamento distal da maxila foi maior com a aplicação da FEO

com tração horizontal seguida pela tração cervical, enquanto o posicionamento póstero-superior foi maior com FEO com tração occipital.

A aplicação da FEO com tração occipital teve melhor controle nas dimensões verticais. A abertura da sutura palatina mediana foi evidente e mais pronunciada na região anterior. A fossa articular e a iminência articular foram deslocadas lateralmente e póstero-superiormente com cada tipo de aplicação de FEO.

É evidente a partir desses resultados que a direção da aplicação da FEO pode ser um fator crítico na determinação do tipo de alteração do crescimento facial. A aplicação da FEO com tração occipital pareceu mais eficaz na verdadeira restrição do vetor de crescimento maxilar, o que levou os autores a concluir que pode ser usada efetivamente em pacientes com má oclusão de Classe II esquelética, com padrão hiperdivergente, enquanto que a aplicação da FEO com tração cervical e tração horizontal parecem mais apropriados para pacientes com má oclusão de Classe II, com padrões hipodivergentes.

Também o estudo de *Maruo* e coautores¹⁹³ teve como objetivo simular a aplicação da FEO com tração occipital de tração cervical, tração occipital e tração horizontal e analisar as tendências dos movimentos dentários através do MEF.

Para construir a geometria, a região da maxila abaixo do plano palatino e anterior à fossa pterigopalatina do crânio foi reconstruída com base em imagens tomográficas obtidas por TCFC. Os cortes tomográficos foram processados por tecnologia digital, delimitando o osso cortical e esponjoso e as camadas de esmalte, dentina e polpa. Esses limites foram utilizados para gerar uma geometria 3D usando um programa de projeto assistido.

Foi selecionado para este estudo uma paciente com 11 anos e 5 meses que estava a ser tratada com um aparelho de tração combinada. Esta apresentava má oclusão de Classe II, divisão 1, com dentição permanente, com crescimento vertical predominante ($FMA = 31,0^\circ$) e relação esquelética Classe I ($ANB = 1,5^\circ$).

Para simular as forças ortopédico-ortodônticas, foram escolhidos ensaios clínicos com amostras esqueléticas e dentárias de pacientes Classe II em crescimento.

Os autores observaram que, embora as forças tenham sido aplicadas apenas nos primeiros molares, todos os dentes superiores se moveram, principalmente o primeiro e o segundo molar; quando as forças ortopédico-ortodônticas foram reduzidas a forças exclusivamente ortodônticas, as distribuições de movimento foram

semelhantes para as três forças, e as quantidades de movimento foram reduzidas na mesma proporção.

Da comparação quantitativa efetuada dos movimentos entre as diferentes forças, os autores obtiveram os seguintes resultados: A aplicação da FEO com tração horizontal promoveu 37,1 a 41,1%, com tração occipital promoveu 19,1 a 31,9% de distalização relativamente com a tração cervical. Na coordenada x, o aparelho de tração cervical promoveu a maior distalização, tanto no primeiro como no segundo molar.

Na coordenada y, a diferença entre as três forças ocorreu no primeiro molar. O aparelho de tração occipital apresentou a maior intrusão, e o de tração cervical apresentou a maior extrusão do primeiro molar.

Na coordenada z, as três forças promoveram um comportamento semelhante do primeiro molar e um comportamento diferente do segundo molar. No primeiro molar, as três trações promoveram expansão das cúspides mesiais, contração das cúspides distais e limitação dos movimentos nos ápices radiculares.

Em relação ao segundo molar, a aplicação da FEO com tração cervical contraiu a superfície distal da coroa e facilitou o movimento limitado do restante da coroa e raízes dentárias. A aplicação da FEO com tração occipital expandiu as superfícies méso-vestibular e lingual da coroa, o de tração horizontal expandiu a superfície méso-vestibular da coroa e ambas as trações provocaram um movimento limitado do da coroa e raízes do dente.

Em termos globais, os autores concluíram que a aplicação de FEO com tração cervical promove uma maior distalização, seguido da aplicação de FEO com tração horizontal e occipital. Em relação ao primeiro molar, a aplicação de FEO com tração cervical causa maior extrusão e a aplicação de FEO com tração occipital causa maior intrusão. Sobre o segundo molar, a tração cervical causa maior contração do que a tração occipital. Para as três trações, quando as forças ortopédico-ortodônticas foram reduzidas para forças exclusivamente ortodônticas, as distribuições de movimento dos dentes foram mantidas e os seus valores reduzidos na mesma proporção, o que indica que a distribuição do movimento dos dentes depende da direção da FEO e não da magnitude da força aplicada.

*Singh e Clark*¹⁹⁴, *Singh e Thind*¹⁹⁵ e *Ulusoy e Darendeliler*¹⁹⁶ desenvolveram estudos em que se basearam no MEF para avaliar os efeitos tridimensionais na

mandíbula, em crianças com má oclusão de Classe II tratadas com ativadores combinados com a FEO.

*Singh e Clark*¹⁹⁴ estudaram as alterações morfológicas mandibulares em pacientes com má oclusão de Classe II Divisão 1 tratados com aparelhos *Twin-Block*. Para esse efeito digitalizaram 30 pontos de referência mandibulares a partir de cefalografias de 46 crianças (idades 9-11 anos) e 53 adolescentes (idade 12-14 anos), incluindo indivíduos dos dois sexos, com sobremordidas horizontais grandes e oclusões distais com relações esqueléticas de más oclusões de Classes II moderadas a graves. O tratamento do grupo de crianças foi efetuado durante 13 meses e o dos adolescentes, durante 22 meses.

O MEF revelou no caso dos meninos uma área de alometria positiva ($\approx 12\%$) no colo condilar e alometria negativa ($\approx 17\%$) no ápice do processo coronóide; no caso das meninas os aumentos locais foram observados no colo condilar ($\approx 3\%$) e no ápice do processo coronóide ($\approx 4\%$).

Para o grupo de adolescentes, o MEF revelou, no caso dos indivíduos masculinos, alometria positiva acentuada ($\approx 27\%$) no colo condilar e alometria negativa ($\approx 16\%$) no ápice do processo coronóide, e para os indivíduos do sexo feminino, foram detetados aumentos locais de tamanho no colo condilar ($\approx 15\%$), com alometria negativa ($\approx 9\%$) no processo coronóide.

A comparação da alometria condilar, do ramo e do corpo, nos estágios pré-púberes e púberes sugere que o crescimento do corpo tem uma contribuição mais significativa em indivíduos pré-púberes do que em indivíduos púberes. Essa diferença pode refletir o processo natural de remodelação óssea que ocorre no corpo e nas áreas dento-alveolares durante a transição da dentição mista para a permanente. Como seria de esperar, a contribuição do crescimento condilar e a remodelação no ramo parece aumentar durante a fase puberal.

Os resultados obtidos levaram os autores a concluir que as terapias funcionais podem envolver o seguinte processo: modulações de desenvolvimento na cartilagem condilar, remodelação epigenética do ramo e corpo e aposição osteogénica que se estende do corpo da mandíbula para as áreas dento-alveolares. A importância deste último fator está relacionada aos ajustes verticais da oclusão, presumivelmente em resposta aos aumentos observados na altura do ramo.

O estudo de *Singh e Thind*¹⁹⁵ avaliou as diferenças de género, no tratamento de crianças com má oclusão de Classe II com ativador do tipo *Teuscher* combinado com

a FEO. Este estudo retrospectivo recorreu a cefalografias laterais de 31 crianças com idades entre 10 e 14 anos tratadas em um departamento de ortodontia. A média de idade das 21 meninas desta amostra foi de 12 anos e 2 meses ($\pm 1,3$ anos), enquanto os 10 meninos do estudo apresentavam uma média de 12 anos e 5 meses ($\pm 0,9$ anos). Todas os pacientes apresentavam uma sobremordida horizontal grande (7-14 mm) com oclusão distal relacionada com uma relação esquelética moderada a grave de má oclusão de Classe II, e foram tratados consecutivamente pelo mesmo ortodontista. O tempo médio de tratamento para as meninas foi de 11 meses ($\pm 3,4$) e de 12,5 meses ($\pm 3,8$) para os meninos. O critério para a conclusão do tratamento foi a redução da sobremordida horizontal para 2 mm com os primeiros molares permanentes numa relação de Classe I. A análise cefalométrica permitiu quantificar 25 parâmetros relacionados com as alterações de tecidos duros e moles, e os autores utilizaram o MEF para determinar se diferiam as configurações de tecidos duro e mole pré e pós-tratamento.

Os autores verificaram que após o tratamento, tanto para as meninas como para os meninos, o ângulo SNA diminuiu, o SNB aumentou e as alturas faciais inferiores aumentaram significativamente. O MEF revelou grandes aumentos de tamanho (20%) localizados na região intermaxilar, ramo e corpo mandibulares e ao redor das regiões nasal e mentoniana, no caso das meninas. Da mesma forma, no caso dos meninos, observou-se um aumento de tamanho localizado na região intermaxilar que se estendeu para a região nasal e para o corpo mandibular (10-15%), e ao redor do mento (15%). O estudo permitiu aos autores concluir que o tratamento de má oclusão de Classe II com ativador do tipo *Teuscher* combinado com FEO origina efeitos equivalentes nos pacientes dos sexos feminino e masculino, ambos exibindo contenção ântero-posterior da maxila, melhorias na posição sagital da mandíbula mantendo a altura facial e alterações labiais com as consequentes melhorias nos tecidos moles.

*Ulusoy e Darendeliler*¹⁹⁶ simularam os efeitos na mandíbula do ativador combinado com a FEO *versus* o ativador, no tratamento da má oclusão de Classe II utilizando para o efeito o MEF. Foi realizado um modelo 3D da mandíbula (a partir do TCFC de uma mandíbula humana) semelhante às condições *in vivo*, e um modelo 3D da parte inferior do ativador de Classe II bem como a sua fixação ao modelo mandibular. Além disso, uma FEO de 350 g foi aplicada e dirigida para o côndilo, para simular o ativador de Classe II combinado com a FEO. Os autores definiram condições

experimentais para as propriedades físicas dos segmentos ósseos corticais e trabeculares e utilizaram dados experimentais previamente estabelecidos para a definição das propriedades elásticas dos materiais, vetores de força muscular 3D, propriedades mecânicas das estruturas mandibulares, ângulos dos músculos mastigatórios, forças musculares em máxima intercuspidação, forças musculares em protrusão e forças passivas musculares.^{197,198}

O MEF foi então utilizado para investigar as regiões de tensão produzidas na mandíbula pelos músculos mastigatórios em posição de repouso, pelo ativador e pelo ativador combinado com a FEO. Os autores também calcularam as distribuições/áreas de tensão de *von Mises* no lado médio e lateral da mandíbula e as regiões de tensão nos dentes. Os autores concluíram que: ambos os ativadores produziram maiores tensões no corpo mandibular do que na região condilar; a face anterior e medial do processo coronóide foi a região onde se verificou mais tensão e os valores máximos de tensão foram encontrados nas regiões de inserção muscular; e os valores da tensão equivalente de *von Mises* foram semelhantes para ambos os ativadores. Neste estudo, os autores destacaram:

- ✓ A influência do tipo e do número de elementos na precisão dos cálculos pelo método de elementos finitos;
- ✓ A vantagem de usar MEF-3D sobre o método 2D, já que permite uma simulação mais precisa das regiões de tensões internas que são formadas em materiais sólidos;
- ✓ Adicionalmente, evidenciaram a importância da inclusão das forças geradas pelos músculos mastigatórios no modelo experimental.

Resumindo e atendendo aos estudos desenvolvidos nas últimas duas décadas no tratamento da má oclusão de Classe II com o ativador e o ativador combinado com a FEO, apesar de algumas alterações esqueléticas e dento-alveolares serem equivalentes, verifica-se uma mais-valia na utilização do ativador combinado com a FEO, particularmente, quando a limitação do crescimento maxilar e a distalização dos dentes maxilares são essenciais. Nessas circunstâncias, destaca-se o ativador combinado com a FEO pela melhoria no prognatismo mandibular e pelo controlo dos efeitos verticais indesejáveis.

1.6.2. Efeitos tridimensionais na articulação temporomandibular dos aparelhos funcionais no tratamento da má oclusão de Classe II

A terapia com aparelhos funcionais combinados com FEO em pacientes com má oclusão de Classe II em crescimento tem como principal objetivo restringir ou limitar o crescimento maxilar e aumentar o prognatismo mandibular sem gerar um efeito prejudicial na altura facial.^{183,186,188,196}

Diversos estudos cefalométricos têm avaliado os efeitos esqueléticos de diferentes tipos de aparelhos funcionais, no entanto, apesar da sua importância, os efeitos 3D na mandíbula e articulação temporomandibular (ATM) ainda não foram totalmente elucidados. Os métodos cefalométricos convencionais bidimensionais (2D) tentam estimar a extensão do crescimento condilar na direção do crescimento, medindo o avanço mandibular indiretamente através das alterações na posição da mandíbula (SNB) e das distâncias Co-Gn.^{8,187,190,192}

A importância de se avaliarem os efeitos 3D na ATM que ocorrem simultâneos à protrusão mandibular levou alguns autores a desenvolverem estudos, com este objetivo específico.

Hägg e coautores¹⁹⁹ desenvolveram um estudo cujo objetivo foi comparar os efeitos com diferentes tipos de tratamento no crescimento condilar e no posicionamento da mandíbula, em três grupos de pacientes. Um grupo com aparelho funcional fixo versus ativador combinado com FEO, outro grupo com uma mordida construtiva alta versus mordida construtiva baixa e um terceiro grupo com avanço mandibular máximo versus o avanço gradual da mandíbula. Os grupos de pacientes, com 11,9, 11,2 e 13,2 anos, foram tratados durante 12 meses, respectivamente, com: um ativador combinado com FEO com avanço mandibular gradual (HGA-S; FEO de 350 g), um ativador de *van Beek* com avanço máximo da mandíbula (HGA-M; FEO de 500 g) e um aparelho de *Herbst* combinado com a FEO com avanço gradual (HGH-S; FEO entre 400-500 g). Um quarto grupo de controle foi utilizado para avaliar os efeitos do tratamento. Os cefalogramas laterais foram obtidos no início, após cerca de 6 meses (T1), e após cerca de 12 meses (T2) de tratamento. As variáveis utilizadas na análise das alterações sagitais e verticais foram o prognatismo mandibular, a altura facial inferior, os movimentos verticais dos primeiros molares permanentes e incisivos mandibulares e os ângulos dos planos maxilar e mandibular. Os autores verificaram que o prognatismo mandibular aumentou após o avanço gradual, mas não após o avanço máximo, e apenas durante a fase inicial da terapia. O efeito foi

significativamente maior para o aparelho funcional fixo do que para o aparelho funcional removível. A altura facial inferior foi aumentada pelo HGA-S, inalterada pelo HGA-M e restringida pelo HGH-S. A mordida construtiva baixa do HGH-S significa que a extensão da aposição óssea nas partes posterior e superior do côndilo foi semelhante, enquanto a mordida construtiva alta do HGA-S e do HGA-M significa que o efeito na parte superior foi maior, mas apenas significativamente após o avanço gradual. Este resultado evidencia que a remoção precoce de um aparelho funcional não permite que o novo osso condilar amadureça e que o ganho ósseo não é totalmente mantido. Em contrapartida, o uso prolongado de um aparelho funcional resulta no ganho permanente de osso condilar recém-formado e, conseqüentemente, a duração do tratamento ativo parece ser um fator crucial para alcançar um efeito pronunciado e duradouro.

Em termos globais, os autores concluíram que o tipo de avanço, o aumento da mordida vertical e a tipologia do aparelho funcional - fixo ou removível – afetam não só a quantidade e o padrão de crescimento condilar, mas também a posição da mandíbula, destacando os bons resultados do aparelho de *Herbst* combinado com a FEO com avanço gradual.

Um estudo desenvolvido por *Chavan* e coautores²⁰⁰, em pacientes com má oclusão de Classe II esquelética tratados com aparelhos *Twin Block* e *Bionator*, avaliou as alterações da ATM, especialmente a relação disco-côndilo-fossa. O tratamento decorreu num período de seis meses e incluiu três grupos de 10 pacientes, com idades compreendidas entre 9 e 14 anos. O grupo *Twin Block* com 6 meninos e 4 meninas, e idade média de 12,5 ($\pm 1,5$) anos, o grupo *Bionator* com 4 meninos e 6 meninas, e idade média de 1,5 ($\pm 1,6$) anos e um terceiro grupo controlo com 3 meninos e 7 meninas, e idade média de 12 ($\pm 1,8$) anos. Para estudar as alterações da ATM, foram obtidas imagens através de ressonância magnética, antes e depois do tratamento, e analisadas as medidas da concentricidade sagital e da posição sagital do disco. Após seis meses de tratamento, os valores da concentricidade sagital permitiram verificar a ocorrência de mudanças estatisticamente significativas na posição do côndilo, entre o grupo controlo e o grupo *Twin Block*, e entre o grupo controlo e o grupo *Bionator*. A comparação entre os valores médios antes e após seis meses em cada grupo mostrou uma diferença estatisticamente significativa para o grupo *Twin Block* ($3,7 \pm 2,3$ vs. $18,7 \pm 10,3$) e *Bionator* ($7,7 \pm 4,4$ vs. $19,1 \pm 11,5$), mas

não foi observada nenhuma diferença significativa no grupo controle ($6,9 \pm 5,1$ vs. $6,7 \pm 4,9$).

A avaliação por ressonância magnética da posição sagital do disco mostrou uma diferença bastante significativa entre o grupo controle ($11,2 \pm 9,9$ vs. $8,6 \pm 10,9$) e o grupo *Twin Block* ($21,2 \pm 9,3$ vs. $1,8 \pm 0,2$) e o grupo controle e o grupo *Bionator* ($15,5 \pm 11,6$ vs. $-0,9 \pm 0,5$). Os valores da posição sagital do disco pré-tratamento e após seis meses de tratamento entre os três grupos não foram estatisticamente significativos. A comparação entre os valores médios antes e após seis meses não mostrou diferença significativa para os três grupos. No entanto, os grupos *Twin Block* e *Bionator* mostraram diferenças estatisticamente significativas na posição sagital do disco entre os valores pré-tratamento e após seis meses, com uma diminuição dos valores nesse período no grupo do *Twin Block* e no grupo do *Bionator*. Estes resultados comprovam o movimento posterior da posição inicial do disco, tendo esta alteração ocorrido dentro da faixa fisiológica.

Em termos globais, os autores concluíram que no final de seis meses de tratamento, os côndilos ocupavam uma posição mais anterior na fossa em relação à sua posição prévia ao tratamento. O disco moveu-se mais posteriormente em relação ao côndilo nos grupos em que foram efetuados tratamentos com o *Twin Block* e o *Bionator*. No entanto, esta alteração pode ser justificada pela movimentação do côndilo mais anteriormente pela terapia com estes aparelhos. Apesar dos resultados, os autores ressaltam que são necessários mais estudos com ressonâncias magnéticas a longo prazo para avaliar as alterações observadas na posição do côndilo e do disco na fossa e as suas subseqüentes adaptações no pós-tratamento com o uso de aparelhos *Twin Block* e *Bionator*.

Os estudos desenvolvidos por *Elfeky* e coautores²⁰¹ avaliaram também as alterações tridimensionais esqueléticas, dento-alveolares e temporomandibulares produzidas pelo aparelho funcional *Twin Block*, num grupo de pacientes com má oclusão de Classe II.

O grupo de tratamento com *Twin Block* incluiu 18 meninas, com idades entre 10-13 anos, que foram aconselhados a utilizar o aparelho durante 24 horas por dia. O grupo controle incluiu 18 pacientes com o mesmo intervalo de idades. A fase funcional durou $9,4 \pm 1,33$ meses e o período de observação para o grupo controle foi de $8,12 \pm 2,72$ meses. Os pontos de referência tridimensionais esqueléticos, dento-alveolares e temporomandibulares foram identificados nas imagens de TCFC.

Em comparação com as alterações induzidas pelo crescimento normal, após o tratamento verificou-se que o comprimento efetivo da mandíbula, ramo e comprimento do corpo aumentaram significativamente em 3,19, 3,47 e 2,69 mm, respetivamente. A inclinação e a posição dos incisivos maxilares e mandibulares foram significativamente reduzidas e aumentadas, respetivamente. Os primeiros molares maxilares foram significativamente deslocados distalmente e intruídos em 1 e 0,36 mm, respetivamente, enquanto os primeiros molares mandibulares moveram-se mesialmente e foram intruídos em 2,18 e 0,59 mm, respetivamente.

Os resultados do efeito do *Twin Block* nos componentes ósseos da ATM e espaços articulares mostraram uma mudança significativa nas dimensões condilares, nomeadamente no aumento em comprimento, largura e altura em 1,28, 0,88, 1,59 mm na ATM direita e em 1,60, 0,53 e 1,10 mm na ATM esquerda, respetivamente. Houve um significativo posicionamento anterior do côndilo direito e esquerdo em 1,5 e 1,3 mm, respetivamente. Essa alteração dimensional e posicional dos côndilos resultou em uma diminuição líquida dos espaços articulares anteriores (0,77 e 0,84 mm no lado direito e esquerdo, respetivamente) e medial (0,65 e 0,67 mm no lado direito e esquerdo, respetivamente), e um aumento líquido dos espaços articulares posteriores (0,80 e 1,11 mm no lado direito e esquerdo, respetivamente) e superior (0,79 e 0,90 mm no lado direito e esquerdo, respetivamente).

Em termos globais, os autores verificaram que o tratamento com o aparelho funcional *Twin Block* resulta em alterações esqueléticas, dento-alveolares e condilares significativas, tanto em termos dimensionais como posicionais.

Gazzani e coautores²⁰² avaliaram os efeitos tridimensionais da resposta maxilo-mandibular e dentária, resultantes do tratamento com dois aparelhos funcionais - *Bionator* de *Balters (BB)* e *Sander Bite Jumping Appliance (SBJA)* em crianças com má oclusão de Classe II divisão 1.

O estudo retrospectivo incluiu no total 27 pacientes, 9 meninas e 7 meninos (10,1 ± 1,6 anos) sido tratados consecutivamente com BB e 11 pacientes, 5 meninas, e 6 meninos (11 ± 1,9 anos) sido tratados com SBJA. As tomografias computadorizadas já estavam disponíveis no início do tratamento (T1) e imediatamente após a remoção dos aparelhos funcionais (T2), com intervalo médio de 18 meses entre os dois tempos de observação (BB 18 ± 3 meses, SBJA 17,5 ± 2 meses).

Não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos, tanto para a idade cronológica em T1 e T2, como para os intervalos de observação, para a distribuição de género, ou para as taxas de prevalência dos diferentes estágios de maturação vertebral cervical. Não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos em nenhuma das variáveis em T1.

Para as alterações entre T1-T2 também não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos para qualquer uma das variáveis, com exceção dos deslocamentos dos molares maxilares e mandibulares que foram significativamente maiores no grupo SBJA do que no grupo BB (1,2 e 0,9 mm, respetivamente). Ambos os grupos apresentaram crescimento maxilar e mandibular para baixo e para frente medidos nos pontos A e Pog. O crescimento mandibular foi notavelmente variável e predominantemente vertical. O crescimento mandibular para a frente também foi semelhante nos dois grupos. As alterações ao longo do comprimento total da mandíbula (Co-Pog) também foram maiores na direção descendente do que na direção anterior, com crescimento acentuado do ramo. Não foi observada abertura do plano mandibular, em qualquer um dos grupos.

Os autores concluíram que as respostas de crescimento maxilo-mandibular e dentário às terapias com BB e SBJA são caracterizadas pelo crescimento vertical do ramo e o alongamento da mandíbula que têm como resultado a melhoria da relação maxilo-mandibular com um controlo adequado da posição dos incisivos mandibulares.

Jiang e a coautores²³ avaliaram a eficácia de um método tridimensional no estudo das alterações da ATM durante o tratamento com o ativador *Twin Block*. Para esse efeito, os autores selecionaram uma amostra de 17 pacientes com má oclusão de Classe, divisão II (9 meninos e 8 meninas, com $11,77 \pm 1,26$ anos) tratados com *Twin Block* e um grupo de nove pacientes (4 meninos e 5 meninas, com $10,80 \pm 0,80$ anos) não tratados com má oclusão semelhante, como grupo controlo. Foram realizados TCFC no início (T0) e 8 meses (T1) após o tratamento. Os autores realizaram uma análise quantitativa dos dados, através de testes estatísticos, nomeadamente do teste não paramétrico *Tank-sum* e do teste *t-Sudent* para variáveis com distribuição normal; e uma avaliação qualitativa das modificações esqueléticas cêndilo-fossa, usando sobreposições de mapas codificados por cores.

Não se observaram diferenças significativas no volume condilar entre o *Twin Block* e grupo controlo em T0, mas detetaram diferenças significativas no volume condilar entre T0 e T1 para ambos os grupos. Da mesma forma, não se registaram

diferença significativas na área superficial condilar entre o *Twin Block* e o grupo controlo em T0, mas observaram-se diferenças significativas no parâmetro entre T0 e T1 para ambos os grupos. As avaliações quantitativas do aumento absoluto do volume condilar e da área superficial no *Twin Block* e no grupo controlo, tendo em conta a idade, mostram diferenças significativas nessas medidas entre os dois grupos, após oito meses.

Relativamente aos parâmetros, Espaço Articular Anterior (AJS), Espaço Articular Posterior (PJS) e ao Índice de Espaço Articular (JSI), não foram observadas diferenças significativas no AJS e JSI ($p = 0,221$) após oito meses no grupo controlo, o que indica que o côndilo no grupo controlo alcançou uma posição estável após esse tempo. No entanto, a PJS no grupo controlo foi significativamente reduzida após oito meses. Foram observadas diferenças significativas no AJS, PJS e JSI após 8 meses com *Twin Block*, indicando que, após esse tempo, o côndilo não estava numa posição mais avançada.

A análise qualitativa mediante as sobreposições condilares indicou modificações mais evidentes nas direções posterior e superior das sobreposições condilares com *Twin Block* do que no grupo controlo. As sobreposições da fossa glenóide esquerda e direita indicaram que as modificações decorridas na fossa glenóide com *Twin Block* foram no sentido da adaptação à alteração condilar.

De forma genérica, o método 3D utilizado para medir e avaliar as alterações da ATM causadas pelo tratamento *Twin Block* mostrou um aumento do tamanho condilar e das alterações posicionais condilares. Estes resultados vão ao encontro de outros autores, nomeadamente *Elfeky* e coautores,²⁰¹ que observaram aumentos nas dimensões condilares (comprimento, largura e altura) e do posicionamento anterior do côndilo direito e esquerdo.

Em um estudo recente desenvolvido por *Fan* e coautores²⁰³ utilizando a TCFC, estudaram-se os efeitos esqueléticos produzidos pelo aparelho de *Herbst* na mandíbula de pacientes com má oclusão de Classe II. O estudo incluiu 20 pacientes (6 meninos e 14 meninas), com idades médias de 12,76 anos ($\pm 0,89$), tratados com um aparelho de *Herbst* durante cerca de oito meses, seguido por um período de utilização de um aparelho fixo durante cerca de dois anos. Os autores não incluíram um grupo de controlo, mas compararam o crescimento observado para os pacientes com um modelo de crescimento mandibular normal, que consistia num grupo de pacientes saudáveis de base populacional, não tratados, com uma variedade de

classificações oclusais (Classes I, II, III). As imagens de TCFC foram obtidas no pré-tratamento (T1), oito semanas após a conclusão da fase de *Herbst* (T2) e após os aparelhos fixos terem sido removidos (T3). De modo a assegurar que as alterações morfológicas eram medidas nos mesmos pontos entre os diferentes pacientes, os autores utilizaram uma estratégia de mapeamento automático, de modo que cada um dos 17.415 pontos definidos na mandíbula de um paciente correspondesse a um ponto anatomicamente semelhante nos outros pacientes.

Os autores observaram que as alterações morfológicas mandibulares médias de T1 a T2 no grupo *Herbst* foram maiores para os côndilos, seguidos pelo osso dento-alveolar e mento. As mudanças naturais de crescimento ocorreram de maneira semelhante, mas em menor grau. Entre T1-T2, foram observadas aproximadamente 1,5 a 2 mm a mais de alteração condilar (aumento do comprimento mandibular) e 0,5 mm a mais de protrusão do mento, apesar desta última alteração não ter significância estatística. Esse efeito persistiu até ao término do tratamento (T1-T3), mas não foi observado nenhum efeito esquelético adicional durante a fase ortodôntica do tratamento (T2-T3). Os resultados indicam uma verdadeira estimulação da aposição óssea nos côndilos que pode ajudar a maximizar o efeito esquelético, gerando substancialmente mais crescimento na dimensão sagital.

Apesar dos resultados, os autores referem que apenas poucos pacientes apresentaram incrementos nas alterações condilares superiores a 1,5 mm, sendo que a maioria dos casos mostrou alterações relativamente pequenas, que dificilmente alteram a forma da mandíbula de modo clinicamente significativo.

A dificuldade em obter resultados com maior significado clínico ocorre, com frequência, em estudos retrospectivos, uma vez que é muito complexo obter um grupo de controlo padronizado, em particular na determinação com precisão, do tempo de acompanhamento. Esta seleção é fundamental, uma vez que as alterações morfológicas durante cada um dos períodos de observação contêm tanto crescimento normal como alterações devidas ao tratamento.

O MEF é uma técnica que tem vindo a ser cada vez mais utilizada na última década, na área da ortodontia. Apresentando-se como uma mais-valia na avaliação dos efeitos dento-esqueléticos de aparelhos funcionais na ATM em pacientes com má oclusão de Classe II.²⁰⁴⁻²⁰⁶

Gupta e coautores^{204,205} aproveitaram as vantagens do MEF 3D para avaliar os padrões de geração de tensões na ATM após a propulsão mandibular. Os autores

utilizaram um modelo analítico da ATM e dos ossos adjacentes, desenvolvido a partir das imagens de ressonância magnética de um menino de 12 anos, que apresentava uma relação esquelética de má oclusão de Classe II com mandíbula retrognática e padrão de crescimento favorável (ANB 8°; FMA, 24°; relação de altura facial posterior vs. anterior, 65%). Num primeiro estudo, os autores simularam a propulsão mandibular, com 5 mm de avanço sagital e 4 mm de abertura vertical, e avaliaram as distribuições de tensões no colo condilar, na fossa glenóide e no disco articular nas direções ântero-posterior e medio lateral.²⁰⁴

Os resultados apontam que as tensões de tração se localizavam nas zonas póstero-superiores e na região posterior da fossa glenóide perto da inserção dos tecidos conjuntivos. Por outro lado, as tensões de compressão foram detetadas na face anterior e ântero-superior da cabeça do côndilo. Os autores justificam estes resultados indicando que na protrusão mandibular o côndilo experimenta tensões de tração no sentido póstero-superior que podem ajudar a explicar o crescimento condilar nessa direção. Da mesma forma, na fossa glenóide são criadas tensões de tração na região dos tecidos conjuntivos posteriores, que podem estar correlacionadas com o aumento da atividade celular nesta região.²⁰⁵ Já no segundo estudo, os autores aplicaram condições muito equivalentes, apenas alterando a abertura vertical para 2 e 6 mm, com o objetivo de avaliar os efeitos decorrentes da variação da altura da mordida construída. Os resultados indicaram que com o aumento da altura da mordida as tensões de tração migraram mais posteriormente na cabeça do côndilo. No entanto, as localizações das tensões de tração na fossa glenóide mantiveram-se na área de fixação dos tecidos conjuntivos posteriores e foram semelhantes em todas as simulações. A ATM, como um todo, apresentou carga aumentada com o incremento das aberturas verticais. Este estudo indica que o aumento da altura da mordida construtiva pode proporcionar padrões de tensão mais favoráveis na ATM, melhorando assim a resposta condilar aos aparelhos funcionais. No entanto, os resultados precisam de ser investigados num modelo animal e em humanos antes de se poderem projetar as implicações clínicas.

Um outro estudo desenvolvido por *Shrivastava* e coautores²⁰⁶ utilizou também o MEF 3D para avaliar os padrões distribuição das tensões na ATM durante a propulsão mandibular, mas com diferentes amplitudes de avanços horizontais e altura vertical da mordida construtiva constante. Os autores desenvolveram um modelo tridimensional a partir da ressonância magnética de um menino em crescimento (12

anos), com mandíbula retrognática e sobremordida horizontal de 8 mm. Foram registados, magnitudes e padrões das tensões com abertura vertical constante de 5 mm e avanços sagitais de 0 mm (HA1), 5 mm (HA2) e 7,5 mm (HA3).

Os autores verificaram que a magnitude das tensões aumentou com os avanços da mordida sagital, apesar da direção das tensões ter sofrido algumas alterações para avanços maiores. Na HA1, a parte anterior do côndilo, bem como a fossa glenóide, sofreram tensões compressivas e foram experimentadas pelas partes superior e posterior do côndilo tensões de tração leves. Para um avanço sagital de 5 mm (HA2), foram observadas tensões de tração na face póstero-superior e medial do côndilo e tensões de compressão na face ântero-superior e lateral. Na fossa glenóide, foram evidentes tensões de tração na face posterior com tensões compressivas na zona articular. Com o aumento do avanço da mordida, mediante HA3, as tensões de tração deslocaram-se para uma direção mais posterior tanto no côndilo como na fossa glenóide, reduzindo assim os efeitos favoráveis do aparelho funcional, situação que os autores indicam poder acontecer devido aos grandes avanços da mordida. Nessas circunstâncias, as tensões podem ultrapassar os limiares fisiológicos de tolerância em comparação com avanços de mordida menores ou incrementais.

Em termos globais, este estudo indica que maiores avanços horizontais das mordidas construídas podem não ser favoráveis aos tecidos da ATM, justificando a necessidade de se desenvolverem mais estudos em modelos animais.

*Recentemente, Zhu e coautores*²⁰⁷ desenvolveram um estudo de um caso em que efetuaram a avaliação biomecânica dos padrões da distribuição das tensões geradas por um aparelho funcional recentemente desenvolvido, *Advanced Mandibular Spring* no crescimento mandibular, utilizando o MEF 3D. Os efeitos mecânicos do AMS foram analisados em três tipos de modelos, incluindo a posição postural mandibular (T1), o avanço mandibular com AMS para Classe II (T2) e o avanço mandibular apenas com força muscular (T3). O objetivo de incluir o T3 para comparação foi servir como uma estimativa do *stress* fisiológico para verificar a segurança do AMS como um novo aparelho.

A análise por MEF foi dividida em duas etapas. Em primeiro lugar, foi construído um modelo do alinhador dos dentes para obter a força e o momento equivalentes no osso alveolar com carga do AMS. Em segundo lugar, foi elaborado um modelo crânio-maxila-mandíbula-ATM para investigar os efeitos mecânicos do AMS na ATM.

Os autores verificaram que após a utilização do AMS, as tensões foram distribuídas nos alinhadores e no ligamento periodontal. O ligamento periodontal foi submetido a uma tensão menor do que os alinhadores. Nos dentes anteriores superiores, a tensão compressiva foi no 1/2 apical labial e no 1/2 cervical palatino, enquanto a tensão de tração foi 1/2 cervical labial e 1/2 apical palatino, levando os dentes a inclinarem-se para lingual. Da mesma forma, os dentes posteriores superiores inclinaram-se distalmente. A alteração ântero-posterior da dentição mostrou uma tendência de movimento para posterior dos dentes maxilares e uma tendência de movimento para frente dos dentes mandibulares.

A distribuição da pressão no côndilo mostrou, que na posição postural mandibular, as faces superior e posterior sofreram uma pressão de cerca de 0,1 MPa, enquanto com a utilização do AMS a pressão foi reduzida para quase zero. Na face anterior, a distribuição das tensões tornou-se mais uniforme na direção medio lateral e a deformação ântero-posterior da mandíbula mostrou potencial de crescimento para trás do côndilo. Os resultados no disco mostraram que a área sujeita à tensão de compressão foi reduzida e a distribuição de tensão tendeu a ser uniforme com a utilização do AMS.

Na fossa glenóide, a parte posterior sofreu uma leve tensão de tração na posição postural mandibular, e, com a utilização do AMS, foi também gerada uma tensão de tração, neste caso de 0,05-0,1 MPa.

Em T3, ou seja, quando a mandíbula foi avançada apenas com a força muscular, verificou-se que a distribuição da tensão com a força muscular foi semelhante à do AMS na região da ATM, incluindo o côndilo, o disco e a fossa. Conclui-se que o AMS não causou uma carga adicional aos tecidos e resultou em mudanças de tensão na ATM, incluindo a diminuição da força na face posterior e superior do côndilo, tornando a face anterior do côndilo e o disco articular uniformemente afetados e gerando uma tensão de tração na fossa glenóide. O AMS criou um ambiente biomecânico favorável para o crescimento mandibular em adolescentes com retrognatía mandibular, constituindo uma alternativa a outros aparelhos funcionais.

Os vários estudos²⁰⁴⁻²⁰⁷ anteriormente apresentados nesta área destacam a importância de se desenvolverem mais experiências *in vitro* e também *in vivo*, para elucidar a verdadeira natureza anisotrópica e não linear de tecidos complexos, como o osso, a cartilagem, o tecido conjuntivo, entre outros. Por um lado, aplicando-se

modelos de elementos finitos, anatómica e funcionalmente precisos, para estudar as tensões resultantes e obter informações mais confiáveis sobre as magnitudes das tensões na ATM e as alterações tecidulares correspondentes. Por outro lado, desenvolvendo-se estudos em pacientes com TCFC e que incluam amostras de maior dimensão e grupos controlo, bem definidos, emparelhados por idade, por sexo, maturidade esquelética e tipo de má oclusão.

1.7. Avaliação facial 3D

1.7.1. Recursos tecnológicos atuais em Ortodontia

A digitalização, como recurso diagnóstico, entrou no quotidiano dos profissionais de saúde na generalidade e, em particular, na Ortodontia. A migração para a era digital implica o conhecimento dos recursos básicos bem como as respetivas aplicações.

Começando pelo *Computer-Aided Design / Computed-Aided Manufacturing* (CAD/CAM), este representa sistemas computacionais que facilitam o projeto e desenho técnicos e a jusante a processo de produção. Apesar da imensa diversidade de aplicações, a tecnologia CAD/CAM tem tido uma penetração relativamente lenta no mercado justificado pelo encargo económico, mas principalmente pelo facto de, em Ortodontia, para o diagnóstico e no planeamento do tratamento, ser necessário a digitalização da anatomia individual de cada paciente. Em contrapartida, na indústria o sistema é diferente, uma vez que os trabalhos já nascem de forma digital. Esta tecnologia pode descrever-se em três fases: aquisição (*input*), processamento e produção (*output*).¹³⁸

Nos sistemas de aquisição de dados, em Ortodontia, recorre-se à chamada engenharia reversa, já que se parte do volume representado pela anatomia do paciente e, de seguida, procura-se obter o modelo digital com um sistema de coordenadas. Aqui coexistem dois sistemas principais de aquisição, volumétrica e de superfície. Na aquisição volumétrica captura-se todo o volume de uma determinada peça, seja através de TCFC, tomografia médica helicoidal, ressonância magnética ou ultrassonografia. Já na aquisição superficial, esta poderá ser por aquisição por contacto ou sem contacto, de superfície ativa, através de digitalização a laser ou com luz estruturada ou fotografia 3D.¹³⁸

De entre todos estes sistemas, destaca-se aqui a fotografia 3D que representa um subtipo de *scanner* 3D utilizado para digitalizar a face. Além dos dados de geometria, permite o registo a cores de cada ponto, copiando a textura superficial. Permite digitalizar a face recorrendo a iluminação estruturada ou recolha de múltiplas imagens, mas sem emissão de radiação X. De entre estas técnicas existe a fotometria estereoscópica passiva e ativa. Esta última, além dos pressupostos da fotometria estereoscópica passiva, que utiliza quatro câmaras posicionadas em angulações distintas e com uma distância ponto focal conhecido e em que as imagens são aptadas em simultâneo, adicionalmente lança uma luz branca sobre o objeto que reduz os problemas relacionados com a falta de iluminação. Estes sistemas geram uma nuvem de pontos que representa o volume do objeto.¹³⁸

Finalmente a renderização permite obter o produto final a partir do processo de digital de conversão.¹³⁸

1.7.2. Evolução dos recursos tecnológicos de imagiologia em Ortodontia

Do processo clínico ortodôntico convencional, no que respeita a imagiologia, fazem parte a radiografia panorâmica, a telerradiografia facial em incidência de perfil e pósterio-anterior e ocasionalmente um conjunto de radiografias intraorais. A cefalometria, que tem origem na craniometria antropométrica, desenvolveu-se há cerca de quatro décadas após a descoberta de Roentgen em 1895. Deve-se a *Broadbent*,²⁰⁸ em 1931, a introdução na Medicina Dentária, da “roentgenografia cefalométrica”, através da elaboração de um método de obtenção de filmes cefalométricos padronizados, que levou ao desenvolvimento de inúmeras análises cefalométricas. Os exames realizados através desta metodologia foram o alicerce da investigação clínica e do estudo do crescimento craniofacial, do estudo do desenvolvimento, efeitos e resultados do tratamento, bem como do respetivo prognóstico.¹³⁸

Apesar da sua ampla utilização, os erros inerentes à cefalometria convencional são bem conhecidos e documentados, estando associados à ambiguidade na localização de estruturas anatómicas. *Macri e Athanasious*²⁰⁹ mostraram que a recolha manual de dados e o respetivo processamento da análise cefalométrica têm uma exatidão e precisão muito baixas. Nomeadamente, o pórtion, ponto fundamental na

definição de planos de referência, não se consegue localizar de forma precisa e consistente nas telerradiografias de perfil.²¹⁰

Quanto à radiografia panorâmica, apesar das suas enormes debilidades, usa-se de forma sistemática. De facto, são várias as deficiências relacionadas com a confiabilidade no que respeita ao tamanho, à localização e à forma das imagens criadas que são devidas à região focal, de acordo com a forma e tamanho genéricos pré-definidos da mandíbula. Permite avaliar de forma genérica a simetria mandibular, a existência de supranumerários ou agenesias, idade e sequência eruptiva dentária, o estado da saúde periodontal, os seios maxilares, o paralelismo radicular e as articulações temporomandibulares.^{138,208}

As imagens tridimensionais foram introduzidas na Ortodontia através da tomografia computadorizada helicoidal *multislice* da imagiologia médica. Por motivos económicos e de exposição de radiação, só em casos muito particulares a tomografia médica era usada em Ortodontia. Em 1998, a TCFC foi introduzida através do lançamento no mercado do *scanner* para TCFC, *Newton QR-DVT 9000* (Verona, *Italy*). Muitas imagens bidimensionais simples são captadas em ângulos pré-definidos durante uma única rotação isométrica da fonte de raios X/unidade de sensor. Estas imagens são depois reconstruídas de forma especializada em 3D, através de algoritmos complexos. Muitas vezes, estas projeções de volumes são referidas como “imagens 3D” o que tecnicamente é um equívoco, já que do ponto de vista do ecrã do computador, são planas e não holográficas. Apesar disso, esta “imagem 3D” proporciona várias vantagens relativamente ao padrão 2D das radiografias convencionais, nomeadamente: a representação tridimensional dos dentes e das estruturas craniofaciais; as imagens personalizadas reformatadas, que oferecem melhor perspectiva de visualização; as imagens ortogonais que não contêm erros de tamanho ou a projeção de artefactos; a manipulação adequada das sobreposições; e a interoperacionalidade do formato DICOM (*Digital Imaging and Communication in Medicine*), dados que se podem utilizar em outros diagnósticos e aplicações e uma exposição a radiação similar à utilizada noutras radiografias médico-dentárias.¹³⁸

Huang e coautores²¹¹ evidenciaram as vantagens da análise 3D em Ortodontia. São elas a análise em detalhe do esqueleto craniofacial, da dentição, do perfil facial, da ATM, dos seios aéreos e das vias respiratórias. Quanto às inter-relações estruturais, permite a análise da relação do côndilo com a oclusão e o suporte da

dentição no que respeita a posição labial, e ainda fazer sobreposição de volumes de dados.

Este novo recurso vem proporcionar uma nova compreensão sobre o crescimento, o desenvolvimento, os efeitos e resultados do tratamento. Pelo seu potencial para investigação, esta tecnologia poderá vir a contribuir para esclarecer algumas controvérsias relativas aos efeitos de determinados tratamentos específicos em Ortodontia.¹³⁸

1.7.3. Análise 3D em TCFC

O diagnóstico e a planificação dos tratamentos ortodônticos têm se baseado, ao longo dos anos, no recurso a exames imagiológicos, com o objetivo de reproduzir, o mais fielmente possível, a morfologia craniofacial do paciente nas três dimensões do espaço, não só de forma estática, mas também dinâmica.

O método de obtenção de filmes cefalométricos padronizados introduzido por *Broadbent*²⁰⁸ proporcionou o desenvolvimento de inúmeras análises cefalométricas de imagem, sendo a primeira concebida por *Downs* em 1948. O objetivo era determinar os valores médios que caracterizavam um rosto perfeito e usá-los como referência para todos os planos de tratamento. *Steiner*,²¹² na década de 1950, sugeriu medições para diagnosticar e planejar individualmente o tratamento. Embora os valores cefalométricos ainda sejam utilizados como referência de normalidade em Ortodontia, sabe-se que a variabilidade pode ocorrer em cada paciente e inúmeros estudos demonstraram que os valores cefalométricos diferem com a raça, os antecedentes genéticos ou as anomalias orofaciais.^{213,214}

A aplicação da TCFC na avaliação craniofacial foi precedida de análises cefalométricas em imagens 2D, com radiologia convencional e mais recentemente com imagens 3D, por meio de TC médica ou combinando cefalogramas.^{215,216} No entanto, são bem conhecidas e documentadas as limitações da cefalometria 2D. De facto, já em 1968, *Johnston*²¹⁷ havia referido que as técnicas de cefalometria 2D apresentavam imprecisões e erros que se deviam não tanto à disponibilidade de informações importantes, mas principalmente a erros inerentes ao próprio método. A validade da cefalometria radiográfica poderá ser questionada, nomeadamente, pelo facto da película convencional ser a representação bidimensional de uma estrutura tridimensional. Nesse processo, as estruturas deslocam-se vertical e horizontalmente

em função da proporcionalidade com a distância que medeia entre a estrutura e a película ou o plano em que é registada a imagem. Por outro lado, a análise cefalométrica baseia-se numa simetria entre estruturas bilaterais relativamente ao plano sagital médio, o que raramente acontece e que origina deslocamentos bilaterais das imagens em projeção na película. Também a magnificação do tamanho e a distorção da imagem, os erros no posicionamento do paciente e as distorções relacionadas com a geometria da relação paciente e película relativamente ao foco de Rx, comprometem a exatidão da avaliação. De destacar ainda o erro operacional na elaboração do traçado cefalométrico.¹³⁸

O surgimento da TC veio sanar alguns destes obstáculos ao permitir obter medidas reais, produzir imagens espaciais de estruturas tridimensionais na sua plenitude, independentemente da densidade dos tecidos. De facto, uma imagem 3D permite identificar assimetrias do terço médio da face e da base do crânio, o que era complexo de identificar em radiologia convencional.¹³⁸

Os métodos de análise cefalométrica 3D baseados na combinação de cefalogramas são de utilização prática muito complexa e acompanham-se de grandes limitações em termos de precisão. Por isso, maioritariamente, foram utilizados clinicamente na avaliação de pacientes com problemas craniofaciais graves.

Já a TCFC, ao superar uma série de limitações apresentadas pelos sistemas 3D anteriores, distingue-se por uma série de vantagens que desencadearam o desenvolvimento de novos métodos de análise cefalométrica 3D, nomeadamente no que se refere às sobreposições. Com efeito, tem a vantagem de ter uma qualidade de imagem semelhante à da tomografia axial computadorizada com múltiplos cortes, com uma dose de radiação significativamente mais baixa. Adicionalmente, possibilita a concentração com maior resolução em áreas anatómicas circunscritas de interesse.^{218,219} Algumas das falhas inerentes às imagens 2D superadas pela TCFC são a posição da cabeça do paciente, a sobreposição de diferentes estruturas anatómicas e a ampliação da imagem e as distorções.²²⁰⁻²²² Além disso, possibilita efetuar medições volumétricas e uma avaliação detalhada das estruturas maxilo-faciais em espessuras variáveis de cortes axiais, coronais e sagitais, proporcionando medições reais sem ampliação.²²³ Ao permitir realizar medições cefalométricas tradicionais em ambos os lados do crânio e efetuar medições cefalométricas 3D, facultava medições que são impossíveis ou difíceis de conseguir utilizando a cefalometria tradicional.²²⁴⁻²²⁸

Embora as imagens de TCFC acrescentem informação ao diagnóstico e planeamento do tratamento, deve ter-se cuidado para não expor o paciente a radiação excessiva. ALARA, o acrónimo de "*As Low As Reasonably Achievable*", é um princípio fundamental para a radiologia de diagnóstico.²²⁹

Na generalidade, os investigadores não exploram a tridimensionalidade da TCFC em toda a sua amplitude na determinação de valores de medição em 3D tendo em conta definições geométricas originais precisas de linhas e planos cefalométricos. *Swennen e Schutyser*²³⁰ descreveram o potencial da cefalometria TCFC 3D. Entre os métodos existentes de análise cefalométrica 3D baseados TCFC, destacam-se nomeadamente os trabalhos de *Gateno* e coautores²²⁶, *Santos* e coautores²³¹ e *D'Attilio* e coautores.²³²

Gateno e coautores²²⁶ descreveram um método de realizar medições cefalométricas tradicionais para produzir valores 3D. O estudo baseia-se nos fundamentos da geometria analítica no espaço 3D, particularmente na distância ponto a ponto, distância ponto a linha, ângulo linha a linha, ângulo linha a plano e ângulo plano a plano. Já *Santos* e coautores²³¹ estenderam as definições das medições cefalométricas realizadas por *McNamara*²³³ para obter medições cefalométricas em 3D. O método proposto explorou a tridimensionalidade da TCFC, estando em conformidade com as definições geométricas originais das linhas e planos cefalométricos de *McNamara*. Mais recentemente *D'Attilio* e coautores²³² propuseram uma nova análise de homólogos de *Enlow* em 3D, a partir de TCFC.

1.7.4. Sobreposições em TCFC

A monitorização do progresso e dos resultados do tratamento é fundamental no seguimento do tratamento do paciente. De facto, uma parte importante do tratamento ortodôntico envolve o estudo das alterações longitudinais no complexo dento-facial induzidas pelo crescimento e pelo tratamento.^{234, 235} A sobreposição de traçados de telerradiografias laterais sequenciais facilitou o conhecimento sobre o crescimento e desenvolvimento craniofaciais normais, bem como o conhecimento sobre os efeitos do tratamento produzido por vários procedimentos ortodônticos, ortopédicos e cirúrgicos.²³⁶

Para tal, é indispensável um sistema de referência que permita que uma sobreposição seja capaz de mostrar com exatidão a amplitude das mudanças

ocorridas e onde aconteceram. Tais referências devem ser claramente visíveis nas telerradiografias do indivíduo e ser estáveis no decorrer do período de observação.^{222,234-238}

Vários estudos^{31,239-242} propuseram a utilização da base anterior do crânio como referência para a sobreposição, uma vez que acontece pouco ou nenhum crescimento após 7-8 anos de idade, altura em que a sincondrose esfeno-etmoidal cessa o crescimento. Os diferentes métodos de sobreposição de imagens 3D descritos na literatura são o registo com base em *voxel*, o registo em pontos de referência e o registo com base em superfícies.

De acordo com estudos anteriores, a sobreposição de pontos de referência é semelhante à da cefalométrica 2D, mas mais complexa, uma vez que a identificação dos pontos de referência em imagens 3D pode ser um desafio.^{220,238,243,244} A sobreposição baseada em superfícies utiliza apenas a "superfície" da estrutura 3D e requer uma superfície de alta qualidade para alcançar uma sobreposição precisa.²⁴⁵

O registo baseado em *voxel* corresponde aos valores de escala de cinzentos de aproximadamente 300 000 *voxels* quando, por exemplo, a base craniana é utilizada como estrutura de referência.²³⁸ É uma sobreposição completamente automatizada para evitar uma técnica dependente do observador.^{148,241,246-249} Os estudos comparativos dos três métodos sugeriram que a sobreposição de pontos de referência é a menos fiável. O registo de superfície e o registo baseado em *voxel* foram validados, verificando-se ser o registo baseado em *voxel* aquele a que é associado a uma menor variabilidade.^{243,250,251}

1.8. Objetivos da investigação

Em conformidade com a exposição prévia, é grande a controvérsia sobre os efeitos efetivos a nível esquelético, dento-alveolar, no perfil mole e na ATM, suscitados pela abordagem terapêutica ao tratamento das más oclusões de Classes II em pacientes em crescimento.

Este trabalho de investigação, com o recurso a tecnologia digital 3D, foi desenvolvido com o principal objetivo de prestar mais esclarecimentos sobre os reais efeitos biomecânicos do aparelho funcional do tipo *Teuscher* (AFTT) na correção da má oclusão de Classe II hiperdivergente, através da simulação pelo Método dos Elementos Finitos (MEF).

A questão de investigação principal foi: *A correção da má oclusão de Classe II hiperdivergente em pacientes em crescimento com um AFTT é acompanhada do efeito ortopédico de inibição do crescimento vertical e anterior da maxila e da promoção do crescimento mandibular em direção anterior?*

1.8.1. Estudo dos efeitos biomecânicos do AFTT na maxila através do método de elementos finitos

- a) Avaliar as áreas de distribuição de tensão transmitidas à maxila pelo AFTT para diferentes linhas de ação da força extra-oral.
- b) Identificar a linha de ação da força extra-oral mais adequada para o tratamento da má oclusão de Classe II hiperdivergente pelo AFTT.
- c) Avaliar os deslocamentos dos dentes e complexo nasomaxilar produzidos pelo AFTT.

1.8.2. Estudo dos efeitos biomecânicos do AFTT na mandíbula através do método de elementos finitos

- a) Identificar as áreas de distribuição de tensões na mandíbula transmitidas pelo AFTT.
- b) Avaliar as áreas de distribuição de tensão na articulação temporomandibular transmitidas pelo AFTT.

1.8.3. Avaliação 3D dos efeitos do tratamento de uma paciente com má oclusão de Classe II hiperdivergente com AFTT (estudo de caso)

- a) Através de sobreposições 3D, avaliação das alterações na maxila, na mandíbula, no processo alvéolo-dentário e nas articulações temporomandibulares bem como as alterações do perfil mole.
- b) Através do método de levantamento de forma, avaliação 3D por processamento de imagem e iluminação estruturada.

CAPÍTULO 2.

MATERIAL E MÉTODOS

2. MATERIAL E MÉTODOS

De forma a dar respostas à questão e aos objetivos propostos no presente estudo sobre os efeitos biomecânicos do aparelho funcional do tipo *Teuscher* (AFTT) na correção da má oclusão de Classe II hiperdivergente através dos elementos finitos (MEF), este estudo foi dividido em três partes distintas:

- avaliação dos efeitos biomecânicos do AFTT na maxila através do MEF;
- avaliação dos efeitos biomecânicos do AFTT na mandíbula e ATM através do MEF;
- após identificada a linha de ação da força extra-oral (FEO) mais compatível com os objetivos do tratamento de uma paciente em crescimento, com uma má oclusão de Classe II hiperdivergente, foi produzido e aplicado o AFTT e avaliados tridimensionalmente os efeitos resultantes do tratamento, através de sobreposições 3D e pelo método de levantamento de forma por processamento de imagem e iluminação estruturada.

Este trabalho resultou de uma parceria entre as Faculdades de Medicina Dentária e de Engenharia da Universidade do Porto e do Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial (INEGI, com a colaboração do laboratório de biomecânica do Departamento Engenharia das Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brasil.

Nas instituições da Universidade do Porto, nomeadamente no INEGI, foram realizadas as simulações na maxila através do MEF e o levantamento de forma da face da paciente em estudo. Já a simulação do comportamento da mandíbula foi realizada no laboratório de biomecânica do Departamento de Engenharia da UFMG no âmbito da tese de mestrado em Engenharia Mecânica, realizada na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) pelo estudante Rui Paulo da Silva Correia que durante a sua permanência no Brasil teve a orientação do Professor Estevam Las Casas. Esta tese tem o título “*Efeitos de aparelho funcional ortodôntico no campo de tensões na mandíbula*” e foi submetida à FEUP em 15 de julho de 2021. A autora colaborou na definição do modelo e na interpretação dos resultados de acordo com os objetivos definidos nesta tese de doutoramento.

2.1. Revisão da literatura

Foi realizada uma revisão da literatura sobre o tema em estudo. Para esse efeito foi realizada uma pesquisa bibliográfica nos motores de busca e bases de dados *Medline/PubMed*, *B-On* e no *Google Académico*, de artigos publicados em inglês nos últimos 30 anos, utilizando as seguintes palavras-chave: “*má oclusão Classe II; hiperdivergentes; aparelhos funcionais; forças extra-orais; crianças*”.

Foram selecionados 632 artigos, sendo que após leitura do título e do resumo foram excluídos os que não se consideraram relevantes para o presente trabalho.

Adicionalmente, também foi efetuada uma pesquisa, na base de dados *MeSH*, *Medical Subject Headings*, que controla os termos da Livraria Nacional de Medicina (NLM) para a indexação de artigos na base de dados *PubMed*, utilizando a combinação dos seguintes termos *MeSH*:

("Extraoral Traction Appliances"[Mesh]) AND "Malocclusion, Angle Class II"[Mesh] AND "Orthodontic Appliances, Functional"[Mesh]

Foram consideradas ainda referências bibliográficas obtidas pela bibliografia de artigos lidos e que se julgaram pertinentes para integrar neste estudo. Foi ainda realizada uma pesquisa em revistas especializadas na área da ortodontia, nomeadamente no *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, no *European Journal of Orthodontics*, no *Angle Orthodontists* e livros da especialidade.

2.2. Estudo experimental - estudo de caso

Foi realizada uma Tomografia Computadorizada de Feixe Cónico (TCFC) a uma paciente do sexo feminino com 10 anos de idade. A paciente em estudo apresentava, antes do tratamento, as seguintes características dento-esqueléticas segundo a análise de *Tweed-Merrifield* - padrão hiperdivergente (FMA = 36,7°), Classe II esquelética (ANB=7,4°), com uma sobremordida horizontal de 7 milímetros e uma sobremordida vertical de 3 milímetros. (Anexo 4)

As TCFCs inicial e final foram obtidas numa unidade *Planmeca ProMAX 3D Classic FOV* de 20.1x17.6 centímetros, tamanho do *voxel* 400Mm, 90 Kv, 11.0 mA, com tempo de varredura de 13,6 segundos. Foram aplicados os princípios ALARA²²⁹ adequados ao caso clínico em questão. A utilização destas imagens para a criação dos modelos foi aprovada pela Comissão de Ética da Faculdade de Medicina Dentária

da Universidade do Porto, registada com o número 527 em 05 de maio de 2018 (Anexo 1). Foram facultadas informações detalhadas do presente estudo à paciente e aos seus responsáveis legais (Anexo 2) e elaborado um consentimento informado (Anexo 3). Todas as imagens foram exportadas como arquivos DICOM.

A partir dos dados DICOM da tomografia inicial, recorreu-se a ferramentas computacionais de engenharia com o objetivo de gerar modelos matemáticos que permitissem simular o comportamento mecânico do complexo maxilo-mandibular e o cálculo da distribuição de tensões nele geradas por um AFTT. Foi utilizado o programa *InVesalius*® para gerar as superfícies tridimensionais a partir das imagens tomográficas que foram suavizadas e convertidas em modelos sólidos. Esta conversão foi realizada com a utilização dos programas *Meshmixer* da empresa *Autodesk*® e *MeshLab*, em código aberto, para visualização e processamento de malhas de triângulos que definem as geometrias 3D. As superfícies criadas foram importadas para programas de CAD *SolidWorks*® (*Dassault Systèmes Solidworks Corp.*), onde foram gerados os modelos sólidos. Estes, por sua vez, foram utilizados para criar modelos dos elementos finitos nos programas *ABAQUS*® (*Dassault Systèmes Solidworks Corp.*), no caso do crânio e maxila, e no programa *Hypermesh*® (*Altair Engineering inc*) para aplicação das condições de fronteira e de carregamento impostas às estruturas anatómicas no caso do complexo mandibular.

2.3. Efeitos biomecânicos do AFTT na maxila através do MEF

2.3.1. Geração do modelo – maxila e dentes maxilares

Como referência foi utilizada uma maxila humana com dentição, obtida na base de dados do *GrabCAD*® (*Stratasys Inc.*) que foi ajustada para obter concordância entre o modelo numérico e os dados deste caso clínico. Estes, por sua vez, foram obtidos a partir de registos DICOM da paciente e de medições antropométricas realizadas com um paquímetro digital (Marca *Mitutoyo*, modelo *Absolute Digimatic*). Para a construção do modelo final que inclui a maxila, base do crânio (apófise zigomática, soalho nasal e esfenóide), os incisivos e os primeiros molares maxilares foi utilizado o *software* de *Computer Aided Design* (CAD) *SolidWorks*®. Para esse efeito foi considerada a região maxilar, limitada superiormente pelo soalho orbitário, e

posteriormente, pela sutura pterigomaxilar. Devido à idade da paciente, os pré-molares permanentes estavam ausentes no início do tratamento.

2.3.2. Configurações do modelo – AFTT

Ao modelo anatómico da maxila e dos dentes foi adicionado o modelo do AFTT ajustado de acordo com as condições clínicas. O modelo 3D do AFTT foi obtido no *software SolidWorks®*, utilizando imagens do modelo físico complementadas com medições. Este consiste num monobloco em acrílico que envolve toda a face oclusal e palatina até ao nível distal do primeiro molar maxilar e cerca de 2 mm na face vestibular. Na porção superior, ao nível do palato, apresenta uma mola de *Coffin* realizada em arame de aço (diâmetro: 0,9 mm). Na porção anterior superior tem incorporado quatro molas, em arame de aço (diâmetro: 0,8 mm), para aplicar torque aos incisivos maxilares e conferir alguma retenção ao AFTT. Ao nível do segundo molar temporário, existem dois tubos metálicos acoplados bilateralmente no acrílico do AFTT que permitem a inserção do braço interno do arco facial. O arco facial consiste num arco de aço inoxidável (diâmetro: 1,1 mm) com um braço interno e um braço externo. O braço interno insere-se lateralmente ao nível do segundo molar temporário num tubo metálico acoplado ao acrílico.

O AFTT foi modelado como um simples bloco em acrílico em que todas as cúspides e bordos incisais dos dentes envolvidos se encontravam bem inseridos no acrílico. Também foi modelada a geometria do braço externo do arco facial, onde a força é aplicada (ganchos). No entanto, para simplificar o modelo, os ganchos não foram considerados. Para a simulação por MEF os modelos anatómicos e do AFTT foram importados para o *software Abaqus®*.

A magnitude da força foi selecionada com base em situações clínicas, encontradas na literatura.¹⁷⁷ Foi aplicada uma carga de 4,4 N (450 gramas), em cada lado do modelo geométrico e criados 5 modelos para simular cinco linhas diferentes de ação da força (M1 0°, M2 15°, M3 30°, M4 45° e M5 60°) (Figura 2.1).

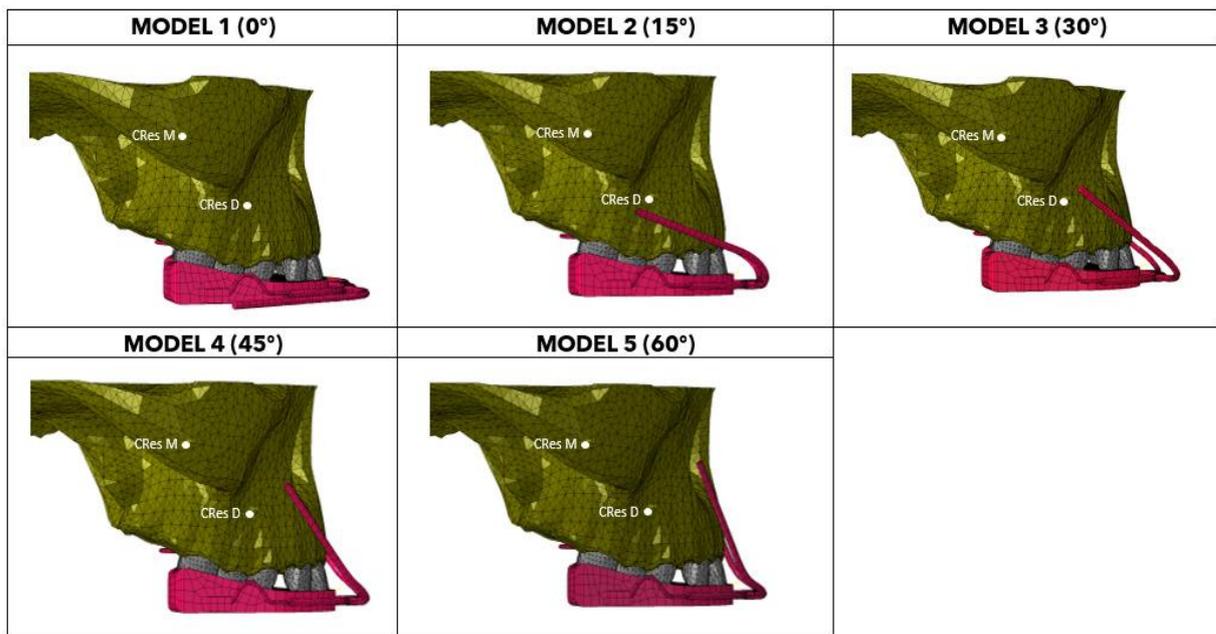


Figura 2.1. Modelo dos elementos finitos com indicação das linhas de ação das forças utilizadas para cada um dos 5 modelos - (M1 0°, M2 15°, M3 30°, M4 45° e M5 60°).

2.3.3. Condições-limite e propriedades dos materiais

Foi gerada uma malha dos elementos finitos para cada parte do modelo que foi definida em termos da sua geometria e das propriedades mecânicas dos materiais envolvidos. Neste caso foram utilizados o módulo de *Young* e o coeficiente de *Poisson* pois todos os materiais foram considerados como homogêneos, isotrópicos e linearmente elásticos.²⁵² Para simplificar o modelo, não foram considerados os limites das camadas cortical e esponjosa do osso, nem do esmalte e da dentina. As propriedades mecânicas utilizadas para simular os dentes, osso e AFTT são relatadas na literatura²⁵² e resumidas na tabela 2.1.

O AFTT foi considerado como um corpo rígido e modelado como um único componente, solução comum nos modelos em Abaqus® quando as propriedades mecânicas dos tecidos são muito inferiores às do AFTT.

As condições limite e de fronteira para os modelos foram definidas de acordo com a união da maxila às estruturas ósseas cranianas. Neste sentido, o modelo geométrico foi fixado nas superfícies superior (base do crânio) e posterior (pilares pterigoides), não sendo permitido nenhum deslocamento ou rotação em qualquer direção. A união perfeita (*"tie contact"*) foi assumida nas interfaces entre as diferentes partes do modelo. Foi efetuada uma análise linear elástica e utilizada uma malha de

elementos lineares tetraédricos (C3D4) da biblioteca *ABAQUS* para calcular a distribuição de tensões.

Tabela 2.1. Propriedades mecânicas dos materiais.

	Estrutura	Módulo de Elasticidade [GPa]	Coefficiente de Poisson
Maxila	Osso	10	0,3
	Dente	20	0,3
	AFTT	200	0,33

Um estudo de convergência da malha, com base nas tensões de *von Mises* calculadas num ponto situado sensivelmente no centro da maxila e numa região de tensões uniformes, permitiu alcançar estabilidade nos valores de tensão com uma malha de 152341 elementos e 38275 nós (Figura 2.2 A).

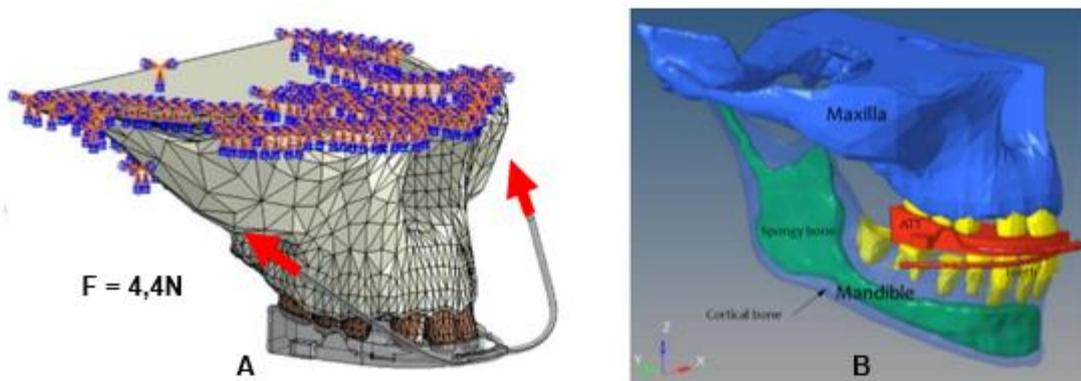


Figura 2.2. A) Modelo do maxilar, cargas aplicadas e condições de fronteira. B) Modelo utilizado no estudo da mandíbula mostrando a segmentação.

2.4. Efeitos biomecânicos do AFTT na mandíbula através do MEF

Baseado também nas imagens obtidas de dados DICOM retirados da TCFC da paciente em estudo, foi gerado um modelo tridimensional do complexo mandibular. Utilizando um *software* destinado à geração e processamento de geometrias de superfície foi criado um modelo matemático dos elementos finitos com as condições de fronteira e de carregamento impostas às estruturas anatómicas. As propriedades mecânicas dos tecidos foram selecionadas de referências bibliográficas²⁵³ (Tabela 2.2), assim como as cargas resultantes dos principais grupos musculares.¹¹² O modelo

matemático foi processado no *solver* Optistruct da Altair® para obter os campos de tensões gerados na mandíbula pelo efeito da protrusão forçada pelo AFTT.

Tabela 2.2. Propriedades mecânicas dos materiais mandíbula.

	Estrutura	Módulo de Elasticidade [GPa]	Coefficiente de Poisson
Mandíbula	Osso cortical	20,7	0,3
	Osso esponjoso	14,8	0,3
	Dentes	18,4	0,3
	Simulação realizada na UFMG		

Dado que o modelo da maxila não possuía a parte do osso correspondente à fossa infratemporal, onde o côndilo da mandíbula contacta com o osso craniano, foi necessário gerar a geometria do osso da fossa temporal da ATM recorrendo ao *software HyperWorks®*. A geração da malha, a correção de descontinuidades e o refinamento foram realizadas no *software Hypermesh®*. Tendo em consideração o trabalho de *Sagl* e coautores²⁵⁴ foi selecionado um elemento tetraédrico de 4 pontos nodais lineares com 0,5 mm de dimensão do lado do elemento triangular. De acordo com as imagens obtidas da TCFC, a mandíbula foi dividida em osso cortical e osso trabecular. A malha foi gerada de forma que os nós e os elementos das superfícies de contato entre estes dois tipos de tecido coincidissem, para evitar a necessidade de criar superfícies de contato. Tal como na maxila, os componentes trabecular e cortical da mandíbula, bem como os dentes, foram modelados como materiais homogêneos, sólidos, isotrópicos e com comportamento linear elástico. Nas superfícies de contato foi estabelecido um modelo de contato do tipo “*tie*”, isto é, os graus de liberdade das superfícies são correspondentes a “unidos”, e a superfície *slave* segue o comportamento da superfície *master*. Como superfícies *master* foram consideradas as seguintes: as do AFTT, da fossa infratemporal e dos dentes, mandíbula e maxila. Como superfícies *slave*, foram selecionados os contactos dos dentes com o AFTT, do processo condilar e as componentes corticais da mandíbula e da maxila.

Na figura 2.3 A) estão representadas as superfícies de contato entre os dentes, tecido ósseo e o AFTT, enquanto na figura 2.3 B) está representado em detalhe a malha no contato entre a mandíbula e a fossa temporal na ATM.

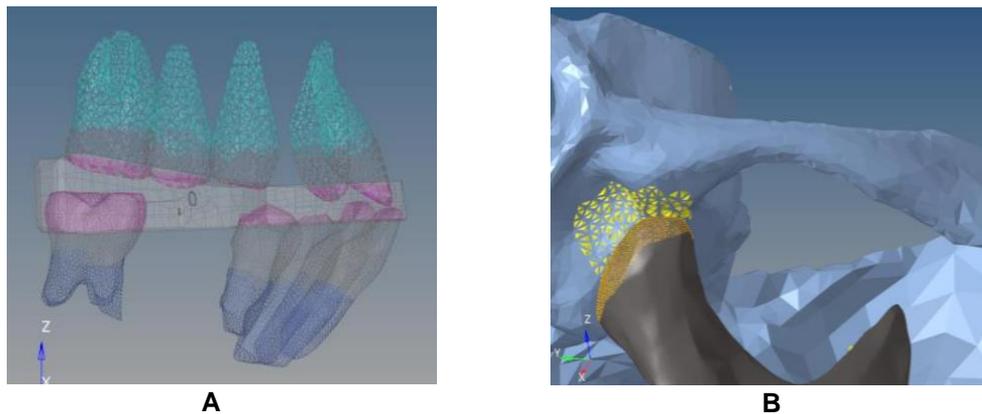


Figura 2.3. **A)** Definição das superfícies de contato: dentes (cinza), superfície mandibular (azul-escuro), superfície maxilar (azul-claro), AFTT (rosa) **B)** Superfícies de contato da fossa infratemporal (amarelo) e superfície do processo condilar (laranja). Malhas definidas no programa Hypermesh®.

Numa primeira aproximação, o disco articular foi processado e integrado no modelo, o que ocasionou a adição de dois contactos de natureza não linear - disco articular com a fossa temporal e o disco com o côndilo. Como esta configuração se revelou não adequada e sem convergência para uma solução, o disco foi removido, passando o contacto a ser linear do tipo “justo”. A mandíbula assumiu uma posição mais protruída no modelo, em resposta às endentações do AFTT, ficando o côndilo numa posição mais baixa e anterior. Por esta razão, utilizou-se o contato justo destas superfícies, processo condilar e fossa infratemporal.

No que respeita às condições de fronteira/carregamento, as inserções musculares foram reunidas em grupos de nós, onde as cargas eram aplicadas de forma igualmente distribuída.

A análise de convergência das malhas de elementos sólidos tetraédricos de 1ª ordem do modelo e as condições de carregamento e de fronteira do tipo linear estática alcançou estabilidade com um número de 1788921 para a mandíbula (osso cortical 1348234 mais 440687 osso esponjoso), elementos tetraédricos lineares com tamanho médio de 0,25 mm na região mais solicitada, onde se utilizou menor refinamento, dimensão de 0,5 mm, na região menos solicitada. A maxila foi modelada por 116533 e os dentes (mandíbula com 142687 e a maxila com 20814) elementos do mesmo tipo. Finalmente, o AFTT foi modelado com uma malha de 8248 elementos triangulares e quadrangulares lineares. A magnitude da força imposta pelo AFTT foi considerada de 4,4 N, aplicada igualmente nos braços externos.

2.4.1. Músculos

A análise da mandíbula assume maior complexidade que a da maxila, pois esta além de estar sujeita às forças geradas ao nível da ATM está também sob as ações musculares e das forças exercidas pelos dentes em oclusão (Figuras 2.4 e 2.5). No caso em análise, o AFTT foi aplicado no complexo mandibular onde se assume que permanecia estático durante a utilização. Tratando-se de uma análise estática em que se conhece a posição final da mandíbula, as forças exercidas pelos músculos foram calculadas em função das áreas da secção das fibras musculares, ou *Cross-Sectional Area* (CSA) de acordo como os estudos de *Koolstra e van Eijden*.¹⁹⁸ Estes autores utilizaram as áreas de secção reta dos músculos do sistema mastigatório que, multiplicadas pela pressão constante de 37 N/cm², permitem determinar as forças máximas que cada músculo pode exercer. Esta constante representa a secção transversal fisiológica de um músculo e foi obtida por *Weijjs e Hillen*.¹¹² Foram consideradas as forças exercidas pelos principais músculos: os masséteres, os pterigóideos medial e lateral e os temporais, de acordo com os dados apresentados na tabela 2.3. As forças musculares foram distribuídas pelos nós da malha na área de inserção estabelecida, de acordo com a observação das estruturas anatómicas dos trabalhos de *Groning e coautores*,²⁵⁵ *Stansfield e coautores*²⁵⁶ e *Uner e coautores*²⁵⁷. A direção dos vetores de forças musculares²⁵⁸ produzidas na superfície da mandíbula estão representadas na tabela 2.3.

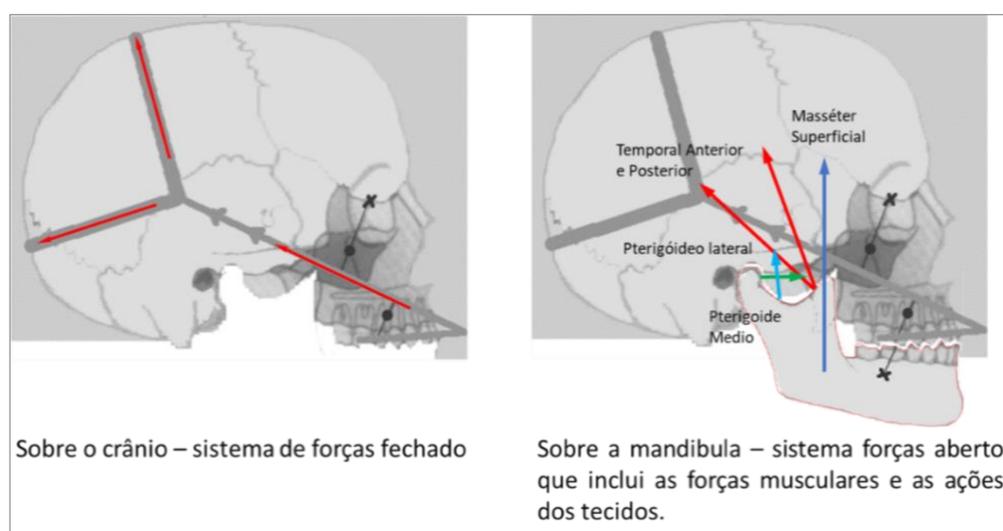


Figura 2.4. Representação esquemática do equilíbrio biomecânico após a aplicação do AFTT, para o crânio e para o conjunto crânio/mandíbula. As ações dos músculos encontram-se representadas por vetores coloridos com o seguinte código de cores: masséter superficial (azul), pterigóideo médio (azul-claro), pterigóideo lateral (verde), temporal anterior e posterior (vermelho).

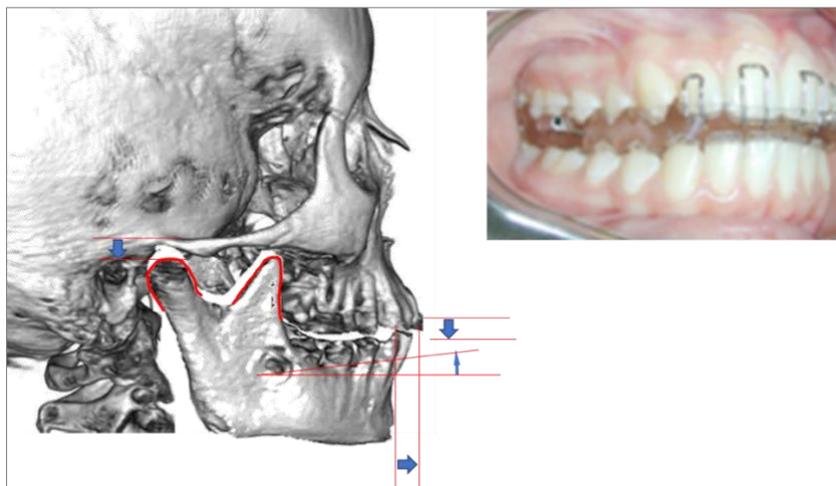


Figura 2.5. Efeito do AFTT sobre a oclusão e representação esquemática desse efeito sobre imagens obtidas do TCFC.

Tabela 2.3. Direção dos vetores musculares, na forma dos cossenos diretores e forças dos grupos musculares, forma ativa e forma passiva, durante a utilização do AFTT.

Músculos	Direção			Força 37 N/cm ²	Ganho	Força ativa máxima de contato dos incisivos (N)	Força passiva na posição de contato dos incisivos (N)
	Cos x	Cos y	Cos z				
Masseter superficial (MS)	-0,207	0,419	-0,884	122,1	1,87	229	10
Pterigoide medial (PM)	0,486	0,373	-0,791	88,8	1,83	163	7
Pterigoide lateral (PL)	0,6955	0,701	0,05	85,1	1,87	160	7
Temporal anterior (TA)	-0,149	0,044	-0,988	81,2	1,72	140	6
Temporal posterior (TP)	-0,208	-0,855	-0,474	81,2	1,56	127	6

2.5. Avaliação 3D dos efeitos do tratamento de uma paciente com má oclusão de Classe II hiperdivergente com AFTT (estudo de caso)

Através do Método de Elementos Finitos (MEF) foi identificada a linha da ação da FEO (Modelo 3 (30°) - Figura 2.1), mais consistente com os objetivos clínicos do tratamento desta má oclusão (Figura 2.6). O AFTT foi fabricado e aplicado na paciente obedecendo a esta configuração. O braço externo do AFTT foi angulado de forma que a linha de ação da FEO fosse coincidente com o centro de resistência da dentição maxilar e o centro de resistência da maxila, tendo sido aplicada uma FEO de 4,4 N (450 gramas). A paciente teve indicação para usar o AFTT entre 12 e 14 horas por

dia, durante 18 meses. Após 18 meses de tratamento foi realizada uma TCFC para fins de diagnóstico e avaliados os resultados do tratamento interceetivo.



Figura 2.6. A) AFTT vista oclusal B) AFTT vista frontal C) AFTT vista lateral.

2.5.1. Avaliação 3D através das sobreposições

Baseada nas TCFCs inicial e final da paciente em estudo, foram realizadas as sobreposições 3D para avaliação dos efeitos do tratamento de acordo com o método descrito na literatura.²⁴⁹

2.5.2. Método de levantamento de forma por processamento de imagem e iluminação estruturada

O levantamento de forma foi realizado no Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial (INEGI) utilizando o sistema ATOS *triplescan* fabricado pela empresa GOM. Trata-se de um *scanner* 3D ótico que permite obter sem contacto as coordenadas de milhões de pontos sobre superfícies difusas utilizando processamento de imagem e iluminação estruturada. O sistema opera projetando padrões geométricos sobre as superfícies e processando posteriormente as imagens, que são alteradas pela geometria, para obter as coordenadas dos pontos. Este sistema permite uma área máxima de medição de 170x130 mm e cada nuvem de pontos poderá ter uma dimensão até 16M pontos. Medições de superfícies brilhantes ou mais complexas são realizadas registando a mesma superfície segundo vários ângulos. Deve referir-se que a cabeça ótica do sistema dispõe de uma câmara central e dois projetores colocados lateralmente que permitem mais facilmente obter a geometria de superfícies concavas onde possam surgir sombras.

O levantamento da geometria de objetos mais complexos, como é o caso de uma cabeça humana, exige a integração de vários registros. Utilizando a colocação de pequenas marcas coladas diretamente sobre a pele é criado um conjunto de pontos de referência que, por triangulação, permite associar as várias nuvens de pontos e obter de forma rigorosa a geometria final. Neste caso foi utilizada uma touca de banho para conter os cabelos, elementos de geometria complexa sem qualquer interesse nestas medições, e coladas marcas circulares com cerca de 2 mm de diâmetro no rosto e pescoço (Figura 2.7).



Figura 2.7. Scanner 3D ótico e imagem da paciente com marcas circulares.

CAPÍTULO 3.

RESULTADOS

3. RESULTADOS

Foi cumprido o objetivo de criar um modelo biomecânico maxilar e mandibular para simulação do tratamento da má oclusão de Classe II com a utilização de um aparelho funcional do tipo *Teuscher* (AFTT), com cinco diferentes linhas de ação de FEO. Como parâmetros para a avaliação dos resultados foram escolhidos os da tensão equivalente de *von Mises*. De acordo com uma escala de cores, as cores vermelhas correspondem a áreas sujeitas a um pico de tensão elevada, enquanto as cores azuis mostram tensão próxima de zero. O foco principal dos resultados foi a concentração de tensões na maxila e mandíbula e ATM transmitidas pelo AFTT.

Após identificado o modelo mais consistente com os objetivos clínicos do tratamento da má oclusão de Classe II, foi fabricado e aplicado um AFTT na paciente em estudo. Decorrido o período de tratamento, foram avaliados os seus efeitos, através de sobreposições 3D e através do método de levantamento de forma por processamento de imagem e iluminação estruturada.

3.1. Avaliação da distribuição das tensões na maxila

Na maxila, o estudo procurou simular o tratamento da má oclusão de Classe II com a utilização AFTT com cinco diferentes linhas de ação da FEO (Figura 2.1). Os resultados mostraram que diferentes linhas da ação da força interferem com a distribuição das tensões nas estruturas ósseas. Em todos os modelos realizados, a maior concentração de tensão é acumulada na região frontal. A região anterior da maxila, próxima do forame incisivo, mostrou uma ligeira dissipação de tensão através do palato no sentido ântero-posterior. Este padrão de distribuição de tensão foi encontrado em todos os modelos, diferindo na intensidade da tensão máxima, tal como é demonstrado na figura 3.1 e tabela 3.1.

O Modelo 5 (60°) induziu a mais elevada concentração de tensão. Por outro lado, esta concentração de tensão apresenta um valor mais baixo quando se utiliza o Modelo 1 (0°). A tensão aumenta progressivamente quando a linha de ação da força se move de posterior para anterior. O Modelo 1 (0°) mostrou que a maior concentração de tensão é acumulada nos molares, no osso nasal (septo nasal e limites da cavidade piriforme) e também na fossa pterigóidea. Apesar da concentração das tensões ter

sido mais baixa, este modelo mostrou um aumento das tensões distribuídas, de anterior para posterior.

No Modelo 2 (15°) a maior concentração de tensão ocorreu a nível dos molares e as tensões nos incisivos foram maiores que as registadas na mesma região no Modelo 1. Já a concentração de tensão no septo nasal foi menor.

No Modelo 3 (30°) verifica-se uma maior concentração de tensões na zona anterior da maxila quando comparada com os Modelos 1 (0°) e 2 (15°).

Os Modelos 4 (45°) e 5 (60°) mostraram áreas semelhantes de distribuição de tensões, contudo o modelo 5 (60°) apresentou a maior área de distribuição e níveis mais elevados de tensões quando comparado com os outros modelos.

Observou-se que, como consequência da aplicação da força, houve uma semelhança maior na distribuição das tensões entre os Modelos 1 (0°) e 2 (15°) e entre os Modelos 4 (45°) e 5 (60°). Além disso, em relação ao comportamento individual dos dentes, os resultados mostram que as tensões nos incisivos e molares foram maiores do que as tensões na zona de suporte (Figura 3.1 e Tabela 3.1).

Apesar da magnitude da força aplicada ter sido igual em todos os modelos, nos Modelos 1 (0°) e 2 (15°) observou-se que os molares sofreram um maior deslocamento no sentido distal e os incisivos apresentaram extrusão, como é evidenciado na Figura 3.2.

No Modelo 3 (30°) a linha de ação de força promoveu uma translação dos molares e dos incisivos no sentido distal. Já nos Modelos 4 (60°) e 5 (60°) todo o setor anterior maxilar apresentou um deslocamento no sentido anti-horário (Figura 3.2).

Tabela 3.1. Máximas tensões *von Mises*.

Máximas Tensões <i>von Mises</i> (MPa)		
Modelo	Dentes	Maxila
Model 1 (0°)	0.18310	0.22400
Model 2 (15°)	0.14285	0.43779
Model 3 (30°)	0.13956	0.59886
Model 4 (45°)	0.14307	0.72114
Model 5 (60°)	0.16438	0.80412

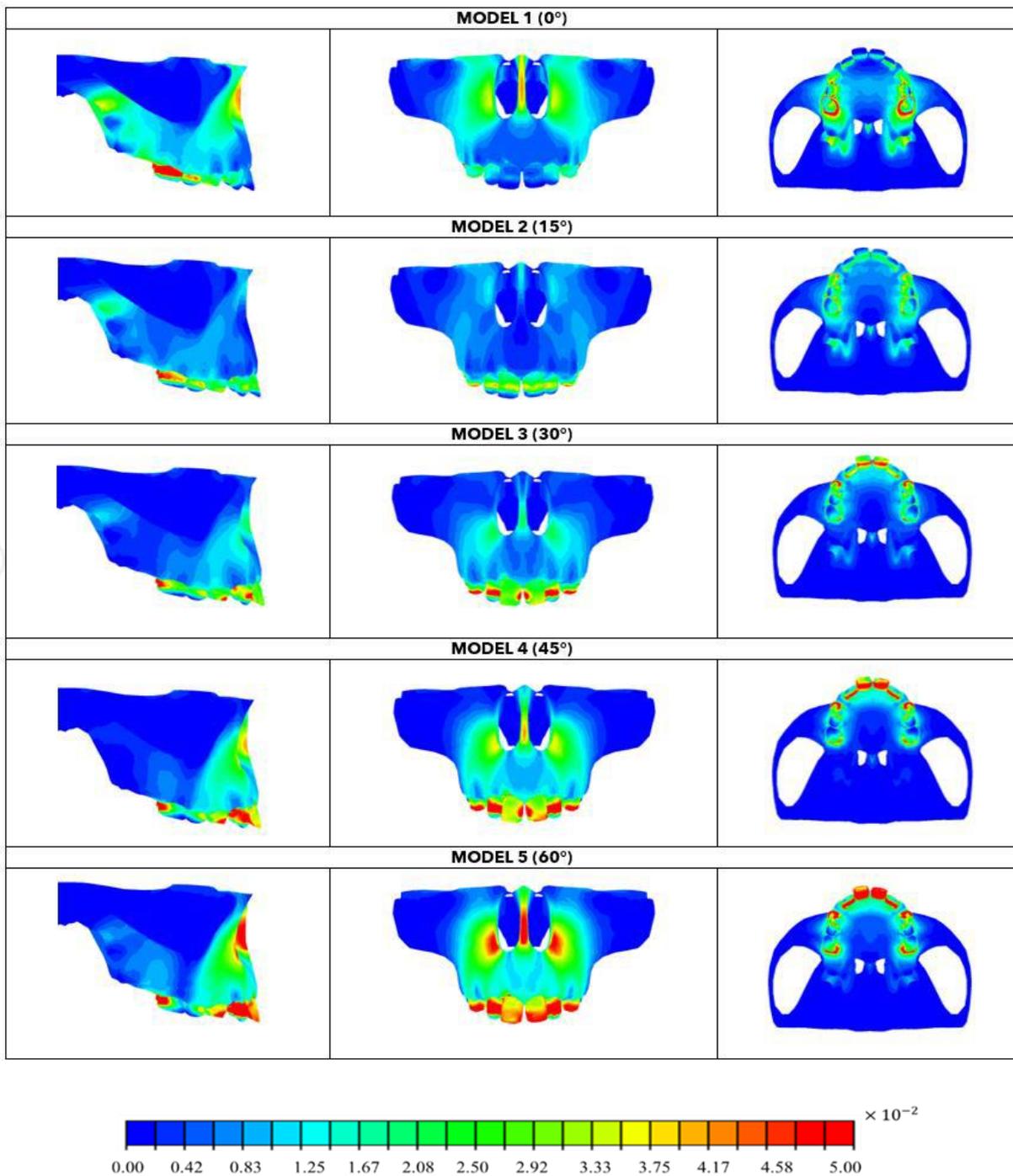


Figura 3.1. Distribuições de tensão de *von Mises* obtidas de diferentes modelos pelo MEF, valores em MPa.

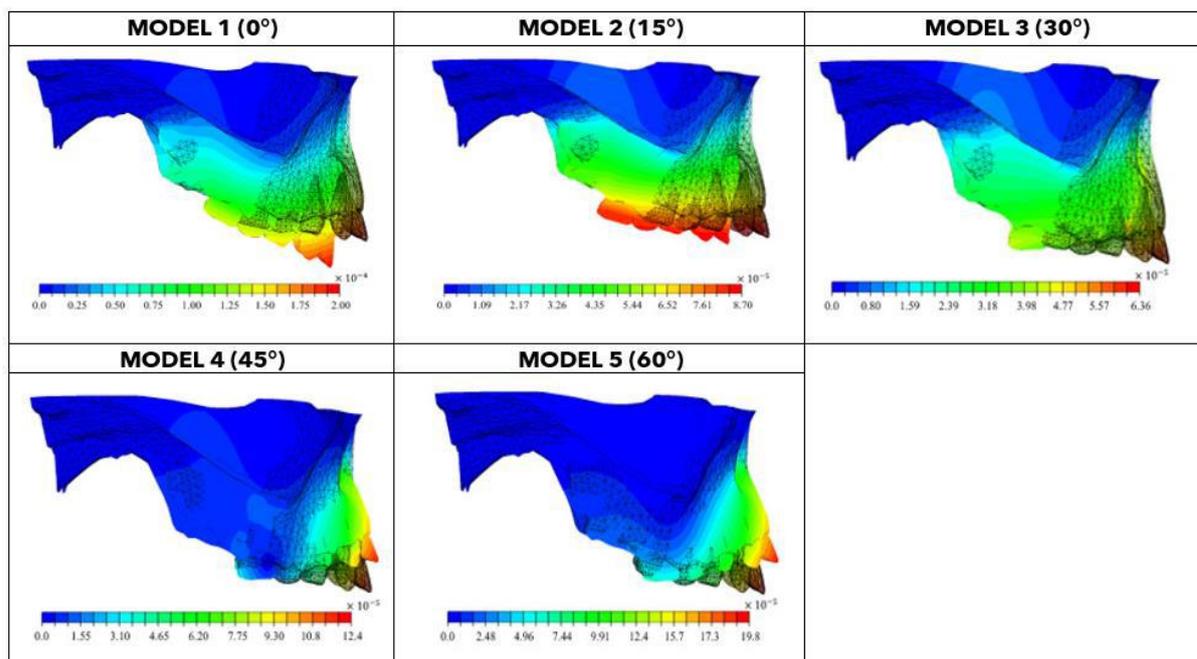


Figura 3.2. Perfis de magnitude de deslocamento capturados em forma deformada e não deformada para diferentes modelos extraídos do FEM, valores em mm.

3.2. Avaliação da distribuição das tensões na mandíbula e ATM

Nesta simulação foi modulada a aplicação do AFTT que impõe uma propulsão mandibular. Esta posição determina as forças musculares sobre a mandíbula que foram estimadas e consideradas na simulação. O campo de tensões obtido na mandíbula deve-se, maioritariamente, às forças musculares que impõem cargas superiores às exercidas pelo AFTT. A distribuição de tensão equivalente de *von Mises* na mandíbula está representada na figura 3.3.

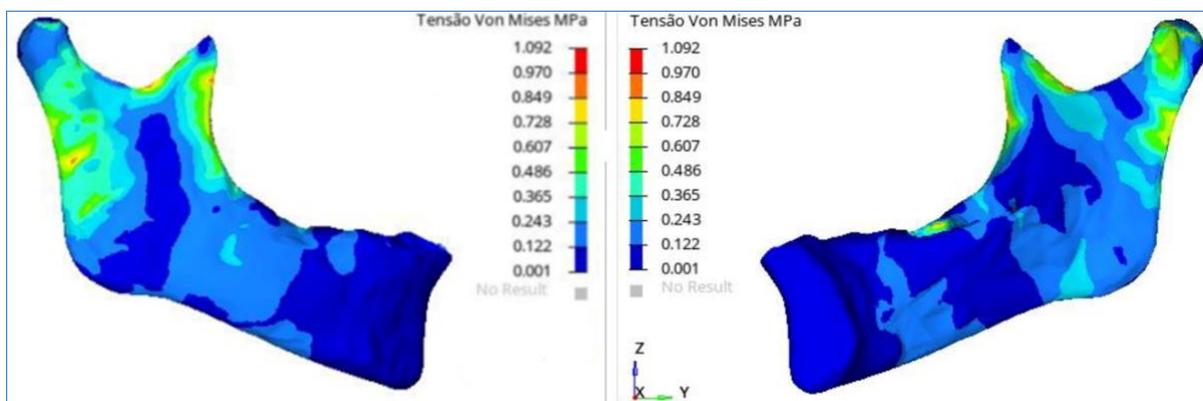


Figura 3.3. Distribuição de tensões *von Mises* na mandíbula; a) Vista externa b) Vista interna.

As tensões ocorrem predominantemente na parte posterior da mandíbula, correspondente à região de inserção muscular, com uma maior concentração de tensão no processo coronóide, na zona anterior do ramo montante, na fosseta pterigoide e na superfície superior do côndilo. Na região mandibular onde o molar está em contacto com o AFTT existe uma tensão residual, provocada pela carga resultante do AFTT sobre o modelo. No entanto, uma vez que não se incluiu o ligamento periodontal, os valores das tensões nas regiões que envolvem os dentes não foram considerados.

Na figura 3.4., destaca-se uma zona de tensões na superfície superior do côndilo (a vermelho), devido ao contato com o disco na fossa articular. Importa referir que foi considerado um contacto linear, o que não representa completamente o comportamento natural do disco.

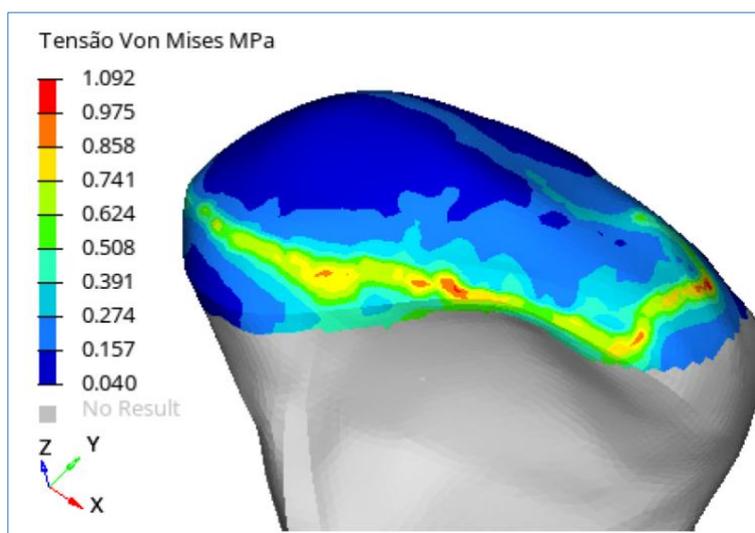


Figura 3.4. Campo de tensões de *von Mises* no côndilo, devido ao contato com a fossa infra temporal.

Dado que a utilização do critério de *von Mises* conduz a uma tensão equivalente que é sempre positiva, foram analisadas as tensões principais para averiguar quais as regiões sob tração e aquelas que se encontram em compressão. A região da mandíbula que se encontra sujeita a tração situa-se na zona anterior do processo coronóide, apresentando um valor máximo de 0,949 MPa no tecido cortical, tal como se mostra na figura 3.5.

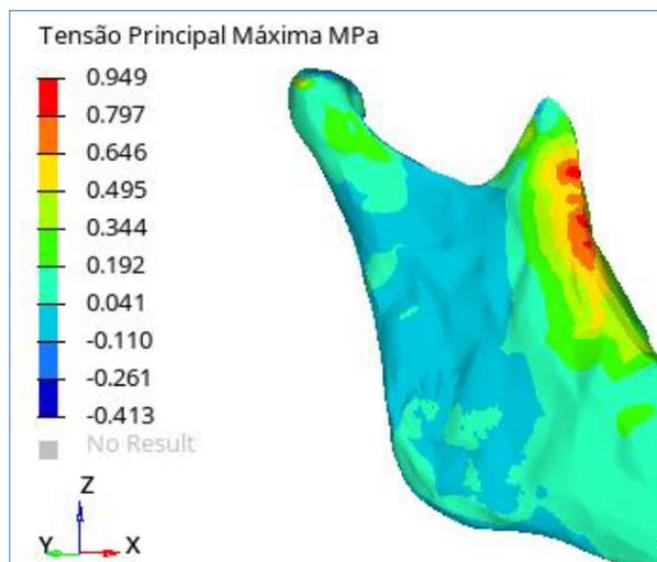


Figura 3.5. Região com tensão principal máxima (tração) no tecido cortical.

Relativamente às zonas de compressão, estas abrangem praticamente a totalidade do ramo da mandíbula, zona posterior do processo coronóide e a fóvea do processo condilar. A tensão principal mínima de -1,396 MPa no ramo mandibular e -0,788 MPa na fóvea pterigoide. Na superfície superior do cêndilo, onde existe o contacto com o disco/fossa infra temporal, foi registado o valor máximo de compressão de -2,22 MPa, como se pode verificar na figura 3.6. Tal como se pode observar, as zonas de maior compressão condizem com a zona posterior do processo coronóide, ramo mandibular e processo condilar.

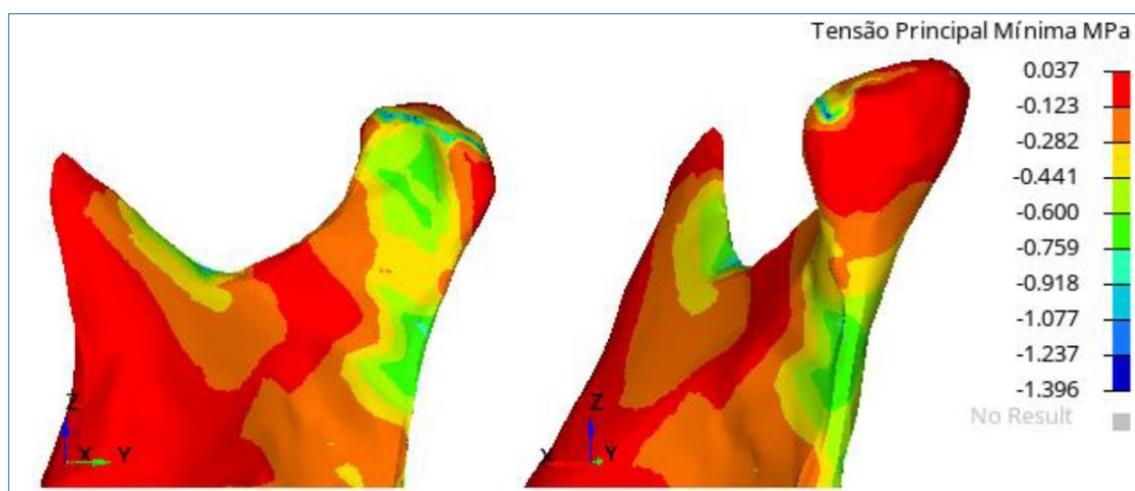


Figura 3.6. Tensão principal mínima no tecido cortical vista lateral e posterior.

Esta simulação utilizou uma força de 4.9 N ou 450 gramas, sendo que a direção da FEO foi estudada para as posições M1-0°, M2-15°, M3-30°, M4-45° e M5-60°. Estes valores referem-se ao ângulo do braço externo do AFTT em relação ao plano oclusal, como se mostra na figura 3.7.

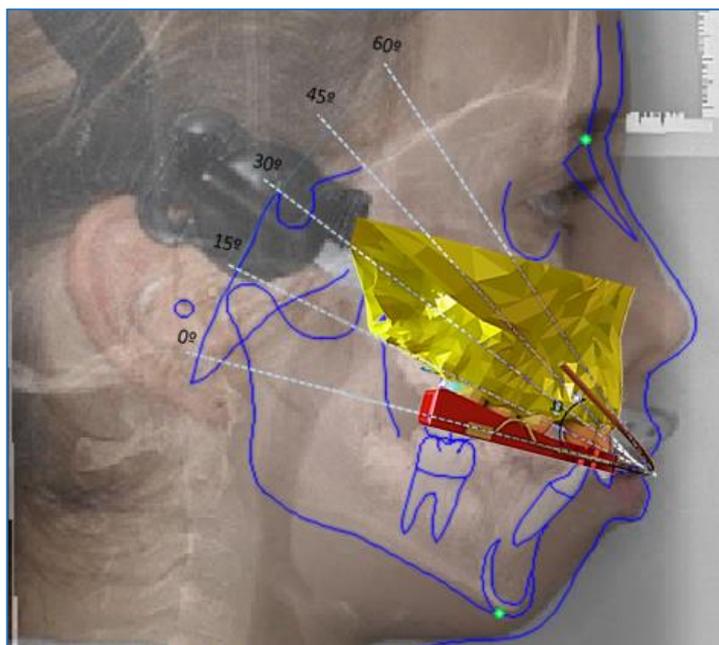


Figura 3.7. Direção da FEO tal como foi aplicada no modelo do MEF

Os resultados mostraram uma variação não significativa na distribuição e magnitude das tensões na mandíbula. Este comportamento pode ser devido à rigidez dos tecidos ósseos e à pequena magnitude da FEO aplicada, que é facilmente redistribuída por todos os dentes da mandíbula e da maxila.

Outro aspeto a considerar nesta análise prende-se com o fato dos vetores e magnitudes das forças musculares serem constantes nas diferentes simulações. Muito provavelmente, a variação da FEO poderá relaxar ou intensificar a atividade dos músculos envolvidos na mandíbula e alterar as forças produzidas por eles.

Para demonstrar as diferenças não significativas das tensões sobre a mandíbula com a variação do ângulo da FEO sobre a mandíbula, mostram-se, na figura 3.8, as tensões principais mínimas em cinco pontos selecionados do tecido cortical do ramo mandibular.

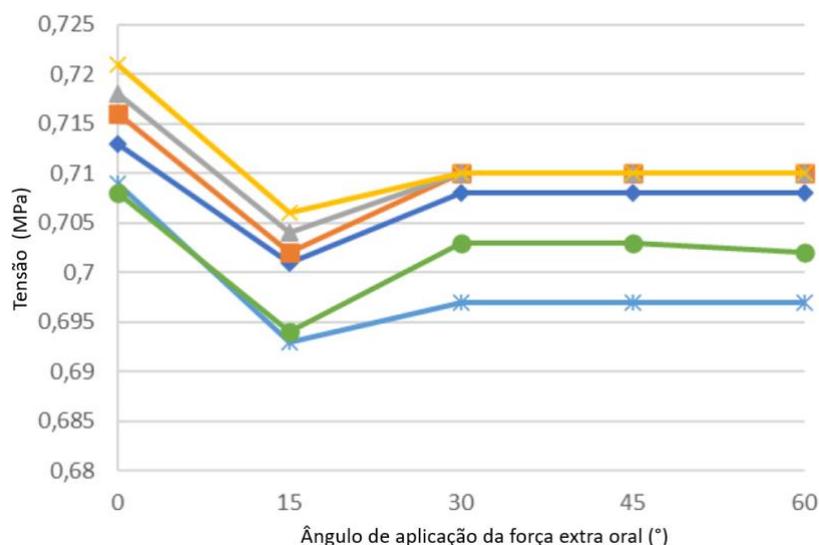


Figura 3.8. Variação da tensão principal mínima para 5 pontos do tecido cortical do ramo mandibular com o ângulo da FEO.

A utilização do AFTT em estudo neste trabalho decorreu no período noturno ao longo de dezoito meses, pelo que a frequência e duração foram parâmetros definidos pelo tratamento. No tecido ósseo sujeito à compressão poderão encontrar-se áreas de reabsorção. Já a tração sobre o tecido poderá conduzir à aposição de tecido ósseo. Trata-se de uma análise qualitativa pois, apesar dos valores terem sido calculados, não foi realizada a comparação com valores experimentais *in vivo*. Contudo, o campo de distribuição de tensões pode ser usado na verificação dos efeitos do tratamento.

3.3. Avaliação 3D da paciente em estudo

3.3.1. Avaliação através de sobreposições 3D

O presente estudo investigou as alterações posicionais da maxila, da mandíbula, dos dentes e das duas articulações temporomandibulares, bem como as alterações faciais globais ocorridas no período de tratamento funcional.

Com o recurso às TCFC inicial e final da terapêutica funcional, através de sobreposições 3D, foi realizada uma avaliação essencialmente qualitativa e pontualmente quantitativa, das alterações dentárias e esqueléticas maxilares e mandibulares e das ATMs resultantes do tratamento com um AFTT numa paciente com má oclusão de Classe II hiperdivergente em crescimento.

As sobreposições sobre o plano sagital médio permitiram verificar que, decorrente do tratamento, houve uma redução das sobremordidas horizontal e vertical. A nível maxilar verificou-se a retroinclinação controlada dos incisivos maxilares, que correspondeu a uma redução de 1,8 mm na sobremordida horizontal. Já a nível mandibular (Figura 3.9), o incisivo mandibular avançou acompanhado de toda a sínfise mandibular, sem sofrer proinclinação, e registou-se simultaneamente uma leve intrusão. Ou seja, a nível mandibular anterior registou-se uma translação de todo o segmento anterior.

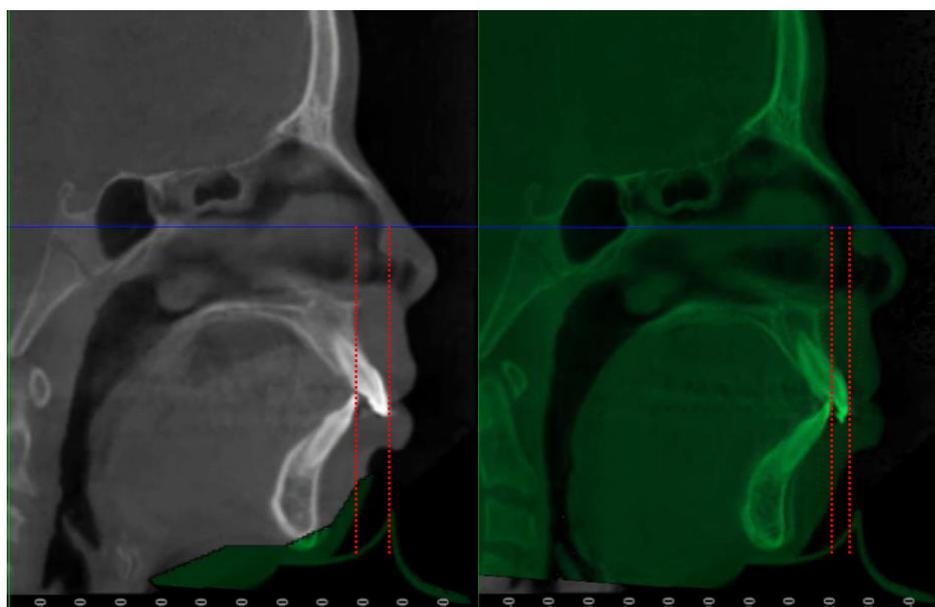


Figura 3.9. Vista plano sagital médio antes e após o tratamento.

A nível da sínfise, no plano sagital médio, o incisivo inferior intruiu 1,4 mm, o ponto supra pogónion registou um avanço de 1,7 mm e o menton desceu 1,4 mm (Figura 3.10).

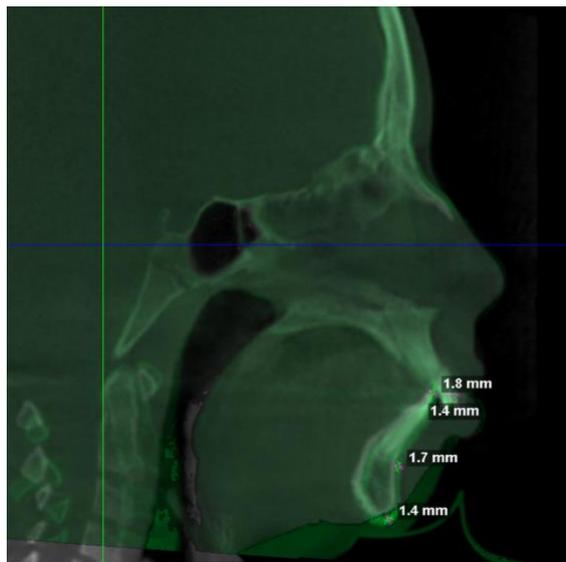


Figura 3.10. Vista plano sagital medio medidas após o tratamento.

Já no plano transversal, pode verificar-se que a nível dos primeiros molares maxilares apresentam um deslocamento vertical de 2,7 mm (Figura 3.11).

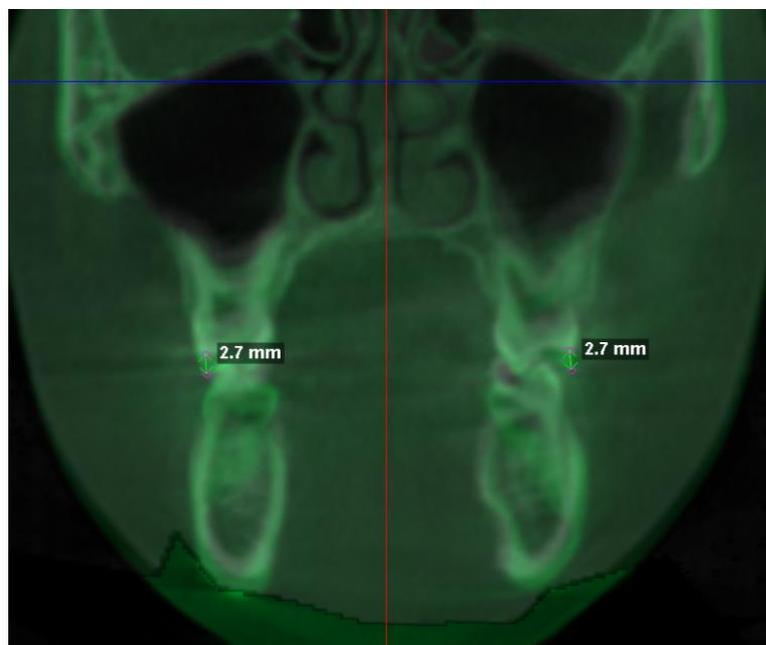


Figura 3.11. Plano transversal após o tratamento.

Ao nível das ATMs, e fazendo uma análise comparativa entre as duas articulações, verifica-se inicialmente uma diferença entre ambas, com um côndilo mais estreito na ATM direita acompanhado por um soalho da cavidade glenóide também ele mais achatado e menos profundo (Figura 3.12)

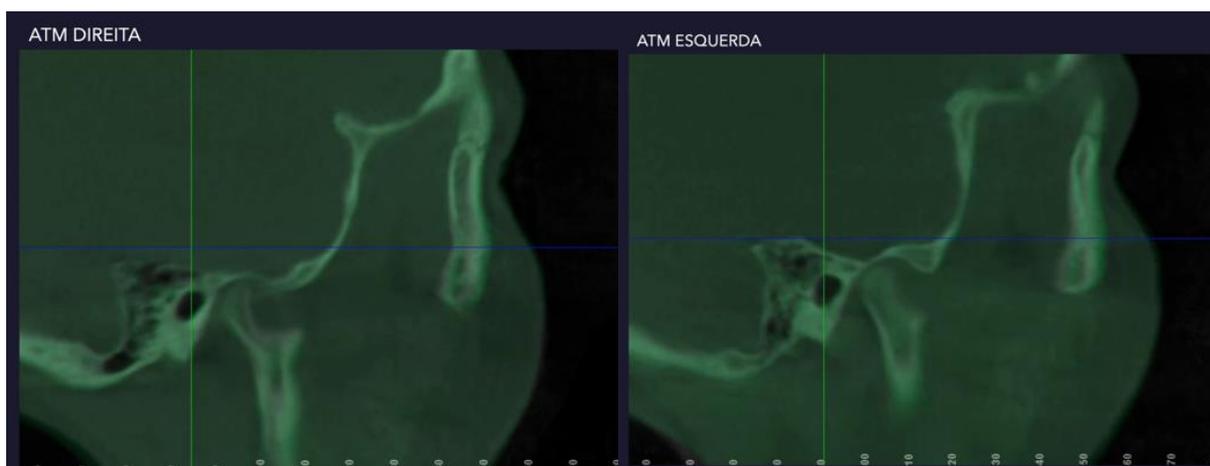


Figura 3.12. Comparação da ATM direita e ATM esquerda.

Considerando separadamente as duas ATMs, verifica-se que na ATM direita, com o decorrer do tratamento, o crescimento condilar foi acompanhado de um recuo dentro da cavidade glenóide com alterações no soalho da cavidade glenóide, que se parecem traduzir num achatamento e alongamento da cavidade (Figura 3.13).

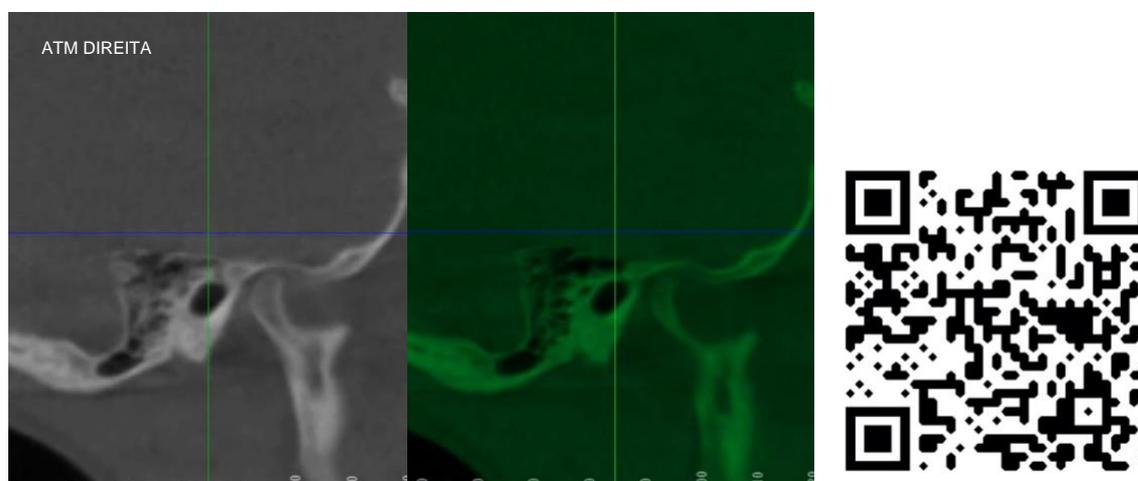


Figura 3.13. Sobreposição ATM direita

No que respeita a ATM esquerda, apesar de apresentar uma morfologia diferenciada relativamente à direita, com um soalho da cavidade glenóide mais definido que à direita, também este côndilo sofreu uma distalização dentro da cavidade durante o tratamento. Nesta articulação, a morfologia da ATM, apesar das alterações ocorridas, manteve a forma inicial (Figura 3.14).

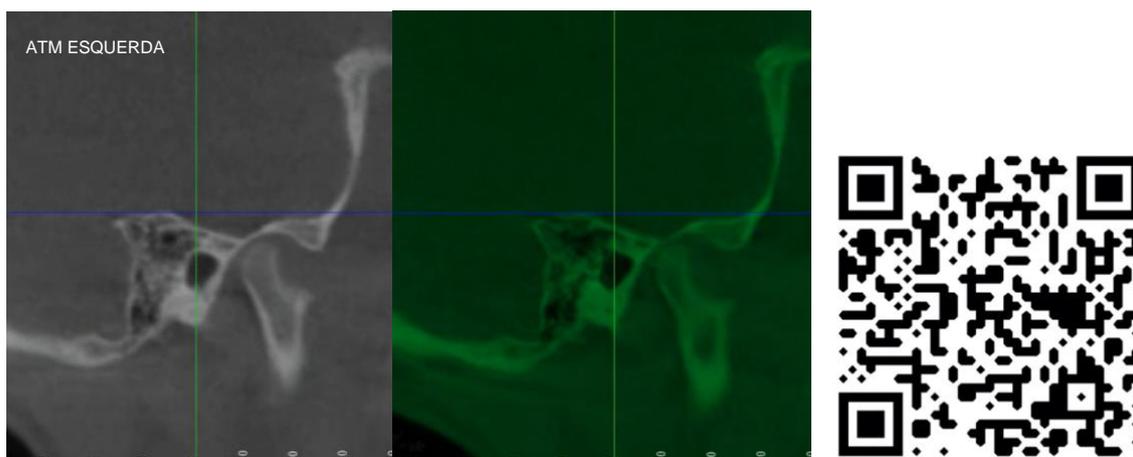


Figura 3.14. Sobreposição ATM esquerda.

Numa perspetiva global (Figuras 3.15, 3.16 e 3.17), as sobreposições 3D permitem verificar que as alterações decorridas durante o período de tratamento foram essencialmente dento-alveolares. De facto, a nível das arcadas dentárias as modificações dento-alveolares confluíram numa melhoria do padrão da má oclusão.

A nível esquelético, na maxila, ao nível do ponto A, não houve registo de alterações posicionais, verificando-se alterações a nível da espinha nasal anterior.

Na mandíbula, registaram-se alterações ao nível da sínfise, com um avanço de 1,7 mm ao nível do ponto supra pogonion e uma alteração vertical de 1,4 mm ao nível do menton. Ao nível do bordo inferior e do ramo mandibular também se registaram alterações. No entanto, em termos globais, a mandíbula descreveu uma rotação em direção horária (Figuras 3.15, 3.16 e 3.17).

No que respeita os tecidos moles, as TCFCs foram efetuadas com o apoio mentoniano condicionando essa mesma análise. Para ultrapassar essa dificuldade, a análise dos tecidos moles será avaliada, através do método de levantamento de forma por processamento de imagem e iluminação estruturada. (Figura 3.17).

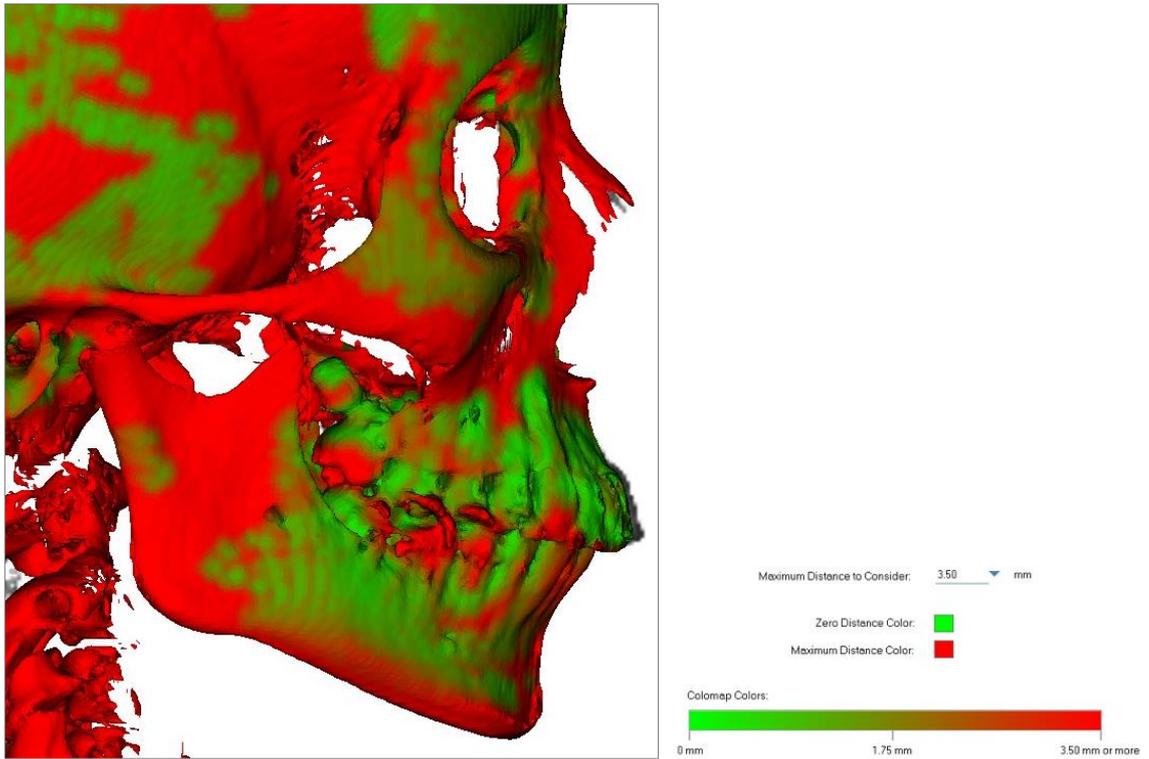


Figura 3.15. Sobreposição de crânio completo. Verde assinala o inicial e vermelho o final.

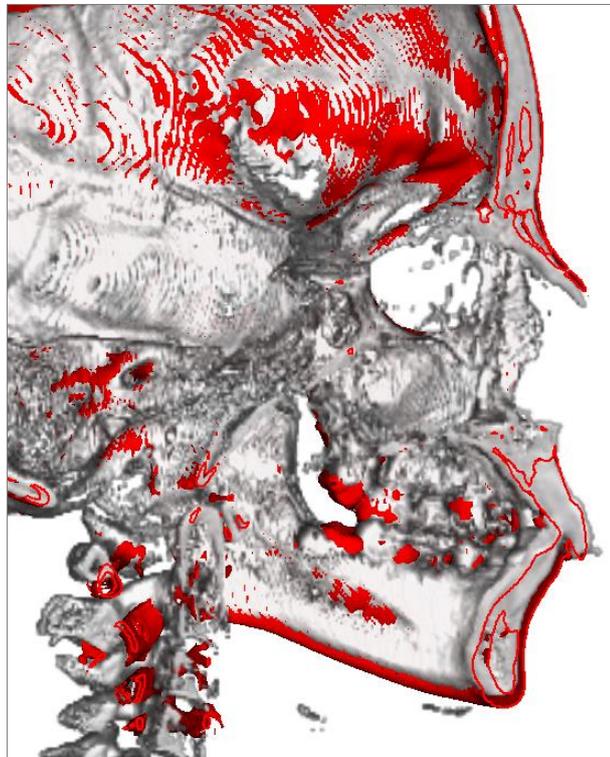


Figura 3.16. Sobreposição de crânio completo ao nível do plano sagital médio, com as alterações entre as TCFC inicial e final assinaladas a vermelho.

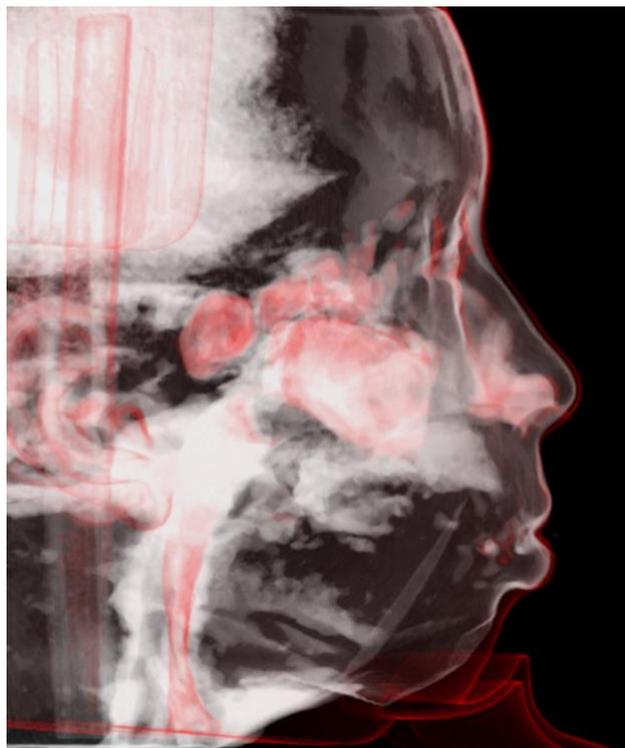


Figura 3.17. Sobreposição dos tecidos moles.

3.3.2. Avaliação pelo método de levantamento de forma por processamento de imagem e iluminação estruturada

Uma vez que o estudo da paciente envolveu também o levantamento de forma por processamento de imagem e iluminação estruturada, as imagens geradas através deste sistema permitiram a análise dos efeitos a nível mandibular e globalmente no perfil dos tecidos moles, através da sobreposição entre os registos inicial e final (Figuras 3.18 e 3.19).

No que respeita a mandíbula, esta tecnologia permitiu verificar alterações não só a nível do côndilo, na sua parte posterior, mas também no ramo e bordo inferior.

Da análise da figura 3.19 constata-se que alguns tecidos (assinalados a vermelho) cresceram em relação à referência (geometria registada antes do tratamento), enquanto outros sofreram um ligeiro recuo (assinaladas a azul). A parte da superfície assinalada a verde permaneceu praticamente intacta. Deste modo, pode dizer-se que o mento, o dorso nasal e a bochecha esquerda sofreram um crescimento em volume enquanto as sobrancelhas, a base alar do nariz e as partes dos lábios tiveram uma ligeira perda de volume.

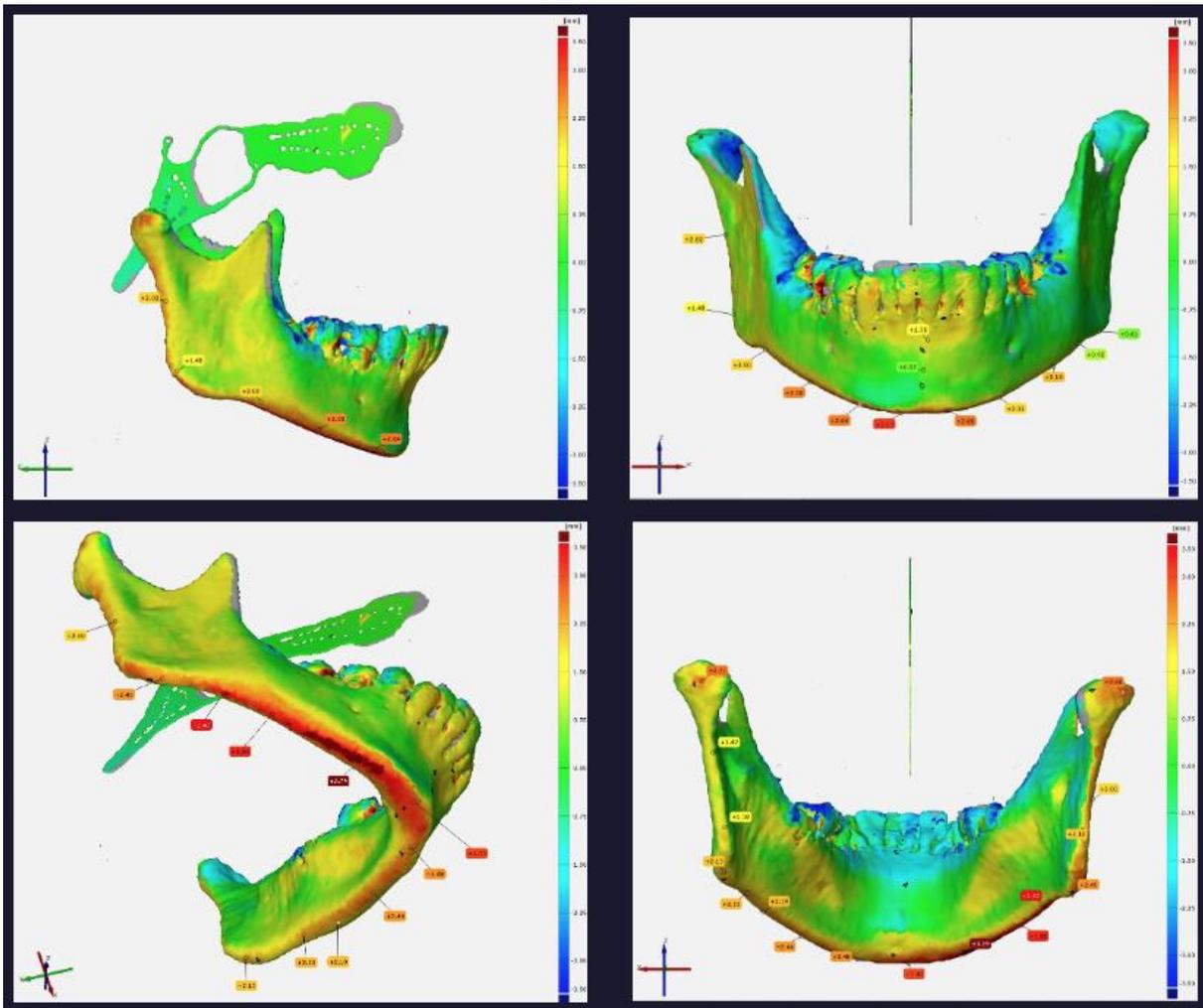


Figura 3.18. Análise da variação da geometria 3D da mandíbula antes e após o tratamento através do método de levantamento de forma por processamento de imagem e iluminação estruturada.

A nível da apófise nasal, os resultados vêm ao encontro dos anteriores, com a sobreposição 3D sobre as TCFC. Aqui foi possível fazer a análise ao nível do mento, verificando-se alterações sem significado a este nível, evidenciando ligeiras alterações do mento em direção anterior. As alterações mais notórias ocorreram ao nível dos tecidos moles e do bordo inferior da mandíbula.

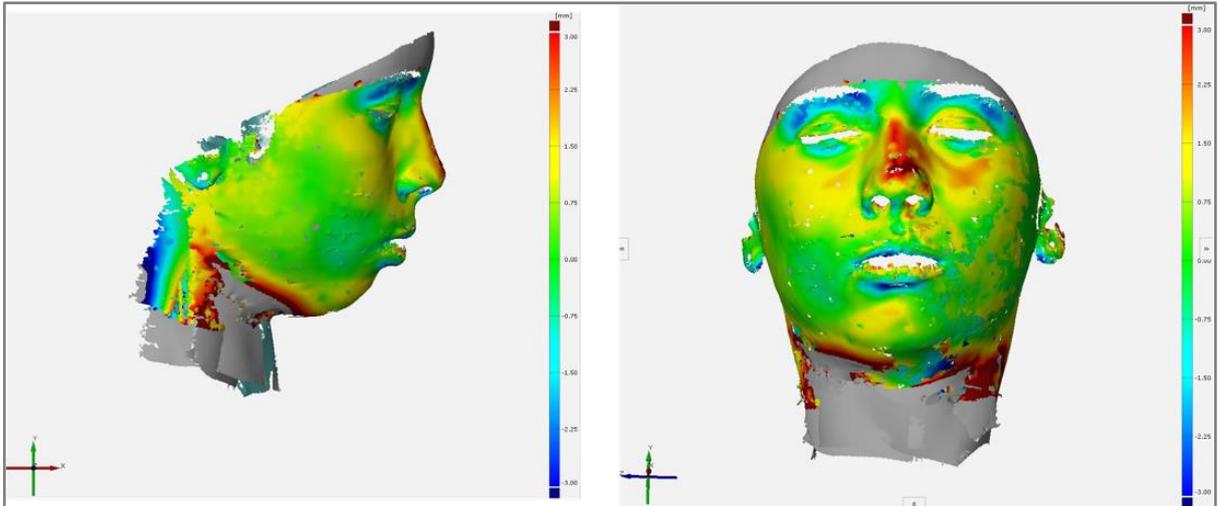


Figura 3.19. Comparação da geometria facial 3D da paciente antes e após o tratamento através do método de levantamento de forma por processamento de imagem e iluminação estruturada.

CAPÍTULO 4.

DISCUSSÃO

4. DISCUSSÃO

Devido à sua complexidade os pacientes hiperdivergentes retrognáticos estão entre os mais difíceis de tratar, sendo ainda um grande desafio para os ortodontistas.⁴

Os indivíduos com má oclusão de Classe II hiperdivergentes apresentam discrepância das bases ósseas que resultam de uma desarmonia entre as porções anterior e posterior da face, acompanhada por uma hiperplasia alveolar maxilar, com um crescimento vertical excessivo da maxila e retrognatismo mandibular.

No tratamento destes pacientes têm sido usados aparelhos funcionais combinados com FEO, com o intuito de promover uma maior restrição ou limitação do crescimento esquelético maxilar e do movimento dentário maxilar, contribuindo assim para a correção diferencial da discrepância ântero-posterior entre a arcada maxilar e a arcada mandibular. No entanto, alguns efeitos adversos, como a rotação da mandíbula no sentido horário, a restrição parcial do deslocamento anterior da maxila, o aumento da altura facial ântero-inferior e a pro-inclinação aumentada dos incisivos mandibulares têm sido referidos em alguns estudos.^{9,180-182}

Alguns investigadores^{11,12} têm mostrado que a tensão transmitida por estes aparelhos é um fator determinante na remodelação óssea. Na relação entre a remodelação óssea e a tensão, a tração ou compressão alteram a atividade celular e resultam em reabsorção ou aposição. No entanto, os detalhes deste mecanismo ainda não são consensuais entre os autores que têm estudado o tema. Se por um lado, certos autores verificaram algumas mudanças aposicionais no corpo, ramo e regiões condilares da mandíbula,^{13,14,259} por outro lado, outros autores acreditam que estes aparelhos não modificam o crescimento mandibular, sugerindo que todas as mudanças durante o tratamento ocorreriam devido ao crescimento e desenvolvimento esqueléticos normais.^{15,16,260,261}

O controlo dos efeitos verticais adversos durante o tratamento ortodôntico com FEO é de grande importância em pacientes que apresentam uma maior dimensão vertical, particularmente em pacientes em crescimento.^{183,262}

A extrusão dos molares maxilares pode resultar em efeitos indesejáveis em pacientes com má oclusão de Classe II hiperdivergentes, nomeadamente a inclinação aumentada do plano mandibular e rotação mandibular no sentido horário, com prejuízo para o perfil facial.²⁶³⁻²⁶⁶

Alguns autores afirmam²⁶³⁻²⁶⁵ que a mitigação destes efeitos adversos poderá ser conseguida com a aplicação da FEO com tração occipital já que previne a extrusão dos molares maxilares e a rotação mandibular no sentido horário. Pelo contrário, outros autores^{20,168,267,268} afirmam que a aplicação da FEO com tração cervical é mais eficaz na promoção significativa da rotação da mandíbula no sentido anti-horário e no deslocamento distal da maxila com rotação no sentido horário, parecendo beneficiar mais os pacientes hiperdivergentes com má oclusão de Classe II. *Zervas* e coautores²² e *Sambataro* e coautores^{19,21} afirmam que a aplicação da FEO com tração cervical parece funcionar sinergicamente com o crescimento ao nivelar o plano oclusal após a extrusão dos molares maxilares. O plano oclusal parece representar o ponto chave das mudanças na posição mandibular e das diferentes estruturas dento-esqueléticas.²¹ Uma possível razão para as diferentes opiniões entre os defensores da aplicação da FEO com tração cervical ou de tração occipital é que várias publicações científicas não especificam os padrões esqueléticos dos pacientes nas suas amostras,²⁶⁹⁻²⁷² nem tão pouco fazem a distinção da aplicação da FEO, combinada com diferentes aparelhos ortodônticos.^{264,272}

Os efeitos do tratamento com a aplicação da FEO podem variar com o tipo de padrão de crescimento inicial.²⁷¹ Alguns autores observaram a rotação horária da mandíbula e abertura da mordida,^{265,273} em casos de indivíduos com padrões de crescimento, principalmente hipodivergentes,²⁷⁴ assumindo que reações semelhantes também ocorrem em pacientes com dimensão vertical aumentada.²⁷³ Além disso, apenas foi relatado um aumento temporário do ângulo FMA durante a fase inicial do tratamento com a aplicação da FEO com tração cervical, em pacientes com má oclusão de Classe II.^{20,272}

Recentemente, *Zervas* e coautores¹⁹ relataram uma redução da dimensão vertical em sujeitos de Classe II em crescimento tratados com a aplicação da FEO com tração cervical, em comparação com uma amostra tratada com a aplicação da FEO com tração occipital. No entanto, apesar dos resultados, o estudo apresentou uma limitação que pode originar algum enviesamento dos resultados, uma vez que o grupo controlo foi gerado a partir de um modelo computadorizado de previsão de crescimento.

Esta falta de consenso nas opiniões e abordagens entre os vários autores que têm estudado o uso da FEO no tratamento da má oclusão de Classe II hiperdivergente, com estratégias díspares, revela que esta temática não está encerrada. De facto,

ainda há um grande desconhecimento do efeito destas terapêuticas no crescimento craniofacial. Os estudos comparativos bidimensionais (2D), ao não possibilitarem uma verificação cabal de todas as estruturas envolvidas nestes tratamentos, têm alimentado estas controvérsias. Uma abordagem mais global e o respetivo aporte de conhecimento que a tecnologia tridimensional (3D) podem vir a ser fundamentais para o esclarecimento e interpretação dos efeitos do crescimento vs. do tratamento.

De facto, recentemente, com o avanço e a utilização aumentada da Tomografia Computadorizada de Feixe Cónico (TCFC), a precisão e a compreensão das regiões da maxila, da mandíbula e da ATM têm aumentado, com a criação de modelos 3D do esqueleto dento-facial.^{204,205} Esta técnica produz imagens de alta resolução com mínima distorção e menor dosagem de radiação do que a tomografia médica na radiologia convencional. As técnicas de cefalometria 2D apresentam algumas imprecisões e erros que se devem não tanto à disponibilidade de informações importantes, mas aos erros inerentes ao próprio método.^{138,209,210}

As principais vantagens da análise 3D são a possibilidade de avaliar estruturas pouco nítidas em telerradiografias em perfil, bem como alterações anatómicas unilaterais ou assimétricas decorrentes do crescimento ou do tratamento. A avaliação 3D permite ao clínico analisar os volumes 3D e observar múltiplas visualizações no espaço, em vez de uma visualização sagital ou coronal em cortes, e também fazer uma avaliação individual de cada ATM.^{248,275}

O Método de Elementos Finitos (MEF) tem vindo a ser cada vez mais utilizado, tornando-se uma mais-valia na Ortodontia. O MEF é uma ferramenta numérica de engenharia que permite avaliar as ações e os efeitos das cargas (tração e compressão) em estruturas vivas ou inertes, proporcionando a avaliação tridimensional da distribuição das tensões mecânicas induzidas por aparelhos ortodônticos. *In vitro*, o ambiente oral pode ser simulado juntamente com a visualização gráfica do deslocamento das estruturas craniofaciais. Variando o ponto de aplicação, magnitude e linha de direção de uma força, a situação clínica pode ser facilmente simulada. As propriedades físicas do material utilizado não são afetadas pela reprodutibilidade. Outra vantagem do MEF incluiu a repetição do estudo quantas vezes o operador desejar. O MEF é, portanto, introduzido como uma poderosa ferramenta de pesquisa em Ortodontia, que é utilizada para tentar resolver vários problemas biomecânicos.²⁷⁶

Para a implementação do MEF, no presente estudo, os modelos da maxila e da mandíbula foram desenvolvidos separadamente a partir da TCFC inicial de uma paciente do sexo feminino com 10 anos de idade, que apresentava uma má oclusão de Classe II divisão 1, com um padrão hiperdivergente.

Todos os materiais dos modelos foram considerados elásticos e isotrópicos.¹⁹⁷ Parâmetros relevantes, como o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson foram determinados a partir de dados experimentais obtidos por outros autores.^{252,253} O ligamento periodontal não foi considerado neste estudo. Tal decisão teve como fundamento evitar quaisquer inconsistências e imprecisões associadas à modelação de materiais com distintas propriedades mecânicas, isto é, não lineares.¹⁹⁷ A mesma estratégia foi adotada por outros autores que também estudaram a distribuição das tensões e os deslocamentos, em várias estruturas craniofaciais, através do MEF.^{25,196}

Existem poucos estudos publicados na literatura que esclareçam claramente os reais efeitos da dissipação das tensões biomecânicas na maxila e na mandíbula e na ATM, transmitidas pelos aparelhos funcionais combinados com FEO, decorrentes do tratamento da má oclusão de Classe II hiperdivergente.^{25,193,196}

4.1. Avaliação da distribuição das tensões na maxila

A aplicação de FEOs tem sido uma abordagem muito utilizada em pacientes hiperdivergentes em crescimento, com má oclusão de Classe II. A FEO é transmitida em direção posterior e superior aos dentes e à maxila, comprimindo as suturas maxilares, limitando ou redirecionando o crescimento maxilar e alterando o padrão de aposição óssea. Os efeitos das tensões transmitidas à maxila neste tipo de tratamento são de fundamental importância, tendo sido até ao momento objeto de poucos trabalhos investigação.

Na utilização de FEOs importa considerar alguns parâmetros, como a magnitude, o ponto de aplicação e a linha de ação da força entre outros. É importante conhecer o ponto de aplicação da força para melhor compreender as alterações produzidas na inclinação do plano palatino. Se o vetor de força passar pelo centro de resistência da maxila, não será criado nenhum momento e não se deve esperar rotação. No entanto, se o vetor de força não for coincidente com o centro de resistência da maxila, pode esperar-se uma rotação da maxila. Nesse caso, a direção

e o momento criados dependerão da distância perpendicular mais curta entre o vetor de força e o respetivo centro de resistência. *Teuscher*⁷ demonstrou que quando se utiliza uma FEO em que a linha de ação da força seja coincidente com o Centro de Resistência da Maxila (CResM) e o Centro de Resistência da Dentição Maxilar (CResD), não são de esperar rotações, nem da maxila nem da dentição maxilar. Mas se essa linha da ação da força passar entre o CResM e o CResD, a maxila apresenta uma rotação horária e a dentição maxilar apresenta uma rotação anti-horária. Já se a linha da ação da força passar abaixo do CResM e do CResD, a maxila e a dentição apresentam uma rotação horária.

Tendo em consideração estes parâmetros, no presente estudo foram avaliados comparativamente os efeitos das tensões transmitidas à maxila por um Aparelho Funcional do Tipo *Teuscher* (AFTT), combinado com cinco diferentes linhas da ação da FEO, de forma a identificar qual a linha da ação que mais se adequava ao controlo vertical e sagital, no tratamento da má oclusão de Classe II hiperdivergente em crescimento (Figura 2.1).

No presente estudo, o Modelo 3 (30°) (Figuras 2.1 e 3.1) foi o mais consistente com os objetivos clínicos do tratamento da má oclusão de Classe II hiperdivergente em crescimento, traduzido pelo deslocamento de translação dos dentes maxilares e do complexo nasomaxilar no sentido posterior. De facto, ao promover a limitação dos deslocamentos anterior e inferior resultantes do crescimento normal, contribui-se para a correção da discrepância esquelética, já que proporciona um crescimento diferencial do complexo maxilo-mandibular. Poucos estudos publicados avaliaram os efeitos da aplicação da FEO na maxila, através do MEF. *Gautam* e coautores²⁵ simularam biomecanicamente, através do MEF, a aplicação da FEO direcionada posteriormente aos molares maxilares, com tração cervical, horizontal e occipital. Os autores observaram um deslocamento posterior da maxila, com rotação do plano palatino no sentido horário. O deslocamento distal da maxila foi maior com a FEO de tração horizontal, seguido pela tração cervical e occipital, concluindo que esta última originou um melhor controlo nas dimensões verticais e na restrição do vetor de crescimento ântero-inferior da maxila, o que foi também corroborado pelo estudo de *Maruo* e coautores.¹⁹³ Estes achados são concordantes com o Modelo 3 (30°) do presente estudo, assumindo que a linha da direção da FEO nesse modelo corresponde à tração occipital.

Também no estudo recente de *Kendre* e coautores,²⁷⁷ que teve como objetivo avaliar a distribuição de tensão na maxila transmitida por um aparelho funcional fixo (*Power Scope*) usando o MEF, os autores encontraram uma maior concentração de tensão na zona posterior e nos molares maxilares, sendo observado no complexo maxilar um efeito pronunciado semelhante à aplicação da FEO com tração occipital, uma distalização e intrusão significativa dos primeiros molares maxilares e inclinação para baixo do plano palatino. Estes efeitos são concordantes com os resultados encontrados no estudo de *Pancherz* e coautores,¹⁷⁶ em que foram avaliados os efeitos na maxila do aparelho funcional fixo *Herbst*.

Nos estudos anteriormente referenciados, as maiores concentrações de tensões foram encontradas na zona dos molares maxilares e zona posterior da maxila, contrariamente ao que ocorreu no presente estudo, em que a maior concentração de tensão foi verificada na zona anterior da maxila. Talvez o motivo dessa ocorrência esteja no facto da FEO ser dissipada também nas estruturas englobadas pelo acrílico do AFTT, já que no presente estudo, o AFTT também foi modelado.

Na realidade, as estruturas representadas no presente estudo apresentam um dinamismo que não é estreitamente sobreponível ao apresentado nestes modelos. As propriedades dos materiais aqui considerados representam valores médios que não têm em conta, a diferenciação individual, idade, género ou o regime alimentar do paciente.

Apesar das limitações referidas, os resultados obtidos neste estudo são de grande utilidade, pois fornecem informação pertinente aos ortodontistas, permitindo a otimização dos procedimentos clínicos. De facto, o impacto que as diferentes linhas de ação da FEO apresentam no efeito clínico salientam a importância de um controlo preciso na utilização da FEO, no sentido de se obterem os resultados almejados no planeamento do tratamento.

4.2. Avaliação da distribuição das tensões na mandíbula

A análise da mandíbula assume maior complexidade que a da maxila, pois esta está sujeita às tensões geradas ao nível da ATM e também às ações musculares e forças exercidas pelos dentes em oclusão, sendo um osso independente do crânio.

No presente estudo, as forças musculares foram consideradas,^{278,279} contrariamente a outros estudos,^{194,280} em que os efeitos dos músculos mastigatórios foram negligenciados.

Na verdade, a mandíbula não é uma estrutura estática cujas forças sejam de fácil controlo e avaliação. A posição mandibular é mantida pelo equilíbrio harmonioso dos músculos, ligamentos, sistema neuro vascular e pele facial. Por esse motivo, é de fundamental importância ter em consideração as forças musculares para obtenção de resultados confiáveis.

No caso em análise, o AFTT foi aplicado no complexo maxilo-mandibular onde se assumiu que permanecia estático durante a utilização. Na simulação na mandíbula foi aplicada uma força com efeito esquelético com a magnitude 4,4 N (450 g) em cada lado do modelo. As forças exercidas pelos músculos foram calculadas em função das *Cross-Sectional Areas* (CSA), de acordo com os estudos de *Koolstra e van Eijden*.¹⁹⁸ Estes autores determinaram as forças máximas que cada músculo pode exercer, com base na CSA de um músculo que foi obtida por *Weijs WA*.¹¹² Foram consideradas as forças exercidas pelos principais músculos: os masséteres, pterigóideos medial e lateral e os temporais^{255,256} e também a respetiva direção dos vetores das forças musculares²⁵⁸ (Tabela 2.3). A partir dos estudos realizados por *Uner* e coautores²⁵⁷ obtiveram-se valores para as forças musculares exercidas durante o tratamento. Estes autores avaliaram a ativação muscular através de eletromiografia em pacientes com má oclusão de Classe II tratados com um ativador semelhante ao usado neste estudo. Quando aos pacientes foi pedido para exercer a força máxima de mastigação (forças ativas), verificou-se que as ativações musculares aumentavam aproximadamente em 22 vezes a força exercida, quando comparadas com as forças passivas. Para o melhor desempenho do ativador são necessárias forças musculares passivas, nessa conformidade as forças anteriormente calculadas devem ser divididas por 22 de modo a obter uma boa aproximação das forças musculares exercidas durante a utilização do AFTT (Tabela 2.3).

No modelo mandibular do presente estudo, as tensões ocorreram predominantemente na parte posterior da mandíbula, correspondente à região de inserção muscular, verificando-se uma maior concentração de tensão no processo coronóide, zona anterior do ramo montante, na fosseta pterigoide e na superfície superior do côndilo.

Ulusoy e coautores¹⁹⁶ simularam os efeitos na mandíbula do ativador combinado com a FEO *versus* o ativador, no tratamento da má oclusão de Classe II utilizando o MEF, e verificaram que o processo coronóide foi sujeito a maior tensão o que está de acordo com o presente estudo. Segundo estes autores, isto pode estar relacionado com o facto de ser o local de fixação do músculo temporal. Como o processo coronóide tende a mover-se anteriormente pela ativação sagital dos aparelhos funcionais de Classe II, o músculo temporal contraria esse movimento criando áreas de tensão na zona anterior superior e medial do processo coronóide. Acredita-se que estas regiões de tensão podem resultar em proliferação localizada de células e atividade de crescimento.¹⁹⁴

Também outras investigações²⁰⁴⁻²⁰⁷ aproveitaram as vantagens do MEF para avaliar a distribuição de tensões na ATM, nomeadamente, no colo do côndilo, na fossa glenóide e no disco articular, após simulação da propulsão mandibular.

No presente estudo, foi encontrada uma concentração aumentada de tensão na superfície superior do côndilo, o que está de acordo com os estudos de *Gupta* e coautores,^{204,205} que indicam que na protrusão mandibular, o côndilo apresenta um aumento de tensões de tração póstero-superior. Segundo os autores, isto pode ajudar a explicar o crescimento condilar nessa direção. Também *Shrivastava* e coautores²⁰⁶ verificaram que a magnitude das tensões aumenta com diferentes avanços da mandíbula, apesar da direção das tensões ter sofrido alguma alteração, com maiores avanços. Estes autores observaram uma maior concentração de tensões de tração na face posterior da fossa glenóide e tensões compressivas na zona articular.

Num estudo da ATM com MEF, publicado por *Sagl* e coautores,²⁵⁴ em que o disco, cartilagens e ligamentos foram modelados, os autores encontraram um campo de tensões semelhante e uma tensão máxima von Mises de 2 MPa. Também *Citarella* e coautores,²⁸¹ que consideraram a anisotropia dos tecidos ósseos, obtiveram o valor de 2 MPa de tensão von Mises máxima na superfície do côndilo, resultados idênticos aos do presente estudo.

Recentemente, *Zhu* e coautores²⁰⁷ avaliaram a distribuição de tensões, nos dentes e na ATM, geradas por um aparelho funcional fixo combinado com alinhadores, utilizando o MEF. Estes autores verificaram que o avanço mandibular resultou em alterações de tensões na ATM, incluindo a diminuição da tensão na face posterior e superior do côndilo, tornando a face anterior do côndilo e o disco articular uniformemente afetados e gerando uma tensão de tração na fossa glenóide.

No presente estudo, a variação da distribuição da tensão não foi significativa. Este comportamento pode estar relacionado com a rigidez dos tecidos ósseos e com a pequena magnitude da FEO aplicada, que é facilmente redistribuída por toda a mandíbula e maxila através do acrílico do AFTT. Outro aspeto a considerar nesta análise prende-se com o fato dos vetores e magnitudes das forças musculares serem constantes nas diferentes simulações. Muito provavelmente, a variação da direção da FEO irá relaxar ou intensificar a atividade dos músculos envolvidos na propulsão mandibular e alterar as forças produzidas por eles.

O presente estudo faz uma análise qualitativa no modelo mandibular. Para a estruturação da metodologia, que permitiu a obtenção dos presentes resultados, recorreu-se a parâmetros recolhidos a partir de estudos prévios.^{198,257,258} Contudo, não foi realizada qualquer quantificação de efeitos ou comparações com valores experimentais *in vivo*. Apesar dessa debilidade metodológica, julgou-se oportuno considerar o campo de distribuição de tensões resultante e fazer a respetiva extrapolação, para uma melhor análise e compreensão dos efeitos do AFTT no tratamento da má oclusão de Classe II. Outras debilidades ou limitações do presente estudo foram a não modelação do ligamento periodontal e a assunção da ATM como um contacto linear, o que não representa o comportamento natural, afastando-se da realidade.

Parece ainda relevante referir que os estudos com MEF anteriormente mencionados, são simulações que não têm em conta o crescimento natural do paciente, fator de fundamental importância nos pacientes em crescimento.

4.3. Avaliação 3D da paciente em estudo

Para o presente estudo foi selecionada uma paciente em crescimento com má oclusão de Classe II com uma hiperdivergência leve a moderada, na tentativa de representar a maioria dos pacientes com má oclusão de Classe II com padrão hiperdivergente, tratados na prática clínica quotidiana.

Tanto quanto é do nosso conhecimento, até ao momento não existe nenhum estudo publicado em que tenham sido avaliados os efeitos de um AFTT no tratamento da má oclusão de Classe II em pacientes em crescimento, através de sobreposições 3D e levantamento de forma por processamento de imagem e iluminação estruturada.

4.3.1. Avaliação através de sobreposições 3D

O presente estudo investigou as alterações posicionais da maxila, da mandíbula, dos dentes e das duas ATMs, bem como as alterações faciais globais ocorridas no período de tratamento funcional da paciente em estudo, correspondendo a 18 meses de uso do AFTT.

Com o recurso à TCFC inicial e final, através de sobreposições 3D, foi realizada uma avaliação essencialmente qualitativa e pontualmente quantitativa, das alterações dentárias e esqueléticas maxilares e mandibulares e das ATMs, resultantes do tratamento funcional com um AFTT da paciente em estudo.

Numa perspetiva global, as sobreposições 3D da paciente permitiram verificar que as alterações decorridas durante o período de tratamento foram essencialmente dento-alveolares. De facto, a nível das arcadas dentárias, as modificações dento-alveolares confluíram numa melhoria do padrão da má oclusão, o que está de acordo com outros estudos,^{8,187,190} conseguindo obter-se uma relação de Classe I molar de Angle. No entanto, a nível esquelético os objetivos delineados não foram atingidos na sua plenitude.

No presente estudo, através das sobreposições 3D²⁴⁹ verificou-se uma redução das sobremordidas horizontal e vertical, os mesmos achados foram encontrados nos estudos de *Mársan* e coautores,⁸ *Türkkahraman* e coautores⁹ e *Pancherz* e coautores,¹⁵ que observaram alterações dento-alveolares significativas devido ao tratamento com ativadores e ativadores combinados com FEO. *Pancherz* e coautores¹⁵ verificaram que mais de metade da correção da sobremordida horizontal foi conseguida pela retroinclinação do incisivo maxilar. Na paciente em estudo verificou-se uma retrusão dos incisivos maxilares, que correspondeu a uma redução de 1,8 mm na sobremordida horizontal. De referir que as molas anteriores acopladas no AFTT permitiram, não somente, a ancoragem e estabilização do AFTT, mas também se revelaram eficazes no movimento de retrusão dos incisivos maxilares. Esta retrusão é resultante do binário produzido peloacrílico do AFTT em palatino e pelo apoio das molas em cervical nas faces vestibulares das coroas dos incisivos maxilares.

Já a nível mandibular (Figura 3.9), o incisivo mandibular avançou acompanhado de toda a sínfise mandibular, sem sofrer proinclinação e registando-se simultaneamente uma leve intrusão. Ou seja, ao nível mandibular anterior registou-se

uma translação de todo o segmento anterior (o ponto supra pogónion registou um avanço de 1,7 mm, o menton desceu 1,4 mm e o incisivo mandibular instruiu 1,4 mm).

A retroinclinação aumentada dos incisivos maxilares e a proinclinação dos incisivos mandibulares, produzida por grande parte dos ativadores²⁸² utilizados no tratamento da má oclusão de Classe II, são efeitos adversos, que devem ser contrariados. Para evitar estes efeitos adversos, o AFTT utilizado no tratamento da paciente em estudo foi fabricado segundo o preconizado por *De Pauw e Dermaut*,²⁸³ incluindo as molas de torque nos incisivos maxilares e a extensão do acrílico em anterior inferior sobre as bordas incisais e superfícies vestibulares dos incisivos mandibulares, exceto na região maxilar anterior por palatino para permitir a retrusão dos incisivos maxilares. Também se incluiu a utilização de tubos extra-orais na região dos pré-molares que permite o uso de FEO. Os incisivos mandibulares da paciente em estudo não apresentaram proinclinação, talvez pelo facto de estarem englobados no acrílico do AFTT.

Türkkahrman e coautores⁹ e *Lall* e coautores¹⁹¹ advogavam também que a combinação de um ativador com FEO é a melhor opção, em comparação com o ativador usado isoladamente, já que proporciona um melhor controlo da inclinação axial dos incisivos mandibulares. Este é, de facto, um efeito desejável para a correção em maior extensão da sobremordida horizontal.

Outro objetivo do tratamento da má oclusão de Classe II hiperdivergente é limitar o deslocamento anterior e inferior da maxila e dos molares maxilares que ocorrem devido ao crescimento natural.¹⁴² No presente estudo, a posição da maxila não se alterou, mas contrariamente ao objetivo pretendido, os primeiros molares maxilares apresentaram um deslocamento vertical de 2,7 mm (Figura 3.11), um valor maior que o espetável no crescimento normal (aproximadamente 1,5 mm/18meses). Uma explicação para a incongruência entre os efeitos reais e aqueles que eram esperados poderá estar relacionada com o facto de, por um lado, o aparelho AFTT ser um bloco de acrílico que encapsula toda a dentição funcionando como um todo, e, por outro lado, ser difícil controlar com exatidão a direção de aplicação da FEO durante todo o tratamento. Clinicamente, é perceptível o efeito das inclinações aplicadas ao braço externo da FEO sobre toda a arcada da dentição maxilar, nomeadamente, sobre o primeiro molar maxilar, com um possível efeito extrusivo fruto de inadequadas inclinações. Possivelmente reside neste aspeto a explicação para o efeito encontrado nas sobreposições em apreço.

Relativamente às duas ATMs, no presente estudo verificam-se diferenças morfológicas entre ambas, um côndilo mais estreito na ATM direita acompanhado por um soalho da cavidade glenóide também ele mais achatado e menos profundo. Já a ATM esquerda apresenta um côndilo menos estreito e um soalho da cavidade glenóide mais definido. O estudo comparativo permite assinalar que o crescimento condilar foi acompanhado de uma distalização e distração dentro das cavidades glenóides. A morfologia das ATMs e, em particular, a posição do côndilo no espaço articular são fatores importantes a considerar no momento do estabelecimento do plano de tratamento, já que a anatomia do côndilo pode levar a alterações na oclusão, principalmente em pacientes com côndilos pequenos ou fossas de maiores dimensões, como os hiperdivergentes.⁵⁶ Côndilos pequenos podem não fornecer suporte confiável para grandes alterações oclusais, podendo ser facilmente deslocados, dificultando a estabilidade articular.^{284,285} O crescimento sagital do côndilo em pacientes hiperdivergentes,³⁰ que leva à rotação de crescimento para trás da mandíbula e à inclinação para trás da cabeça do côndilo,¹³⁰ pode originar um côndilo posicionado superiormente e um pequeno espaço articular superior.^{57,286} Os hiperdivergentes com espaço articular superior menor apresentam uma maior possibilidade de aumento da altura facial anterior devido à redução do potencial de crescimento condilar.^{57,286} Também a posição condilar intrarticular, quando não coincidente com a posição de equilíbrio em relação cêntrica, pode camuflar a má oclusão real do paciente, podendo esta revestir-se de características diferenciadas daquelas que são consideradas na posição de máxima intercuspidação habitual.²⁸⁷⁻²⁹⁰ De facto, a posição condilar está muitas vezes sujeita ao efeito de prematuridades oclusais que, ao induzirem engramas neuromusculares para alcançar a posição de máxima intercuspidação, impõem uma adaptação na posição condilar.²⁹¹ No presente estudo, o relato do efeito comparativo da posição condilar com o tratamento poderá estar relacionado com o facto de os dentes posteriores, os primeiros molares maxilares, terem sofrido uma extrusão, resultando daí um conflito que conduziu a uma adaptação intrarticular do côndilo com uma distalização e distração. Investigações anteriores indicam que em pacientes com um tipo facial hiperdivergente, o deslizamento cêntrico induzido por prematuridades oclusais representa um mecanismo de compensação do desequilíbrio facial. Uma vez que a mandíbula se articula com a base craniana, o crescimento vertical da face anterior deve corresponder ou estar em equilíbrio, idealmente, com o crescimento facial posterior.²⁹²

Contudo, se isto não ocorrer, o côndilo pode rodar na articulação temporomandibular ou deslizar vertical ou ântero-posteriormente para se ajustar ao desequilíbrio.^{287,288,293,294} De acordo com o estudo de Ponces e coautores,²⁹¹ o tipo facial hiperdivergente é aquele que apresenta um risco mais significativo de distração condilar vertical. Portanto, se a discrepância condilar entre a relação cêntrica (RC) e a posição correspondente à máxima intercuspidação não for considerada durante a avaliação dos casos ortodônticos, o risco de introduzir imprecisões no diagnóstico em todos os biótipos faciais é grande, sendo mais significativo nos pacientes hiperdivergentes.

Até agora, além dos exames imagiológicos como as tomografias à ATM, uma das metodologias mais usuais para avaliar as discrepâncias entre a RC e oclusão cêntrica (OC) era o recurso às montagens em articuladores semi ou totalmente ajustáveis. Atualmente, as tomografias médicas e as TCFC vêm trazer um aporte diagnóstico muito importante permitindo uma análise muito mais detalhada da posição condilar. Adicionalmente, as sobreposições permitem perceber detalhadamente os efeitos do tratamento, com uma análise tridimensional de todas as estruturas envolvidas no processo do tratamento.

Jiang e coautores²³ avaliaram em 3D as alterações na ATM, nomeadamente, o espaço articular anterior, o espaço articular posterior e o índice de espaço articular, ocorridas após tratamento da má oclusão de Classe II, com o aparelho *Twin Block*. Através das sobreposições condilares encontraram modificações evidentes nas direções posterior e superior das sobreposições dos côndilos. As sobreposições da fossa glenóide esquerda e direita indicaram que as modificações ocorridas a este nível na fossa foram no sentido da adaptação à alteração condilar.

De forma genérica, o método 3D utilizado para medir e avaliar as alterações da ATM causadas pelo tratamento *Twin Block* mostrou um aumento do tamanho condilar e das alterações posicionais condilares. Estes resultados vão ao encontro de outros autores, nomeadamente *Elfeky* e coautores,²⁰¹ que observaram aumentos nas dimensões condilares (comprimento, largura e altura) e no posicionamento anterior do côndilo direito e esquerdo, contrariamente ao verificado no presente estudo, em que ocorreu uma distalização e distração dentro das cavidades glenóides.

De facto, a nível das arcadas dentárias as modificações dento-alveolares confluíram numa melhoria do padrão da má oclusão, o que está de acordo com outros estudos. No entanto, as análises das alterações a nível articular evidenciam que, se os côndilos forem orientados numa posição de equilíbrio e centrados na fossa, esse

deslocamento traduzir-se-á numa abertura da mordida e rotação posterior da mandíbula fruto das prematuridades consequentes ao tratamento. Ou seja, o aparente efeito de melhoria do padrão da má oclusão não foi tão efetivo como o revelado por uma análise clínica superficial e sem critérios relativos ao estudo da posição condilar.

4.3.2. Avaliação pelo método de levantamento de forma por processamento de imagem e iluminação estruturada

Os ortodontistas geralmente empregam a fotografia para auxiliar no diagnóstico estético e documentar as condições pré-tratamento e pós- tratamento dos seus pacientes. A fotografia 2D é amplamente utilizada para avaliar a estética facial dos pacientes.²⁹⁵ Embora as câmeras 2D sejam simples de manusear, apresentam limitações notáveis. Por exemplo, medições baseadas em fotografias 2D tradicionais não são precisas o suficiente para registrar parâmetros da superfície facial de um paciente.²⁹⁶ Adicionalmente, a fotografia não permite um estudo em detalhe da atividade motora cujo padrão funcional é frequentemente um objetivo do tratamento ortodôntico, que já é facultado através da análise de vídeos.

A fotografia 3D, que combina várias imagens de um objeto tiradas de diferentes perspectivas em uma topografia 3D, quando utilizada pela primeira vez na medicina dentária apresentava deficiências óbvias, como limitações técnicas, baixa resolução e preços proibitivos. Com o desenvolvimento da tecnologia, imagens 3D de alta resolução podem ser facilmente geradas usando os mais recentes *scanners* faciais. Esses *scanners* faciais usam duas etapas para gerar uma fotografia facial 3D. Primeiro, a geometria, ou dados de forma, do rosto do paciente é apresentada pela conversão de dados faciais 2D em uma série de definições x, y e z. Em seguida, as informações de textura de cor são aplicadas aos dados de forma.²⁹⁷ As tecnologias usadas para gerar imagens 3D incluem LASERS, luz estruturada e fotogrametria estéreo passiva e ativa.²⁶

No presente caso clínico foi possível verificar-se que o mento, o dorso nasal e a bochecha esquerda sofreram um crescimento em volume, enquanto as sobrancelhas, a base alar do nariz e as partes dos lábios tiveram uma ligeira perda de volume. Ao nível da apófise nasal, os resultados vêm ao encontro dos anteriores, com a sobreposição 3D sobre as TCFC. Com esta análise foi possível também avaliar a zona do mento, verificando-se alterações sem significado a este nível, evidenciando

ligeiras alterações do mento em direção anterior. As alterações mais notórias ocorreram ao nível dos tecidos moles e do bordo inferior da mandíbula.

4.4. Novas estratégias para o tratamento da má oclusão de Classe II hiperdivergente

Como já mencionado anteriormente, pacientes hiperdivergentes retrognáticos estão entre os mais difíceis de tratar devido à complexidade das suas más oclusões e a padrões de crescimento esquelético vertical. Para tratar com sucesso a má oclusão de Classe II hiperdivergente em crescimento é essencial conhecer a etiopatogenia do crescimento vertical para estabelecer um diagnóstico preciso e atempado. O maior potencial de crescimento e colaboração dos pacientes na infância e o possível impacto psicológico da deformidade justificam o tratamento precoce. Adiar o tratamento para o período da dentição permanente pode tornar a cirurgia ortognática necessária. O controle da dimensão vertical é um fator importante no tratamento da má oclusão de Classe II hiperdivergente. Os principais objetivos no tratamento destes pacientes são: aumentar a proporção altura facial posterior / altura facial anterior, para o qual é imprescindível a intrusão das estruturas dento-alveolares posteriores, alcançar a rotação da mandíbula no sentido anti-horário e promover o crescimento vertical do côndilo.

Frequentemente estes pacientes têm sido tratados com aparelhos funcionais removíveis, placas oclusais, blocos de mordida posterior, mentoneiras, aparelhos funcionais fixos, usados isoladamente ou combinados com aparelhos de força extra-oral e também com extrações e cirurgia ortognática. A literatura mostra claramente que as abordagens tradicionais de tratamento em pacientes hiperdivergentes de Classe II têm pouco ou nenhum efeito esquelético, produzindo essencialmente efeitos dento-alveolares. Vários estudos publicados^{17,261} corrigiram as más oclusões de Classe II, mas não melhoraram consistentemente a projeção do mento ou as tendências hiperdivergentes.

Atualmente, com a utilização crescente de dispositivos de ancoragem esquelética, os mini-implantes ou as mini-placas poderão ser uma estratégia válida no tratamento de pacientes hiperdivergentes de Classe II. Estes dispositivos têm algumas vantagens, como são exemplos: pouca colaboração do paciente, aplicação de forças

de magnitude maiores, obtenção de maiores efeitos esqueléticos, melhor controle da proinclinação dos incisivos mandibulares.^{136,298} Os mini-implantes são pouco invasivos, mais conservadores em termos de colocação e remoção, mais flexíveis em relação ao local de colocação e pouco dispendiosos. São esteticamente mais aceitáveis do que os aparelhos de FEO e são especialmente adequados para pacientes não colaborantes. Embora os mini-implantes tenham sido usados em diversos contextos de tratamento ortodôntico, há apenas informações limitadas disponíveis sobre o seu uso como ancoragem em pacientes em crescimento.^{136,298} De referir que em pacientes jovens em crescimento o osso é ainda pouco mineralizado, podendo ser uma limitação.²⁹⁹

Outra estratégia de ancoragem esquelética é utilização de mini-placas que podem ser acopladas com outros aparelhos, embora sendo um procedimento mais invasivo e um pouco mais dispendioso que os mini-implantes. Segundo alguns autores esta abordagem mostra-se eficaz no tratamento da má oclusão de Classe II em pacientes em crescimento.³⁰⁰⁻³⁰²

Numa revisão sistemática recente,³⁰³ cujo objetivo foi avaliar as evidências disponíveis sobre os efeitos esqueléticos e dento-alveolares dos dispositivos de ancoragem esquelética usados no tratamento de pacientes em crescimento com má oclusão Classe II, os resultados evidenciam efeitos protrusivos na mandíbula, efeitos retrusivos na maxila e a conseqüente redução da sobremordida horizontal, porém, o uso destes dispositivos resulta em efeitos esqueléticos e dento-alveolares inconsistentes.

Outra opção de tratamento que tem tido um incremento significativo nas últimas décadas é o uso de alinhadores, tanto no tratamento de pacientes adultos como em pacientes em crescimento. Alguns estudos³⁰⁴⁻³⁰⁶ sobre o uso de alinhadores em pacientes em crescimento têm demonstrado ser uma opção eficaz no tratamento da má oclusão de Classe II. A sua utilização permite a distalização dos molares maxilares, a redução da extrusão dos primeiros molares maxilares, melhorando o controle do plano oclusal e da dimensão vertical, e apresentando também um bom controle axial dos incisivos mandibulares.³⁰⁷ De acordo com o estudo de *Dayan* e coautores,³⁰⁸ em casos leves a moderados de hiperdivergência esquelética de Classe II, os alinhadores combinados com mini-implantes mostraram alguns resultados promissores no tratamento.

PERSPETIVAS DE ESTUDOS FUTUROS

O desenvolvimento de mais estudos, como metanálises, revisões sistemáticas, ensaios clínicos randomizados e ensaios clínicos controlados, com pacientes em crescimento com má oclusão de Classe II hiperdivergente que utilizem a TCFC e incluam amostras de maior dimensão, emparelhadas por idade, sexo, maturidade esquelética e grau de hiperdivergência, revela-se de grande pertinência.

Também o acompanhamento contínuo do crescimento a longo prazo e da resposta ao tratamento pode fornecer mais esclarecimentos sobre as intrincadas adaptações craniofaciais de crescimento e desenvolvimento que continuam a ocorrer até à maturidade esquelética.

São necessárias também mais investigações adicionais sobre o controle vertical em pacientes com má oclusão de Classe II hiperdivergentes, considerando a avaliação da relação Altura Facial Posterior/Altura Facial Anterior (AFP/AFA) ou a relação entre extrusão do molar maxilar, rotação mandibular e crescimento do ramo bem como a articulação temporomandibular, mais precisamente a posição do côndilo dentro da cavidade glenóide.

Nesse sentido, antevêm-se outras alternativas de tratamento combinando *designs* inovadores de aparelhos ortodônticos com ancoragem esquelética, e opções terapêuticas que reduzam a dependência da colaboração do paciente.

Com o desenvolvimento de modelos de elementos finitos, anatomicamente e funcionalmente precisos, consegue-se estudar as tensões resultantes e obter informações mais confiáveis sobre as magnitudes das tensões e as alterações tecidulares correspondentes, transmitidas por aparelhos ortodônticos. Destaca-se também a importância de se desenvolverem mais experiências *in vitro* e também *in vivo*, para elucidar a verdadeira natureza anisotrópica e não linear de tecidos complexos, como osso, cartilagem, tecido conjuntivo, entre outros.

A aplicação aumentada da fotografia 3D na ortodontia, com o desenvolvimento de novas tecnologias de imagens 3D de alta resolução, usando *scanners* faciais mais sofisticados, permitindo não só planejar e executar tratamentos personalizados e mais precisos, mas também fazer o acompanhamento dos casos, poderá contribuir para avanços significativos na ortodontia.

CONCLUSÕES

O presente estudo teve como base a construção de um modelo de elementos finitos para simular os efeitos de um ativador do tipo *Teuscher* (AFTT) no tratamento das más oclusões de Classes II hiperdivergentes.

Tendo em conta as limitações metodológicas inerentes ao presente estudo, das cinco simulações do AFTT combinado com a aplicação da FEO na maxila, a análise comparativa dos resultados permite as seguintes conclusões:

- as diferentes linhas de ação da FEO combinadas com o AFTT influenciam a intensidade e distribuição das tensões e, conseqüentemente, a distribuição das forças ortopédicas e ortodônticas na maxila.
- a linha de ação da FEO utilizada no modelo 3 (30°) foi a mais compatível com os objetivos de tratamento da má oclusão de Classe II hiperdivergente em crescimento.
- no modelo 3 (30°) verificou-se um deslocamento de translação distal dos dentes maxilares e do complexo maxilar, promovendo o controlo da dimensão vertical. Nessa conformidade e atentando às limitações do modelo concebido, os resultados obtidos através da análise efetuada foram consistentes com os obtidos na clínica.

Já da análise qualitativa no modelo mandibular, e extrapolando o campo de distribuição de tensões resultantes, pode concluir-se que:

- a maior concentração de tensões ocorre, predominantemente, na parte posterior da mandíbula, correspondente à região de inserção muscular, com uma maior confluência no processo coronóide, na zona anterior do ramo montante e na fosseta pterigoide.
- na ATM, a superfície superior do côndilo apresentou também grandes concentrações de tensão.

Na avaliação 3D dos resultados do tratamento com AFTT da paciente em estudo, pode concluir-se que:

- através das sobreposições 3D verificou-se que ao nível esquelético, a maxila não registou alterações posicionais. Na mandíbula, registaram-se alterações ao nível da sínfise, com um avanço de 1,7 mm do ponto supra pogonion e uma alteração vertical de 1,4 mm ao nível do menton. Também se registaram

alterações no bordo inferior da mandíbula e no ramo mandibular. No entanto, em termos globais, as alterações registadas durante o período de tratamento foram essencialmente dento-alveolares, com a melhoria aparente do padrão da má oclusão, no entanto, acompanhadas de uma distração condilar com rotação da mandíbula em direção horária.

- na avaliação 3D, através do método de levantamento de forma por processamento de imagem e iluminação estruturada, verifica-se que as áreas correspondentes ao nariz e mento avançaram em relação à geometria original. Por sua vez, as sobrancelhas, contornos das narinas e dos lábios sofreram um ligeiro recuo. De igual modo é detetada uma ligeira assimetria de crescimento do rosto com maior crescimento do lado esquerdo.

BIBLIOGRAFIA

1. McNamara JA Jr. Components of Class II malocclusion in children 8-10 years of age. *Angle Orthod.* 1981;51(3):177-202.
2. McNamara JA Jr, Peterson JE Jr, Alexander RG. Three-dimensional diagnosis and management of Class II malocclusion in the mixed dentition. *Semin Orthod.* 1996;2(2):114-37.
3. Knigge RP, McNulty KP, Oh H, Hardin AM, Leary EV, Duren DL. Geometric morphometric analysis of growth patterns among facial types. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2021;160(3):430-41.
4. Rice AJ, Carrillo R, Campbell PM, Taylor RW, Buschang PH. Do orthopedic corrections of growing retrognathic hyperdivergent patients produce stable results? *Angle Orthod.* 2019;89(4):552-8.
5. Karacay S, Gokce S, Yildirim E. Evaluation of hyoid bone movements in subjects with open bite: a study with real-time balanced turbo field echo cine-magnetic resonance imaging. *Korean J Orthod.* 2012;42(6):318-28.
6. Laranjo F, Pinho T. Cephalometric study of the upper airways and dentoalveolar height in open bite patients. *Int Orthod.* 2014;12(4):467-82.
7. Teuscher U. A growth-related concept for skeletal Class II treatment. *Am J Orthod.* 1978;74(3):258-75.
8. Marsan G. Effects of activator and high-pull headgear combination therapy: skeletal, dentoalveolar, and soft tissue profile changes. *Eur J Orthod.* 2007;29(2):140-8.
9. Türkkahraman H, Sayin MO. Effects of activator and activator headgear treatment: comparison with untreated Class II subjects. *Eur J Orthod.* 2006;28(1):27-34.
10. Teuscher U. An appraisal of growth and reaction to extraoral anchorage. Simulation of orthodontic-orthopedic results. *Am J Orthod.* 1986;89(2):113-21.
11. Meikle MC, Heath JK, Reynolds JJ. The use of in vitro models for investigating the response of fibrous joints to tensile mechanical stress. *Am J Orthod.* 1984;85(2):141-53.
12. Tanne K, Sakuda M. Biomechanical and clinical changes of the craniofacial complex from orthopedic maxillary protraction. *Angle Orthod.* 1991;61(2):145-52.
13. Bendeus M, Hagg U, Rabie B. Growth and treatment changes in patients treated with a headgear-activator appliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002;121(4):376-84.
14. Dermaut LR, van den Eynde F, de Pauw G. Skeletal and dento-alveolar changes as a result of headgear activator therapy related to different vertical growth patterns. *Eur J Orthod.* 1992;14(2):140-6.
15. Pancherz H. A cephalometric analysis of skeletal and dental changes contributing to Class II correction in activator treatment. *Am J Orthod.* 1984;85(2):125-34.

16. Lagerström LO, Nielsen IL, Lee R, Isaacson RJ. Dental and skeletal contributions to occlusal correction in patients treated with the high-pull headgear-activator combination. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1990;97(6):495-504.
17. Nucera R, Lo Giudice A, Rustico L, Matarese G, Papadopoulos MA, Cordasco G. Effectiveness of orthodontic treatment with functional appliances on maxillary growth in the short term: A systematic review and meta-analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2016;149(5):600-11.
18. Papageorgiou SN, Kutschera E, Memmert S, Golz L, Jager A, Bourauel C, et al. Effectiveness of early orthopaedic treatment with headgear: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod.* 2017;39(2):176-87.
19. Zervas ED, Galang-Boquiren MT, Obrez A, Costa Viana MG, Oppermann N, Sanchez F, et al. Change in the vertical dimension of Class II Division 1 patients after use of cervical or high-pull headgear. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2016;150(5):771-81.
20. Sambataro S, Fastuca R, Oppermann NJ, Lorusso P, Baccetti T, Franchi L, et al. Cephalometric changes in growing patients with increased vertical dimension treated with cervical headgear. *J Orofac Orthop.* 2017;78(4):312-20.
21. Sambataro S, Lorusso P, Caprioglio A, Franchi L, Cicciù M, Fastuca R. Changes of Occlusal Plane in Growing Patients With Increased Vertical Dimension During Class II Correction by Using Cervical Headgear. *J Craniofac Surg.* 2020;31(1):172-7.
22. 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(2):21-7.
23. Jiang YY, Sun L, Wang H, Zhao CY, Zhang WB. Three-dimensional cone beam computed tomography analysis of temporomandibular joint response to the Twin-block functional appliance. *Korean J Orthod.* 2020;50(2):86-97.
24. Machado GL. CBCT imaging - A boon to orthodontics. *Saudi Dent J.* 2015;27(1):12-21.
25. Gautam P, Valiathan A, Adhikari R. Craniofacial displacement in response to varying headgear forces evaluated biomechanically with finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;135(4):507-15.
26. Karatas OH, Toy E. Three-dimensional imaging techniques: A literature review. *Eur J Dent.* 2014;8(1):132-40.
27. Angle EH. Treatment of malocclusion of the teeth. Angle's system. 7th ed. Philadelphia: S. S. White Dental Manufacturing. 50-51. 1907.
28. Schudy FF. Vertical Growth Versus Anteroposterior Growth As Related To Function And Treatment. *Angle Orthod.* 1964;34(2):75-93.
29. Buschang PH, Jacob H, Carrillo R. The Morphological Characteristics, Growth, and Etiology of the Hyperdivergent Phenotype. *Semin Orthod.* 2013;19(4):212-26.
30. Bjork A. Variations in the growth pattern of the human mandible: longitudinal radiographic study by the implant method. *J Dent Res.* 1963;42(1) 2:400-11.
31. Björk A, Skieller V. Normal and abnormal growth of the mandible. A synthesis of longitudinal cephalometric implant studies over a period of 25 years. *Eur J Orthod.* 1983;5(1):1-46.

32. Naini FB, Donaldson AN, McDonald F, Cobourne MT. Influence of chin height on perceived attractiveness in the orthognathic patient, layperson, and clinician. *Angle Orthod.* 2012;82(1):88-95.
33. Maple JR, Vig KW, Beck FM, Larsen PE, Shanker S. A comparison of providers' and consumers' perceptions of facial-profile attractiveness. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005;128(6):690-6.
34. Santori F, Masedu F, Ciavarella D, Staderini E, Chimenti C, Tepedino M. Effect of Class II functional treatment on facial attractiveness, as perceived by professionals and laypeople. *Sci Rep.* 2021;11(1):139-89.
35. Ingervall B, Minder C. Correlation between maximum bite force and facial morphology in children. *Angle Orthod.* 1997;67(6):415-22.
36. Proffit WR, Fields HW, Nixon WL. Occlusal forces in normal- and long-face adults. *J Dent Res.* 1983;62(5):566-70.
37. Proffit WR, Fields HW. Occlusal forces in normal- and long-face children. *J Dent Res.* 1983;62(5):571-4.
38. Tentolouri E, Antonarakis GS, Georgiakaki I, Kiliaridis S. Masseter muscle thickness and vertical cephalometric characteristics in children with Class II malocclusion. *Clin Exp Dent Res.* 2022;8(3):729-36.
39. Owens S, Buschang PH, Throckmorton GS, Palmer L, English J. Masticatory performance and areas of occlusal contact and near contact in subjects with normal occlusion and malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002;121(6):602-9.
40. Roldán SI, Restrepo LG, Isaza JF, Vélez LG, Buschang PH. Are maximum bite forces of subjects 7 to 17 years of age related to malocclusion? *Angle Orthod.* 2016;86(3):456-61.
41. Kuharattanachai K, Jotikasthira D, Sirabanchongkran S, Srisuwan T, Rangsi W, Tripuwabhrut K. Three-dimensional volumetric evaluation of dental pulp cavity/tooth ratio in anterior open bite malocclusion using cone beam computed tomography. *Clin Oral Investig.* 2022;26(2):1997-2004.
42. Antonarakis GS, Kjellberg H, Kiliaridis S. Bite force and its association with stability following Class II/1 functional appliance treatment. *Eur J Orthod.* 2013;35(4):434-41.
43. Fields HW, Proffit WR, Nixon WL, Phillips C, Stanek E. Facial pattern differences in long-faced children and adults. *Am J Orthod.* 1984;85(3):217-23.
44. Janson GR, Metaxas A, Woodside DG. Variation in maxillary and mandibular molar and incisor vertical dimension in 12-year-old subjects with excess, normal, and short lower anterior face height. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1994;106(4):409-18.
45. Cha BK, Kim CH, Baek SH. Skeletal sagittal and vertical facial types and electromyographic activity of the masticatory muscle. *Angle Orthod.* 2007;77(3):463-70.
46. Kucera J, Marek I, Tycova H, Baccetti T. Molar height and dentoalveolar compensation in adult subjects with skeletal open bite. *Angle Orthod.* 2011;81(4):564-9.
47. Taibah SM, Feteih RM. Cephalometric features of anterior open bite. *World J Orthod.* 2007;8(2):145-52.

48. Wagner DM, Chung CH. Transverse growth of the maxilla and mandible in untreated girls with low, average, and high MP-SN angles: a longitudinal study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005;128(6):716-23.
49. Lubis HF, Lubis MM, Sutan C. The relationship of maxillary arch dimension with vertical facial morphology in proto-malay race. *J Orthod Sci.*2022; 11:17.
50. Bishara SE, Bayati P, Jakobsen JR. Longitudinal comparisons of dental arch changes in normal and untreated Class II, Division 1 subjects and their clinical implications. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1996;110(5):483-9.
51. Baccetti T, Franchi L, McNamara JA Jr, 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(5):502-9.
52. Swasty D, Lee J, Huang JC, Maki K, Gansky SA, Hatcher D, et al. Cross-sectional human mandibular morphology as assessed in vivo by cone-beam computed tomography in patients with different vertical facial dimensions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;377-89.
53. Horner KA, Behrents RG, Kim KB, Buschang PH. Cortical bone and ridge thickness of hyperdivergent and hypodivergent adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012;142(2):170-8.
54. Beckmann SH, Kuitert RB, Prah-Andersen B, Segner D, The RP, Tuinzing DB. Alveolar and skeletal dimensions associated with lower face height. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1998;113(5):498-506.
55. Al-Hadad SA, ES AL, Abdulqader AA, Al-Gumaei WS, Al-Mohana R, Ren L. Comprehensive three-dimensional positional and morphological assessment of the temporomandibular joint in skeletal Class II patients with mandibular retrognathism in different vertical skeletal patterns. *BMC Oral Health.* 2022;22(1):149.
56. Noh KJ, Baik HS, Han SS, Jang W, Choi YJ. Differences in mandibular condyle and glenoid fossa morphology in relation to vertical and sagittal skeletal patterns: A cone-beam computed tomography study. *Korean J Orthod.* 2021;51(2):126-34.
57. Chae JM, Park JH, Tai K, Mizutani K, Uzuka S, Miyashita W, et al. Evaluation of condyle-fossa relationships in adolescents with various skeletal patterns using cone-beam computed tomography. *Angle Orthod.* 2020;90(2):224-32.
58. Santo MD, Jacob H, Bósio JA. The challenge of the orthodontic treatment of the hyperdivergent facial phenotype patient. *Rev APCD.* 2016;70(2):204-9.
59. Arnett GW, Bergman RT. Facial keys to orthodontic diagnosis and treatment planning. Part I. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1993;103(4):299-312.
60. Arnett GW, Bergman RT. Facial keys to orthodontic diagnosis and treatment planning--Part II. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.*1993;103(5):395-411.
61. 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.

62. Urzal V, Braga AC, Ferreira AP. The prevalence of anterior open bite in portuguese children during deciduous and mixed dentition--correlations for a prevention strategy. *Int Orthod.* 2013;11(1):93-103.
63. De Ridder L, Aleksieva A, Willems G, Declerck D, Cadenas de Llano-Pérula M. Prevalence of Orthodontic Malocclusions in Healthy Children and Adolescents: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(12).
64. Nanda SK. Patterns of vertical growth in the face. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1988;93(2):103-16.
65. Buschang PH, Sankey W, English J. Early treatment of hyperdivergent open-bite malocclusions. *Semin Orthod.* 2002; 8:130-40.
66. Bishara SE, Jakobsen JR. Longitudinal changes in three normal facial types. *Am J Orthod.* 1985;88(6):466-502.
67. Jacob HB, Buschang PH. Vertical craniofacial growth changes in French-Canadians between 10 and 15 years of age. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;139(6):797-805.
68. Pae E-K, Kuhlberg A, Nanda R. Role of pharyngeal length in patients with a lack of overbite. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1997;112(2):179-86.
69. Arat ZM, Akcam MO, Esenlik E, Arat FE. Inconsistencies in the Differential Diagnosis of Open Bite. *Angle Orthod.* 2008;78(3):415-20.
70. Urzal V, Braga AC, Ferreira AP. Diagnostic model of anterior open bite--a new way to predict skeletal type: a cross-sectional study. *Int Orthod.* 2014;12(3):358-70.
71. Watson WG. Open-bite- A multifactorial event. *Am J Orthod.* 1981;80(4):443-6.
72. Varrela J, Alanen P. Prevention and early treatment in orthodontics: a perspective. *J Dent Res.* 1995;74(8):1436-8.
73. Keyser MMB, Lathrop H, Jhingree S, Giduz N, Bocklage C, Couldwell S, et al. Impacts of Skeletal Anterior Open Bite Malocclusion on Speech. *FACE.* 2022;3(2):339-49.
74. Gutiérrez DAR, Garzón JS, Franco JQ, Botero-Mariaca P. Anterior open bite and its relationship with dental arch dimensions and tongue position during swallowing and phonation in individuals aged 8-16 years: A retrospective case-control study. *Int Orthod.* 2021;19(1):107-16.
75. Urzal V, Braga AC, Ferreira AP. Oral habits as risk factors for anterior open bite in the deciduous and mixed dentition - cross-sectional study. *Eur J Paediatr Dent.* 2013;14(4):299-302.
76. Subtelny JD, Subtelny JD. Oral habits--studies in form, function, and therapy. *Angle Orthod.* 1973;43(4):349-83.
77. Singh TS, Sridevi E, Sankar AJS, Kakarla P, Vallabaneni SSK, Sridhar M. Cephalometric Assessment of Dentoskeletal Characteristics in Children with Digit-sucking Habit. *Int J Clin Pediatr Dent.* 2020;13(3):221-4.
78. Gu M, Savoldi F, Chan EYL, Tse CSK, Lau MTW, Wey MC, et al. Changes in the upper airway, hyoid bone and craniofacial morphology between patients treated with headgear activator and

- Herbst appliance: A retrospective study on lateral cephalometry. *Orthod Craniofac Res.* 2021;24(3):360-9.
79. Harvold EP, Tomer BS, Vargervik K, Chierici G. Primate experiments on oral respiration. *Am J Orthod.* 1981;79(4):359-72.
80. Linder-Aronson S. Adenoids. Their effect on mode of breathing and nasal airflow and their relationship to characteristics of the facial skeleton and the dentition. A biometric, rhinomanometric and cephalometro-radiographic study on children with and without adenoids. *Acta Otolaryngol Suppl.* 1970; 265:1-132.
81. Kerr WJ, McWilliam JS, Linder-Aronson S. Mandibular form and position related to changed mode of breathing--a five-year longitudinal study. *Angle Orthod.* 1989;59(2):91-6.
82. Linder-Aronson S, Woodside DG, Lundström A. Mandibular growth direction following adenoidectomy. *Am J Orthod.* 1986;89(4):273-84.
83. Woodside DG, Linder-Aronson S, Lundstrom A, McWilliam J. Mandibular and maxillary growth after changed mode of breathing. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1991;100(1):1-18.
84. Arun T, Isik F, Sayinsu K. Vertical growth changes after adenoidectomy. *Angle Orthod.* 2003;73(2):146-50.
85. Tinano MM, Becker HMG, Franco LP, Dos Anjos CPG, Ramos VM, Nader C, et al. Morphofunctional changes following adenotonsillectomy of obstructive sleep apnea children: a case series analysis. *Prog Orthod.* 2022;23(1):29.
86. Behlfelt K, Linder-Aronson S, Neander P. Posture of the head, the hyoid bone, and the tongue in children with and without enlarged tonsils. *Eur J Orthod.* 1990;12(4):458-67.
87. Lowe AA, Santamaria JD, Fleetham JA, Price C. Facial morphology and obstructive sleep apnea. *Am J Orthod.* 1986;90(6):484-91.
88. Andersson L, Brattström V. Cephalometric analysis of permanently snoring patients with and without obstructive sleep apnea syndrome. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 1991;20(3):159-62.
89. Zettergren-Wijk L, Forsberg CM, Linder-Aronson S. Changes in dentofacial morphology after adeno-/tonsillectomy in young children with obstructive sleep apnoea--a 5-year follow-up study. *Eur J Orthod.* 2006;28(4):319-26.
90. Ozdoganoglu T, Songu M. The burden of allergic rhinitis and asthma. *Ther Adv Respir Dis.* 2012;6(1):11-23.
91. Bresolin D, Shapiro PA, Shapiro GG, Chapko MK, Dassel S. Mouth breathing in allergic children: its relationship to dentofacial development. *Am J Orthod.* 1983;83(4):334-40.
92. Trask GM, Shapiro GG, Shapiro PA. The effects of perennial allergic rhinitis on dental and skeletal development: a comparison of sibling pairs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1987;92(4):286-93.
93. Stein E, Flax SJ. A cephalometric study of children with chronic perennial allergic rhinitis. *J Dent Assoc S Afr.* 1996;51(12):794-801.

94. Occasi F, Perri L, Saccucci M, Di Carlo G, Ierardo G, Luzzi V, et al. Malocclusion and rhinitis in children: an easy-going relationship or a yet to be resolved paradox? A systematic literature revision. *Ital J Pediatr.* 2018;44(1):100.
95. Harari D, Redlich M, Miri S, Hamud T, Gross M. The effect of mouth breathing versus nasal breathing on dentofacial and craniofacial development in orthodontic patients. *Laryngoscope.* 2010;120(10):2089-93.
96. Corruccini RS. An epidemiologic transition in dental occlusion in world populations. *Am J Orthod.* 1984;86(5):419-26.
97. Varrela J. Dimensional variation of craniofacial structures in relation to changing masticatory-functional demands. *Eur J Orthod.* 1992;14(1):31-6.
98. Kiliaridis S, Engström C, Thilander B. Histochemical analysis of masticatory muscle in the growing rat after prolonged alteration in the consistency of the diet. *Arch Oral Biol.* 1988;33(3):187-93.
99. Bresin A, Kiliaridis S, Strid KG. Effect of masticatory function on the internal bone structure in the mandible of the growing rat. *Eur J Oral Sci.* 1999;107(1):35-44.
100. Karamani, II, Tsolakis IA, Makrygiannakis MA, Georgaki M, Tsolakis AI. Impact of Diet Consistency on the Mandibular Morphology: A Systematic Review of Studies on Rat Models. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(5).
101. Avis V. The relation of the temporal muscle to the form of the coronoid process. *Am J Phys Anthropol.* 1959;17(2):99-104.
102. Goret-Nicaise M, Awn M, Dhem A. The morphological effects on the rat mandibular condyle of section of the lateral pterygoid muscle. *Eur J Orthod.* 1983;5(4):315-21.
103. Ueda HM, Ishizuka Y, Miyamoto K, Morimoto N, Tanne K. Relationship between masticatory muscle activity and vertical craniofacial morphology. *Angle Orthod.* 1998;68(3):233-8.
104. Throckmorton GS, Ellis E, 3rd, Buschang PH. Morphologic and biomechanical correlates with maximum bite forces in orthognathic surgery patients. *J Oral Maxillofac Surg.* 2000;58(5):515-24.
105. Navarro M, Delgado E, Monje F. Changes in mandibular rotation after muscular resection. Experimental study in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1995;108(4):367-79.
106. García-Morales P, Buschang PH, Throckmorton GS, English JD. Maximum bite force, muscle efficiency and mechanical advantage in children with vertical growth patterns. *Eur J Orthod.* 2003;25(3):265-72.
107. Kreiborg S, Jensen BL, Møller E, Björk A. Craniofacial growth in a case of congenital muscular dystrophy. *Am J Orthod.* 1978;74(2):207-15.
108. Hamada T, Kobayashi M, Kawazoe Y. Electromyographic activity of masticatory muscles in patients with progressive muscular dystrophy (Duchenne type): relation between integrated electromyographic activity and biting force. *Spec Care Dentist.* 1981;1(1):37-8.
109. Kiliaridis S, Mejersjö C, Thilander B. Muscle function and craniofacial morphology: a clinical study in patients with myotonic dystrophy. *Eur J Orthod.* 1989;11(2):131-8.

110. Granger MW, Buschang PH, Throckmorton GS, Iannaccone ST. Masticatory muscle function in patients with spinal muscular atrophy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1999;115(6):697-702.
111. Houston K, Buschang PH, Iannaccone ST, Seale NS. Craniofacial morphology of spinal muscular atrophy. *Pediatr Res.* 1994;36(2):265-9.
112. Weijs WA, Hillen B. Relationships between masticatory muscle cross-section and skull shape. *J Dent Res.* 1984;63(9):1154-7.
113. Weijs WA, Hillen B. Correlations between the cross-sectional area of the jaw muscles and craniofacial size and shape. *Am J Phys Anthropol.* 1986;70(4):423-31.
114. Watt DG, Williams CH. The effects of the physical consistency of food on the growth and development of the mandible and the maxilla of the rat. *Am J Orthod.* 1951;37(12):895-928.
115. Beecher RM, Corruccini RS. Effects of dietary consistency on craniofacial and occlusal development in the rat. *Angle Orthod.* 1981;51(1):61-9.
116. Yamamoto S. The effects of food consistency on maxillary growth in rats. *Eur J Orthod.* 1996;18(6):601-15.
117. Spyropoulos MN. An early approach for the interception of skeletal open bite: a preliminary report. *J Pedod.* 1985;9(3):200-9.
118. Ingervall B, Bitsanis E. A pilot study of the effect of masticatory muscle training on facial growth in long-face children. *Eur J Orthod.* 1987;9(1):15-23.
119. Buschang PH, Martins J. Childhood and adolescent changes of skeletal relationships. *Angle Orthod.* 1998;68(3):199-206.
120. Baumrind S, Ben-Bassat Y, Korn EL, Bravo LA, Curry S. Mandibular remodeling measured on cephalograms. 1. Osseous changes relative to superimposition on metallic implants. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1992;102(2):134-42.
121. Björk A, Skieller V. Facial development and tooth eruption. An implant study at the age of puberty. *Am J Orthod.* 1972;62(4):339-83.
122. Buschang PH, Jacob H. Mandibular rotation revisited: What makes it so important? *Semin Orthod.* 2014;20(4): 20:299-315.
123. Spady M, Buschang PH, Demirjian A, Lapalme L. Mandibular rotation and angular remodeling during childhood and adolescence. *Am J Hum Biol.* 1992;4(5):683-9.
124. Wang MK, Buschang PH, Behrents R. Mandibular rotation and remodeling changes during early childhood. *Angle Orthod.* 2009;79(2):271-5.
125. Miller S, Kerr WJ. A new look at mandibular growth--a preliminary report. *Eur J Orthod.* 1992;14(2):95-8.
126. Karlsen AT. Craniofacial growth differences between low and high MP-SN angle males: a longitudinal study. *Angle Orthod.* 1995;65(5):341-50.
127. Buschang PH, Santos-Pinto A. Condylar growth and glenoid fossa displacement during childhood and adolescence. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1998;113(4):437-42.

128. Thompson DJ, Throckmorton GS, Buschang PH. The effects of isometric exercise on maximum voluntary bite forces and jaw muscle strength and endurance. *J Oral Rehabil.* 2001;28(10):909-17.
129. LaHaye MB, Buschang PH, Alexander RG, Boley JC. Orthodontic treatment changes of chin position in Class II Division 1 patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;130(6):732-41.
130. Björk A. Prediction of mandibular growth rotation. *Am J Orthod.* 1969;55(6):585-99.
131. Odegaard J. Mandibular rotation studies with the aid of metal implants. *Am J Orthod.* 1970;58(5):448-54.
132. Buschang PH, Gandini Júnior LG. Mandibular skeletal growth and modelling between 10 and 15 years of age. *Eur J Orthod.* 2002;24(1):69-79.
133. Lavergne J, Gasson N. A metal implant study of mandibular rotation. *Angle Orthod.* 1976;46(2):144-50.
134. Mojdehi M, Buschang PH, English JD, Wolford LM. Postsurgical growth changes in the mandible of adolescents with vertical maxillary excess growth pattern. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2001;119(2):106-16.
135. Linder-Aronson S. Respiratory function in relation to facial morphology and the dentition. *Br J Orthod.* 1979;6(2):59-71.
136. Buschang PH, Carrillo R, Rossouw PE. Orthopedic correction of growing hyperdivergent, retrognathic patients with miniscrew implants. *J Oral Maxillofac Surg.* 2011;69(3):754-62.
137. Enlow DH, Kuroda T, Lewis AB. The morphological and morphogenetic basis for craniofacial form and pattern. *Angle Orthod.* 1971;41(3):161-88.
138. Accorsi M, Velasco L. Diagnóstico 3D en ortodoncia: Tomografía cone-beam aplicada. *Amolca.* 2014.
139. Petrovic A, Stutzmann J, Lavergne J. Mechanism of craniofacial growth and modus operandi of functional appliances: a cell-level and cybernetic approach to orthodontic decision making. *Craniofacial growth theory and orthodontic treatment.* 1990.
140. Proffit WR, Fields H, Sarver DM. *Contemporary orthodontics.* 5th ed. Dolan J. Mosby. 2013.
141. Snodell SF, Nanda RS, Currier GF. A longitudinal cephalometric study of transverse and vertical craniofacial growth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1993;104(5):471-83.
142. Enlow DH, Hans MG. *Essentials of Facial Growth.* 4th ed. Philadelphia: Saunders. 1996.
143. McNamara JA Jr, Baccetti T, Franchi L, Herberger TA. Rapid Maxillary Expansion Followed by Fixed Appliances: A Long-term Evaluation of Changes in Arch Dimensions. *Angle Orthod.* 2003;73(4):344-53.
144. Kurihara S, Enlow DH, Rangel RD. Remodeling reversals in anterior parts of the human mandible and maxilla. *Angle Orthod.* 1980;50(2):98-106.

145. Duterloo HS, Wolters JM. Experiments on the significance of articular function as a stimulating chondrogenic factor for the growth of secondary cartilages of the rat mandible. *Trans Eur Orthod Soc.* 1971;103-15.
146. Tsolakis AI, Spyropoulos MN, Katsavrias E, Alexandridis K. Effects of altered mandibular function on mandibular growth after condylectomy. *Eur J Orthod.* 1997;19(1):9-19.
147. Sugawara J, Asano T, Endo N, Mitani H. Long-term effects of chin cap therapy on skeletal profile in mandibular prognathism. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1990;98(2):127-33.
148. Cevidanes LH, Bailey LJ, Tucker GR, Jr., Styner MA, Mol A, Phillips CL, et al. Superimposition of 3D cone-beam CT models of orthognathic surgery patients. *Dentomaxillofac Radiol.* 2005;34(6):369-75.
149. Graber TM, Vanarsdall RL Jr. *Orthodontics: Current Principles and Techniques.* 2nd ed. Mosby: St. Louis. 1984.
150. Björk A, Skieller V. Growth and development of the maxillary complex. *Inf Orthod Kieferorthop.* 1984;16(1):9-52.
151. Björk A, Skieller V. Growth of the maxilla in three dimensions as revealed radiographically by the implant method. *Br J Orthod.* 1977;4(2):53-64.
152. Luder HU. Effects of activator treatment--evidence for the occurrence of two different types of reaction. *Eur J Orthod.* 1981;3(3):205-22.
153. Riolo ML. *An Atlas of craniofacial growth: cephalometric standards from the University school growth study, the University of Michigan.* 1974.
154. Korkhaus G. German methodologies in maxillary orthopedics. In Krau BS, and Riedel RA., Editors, *Vistas in orthodontics.* Lea and Febiger. ed. Philadelphia 1962.
155. Watson WG. Functional appliances - a perspective. *Am J Orthod.* 1981;79(5):559-63.
156. Watson WG. Functional appliances questioned. *Am J Orthod.* 1982;82(6):519-21.
157. Charlier JP, Petrovic A, Herrmann-Stutzmann J. Effects of mandibular hyperpropulsion on the prechondroblastic zone of young rat condyle. *Am J Orthod.* 1969;55(1):71-4.
158. McNamara JA Jr. Neuromuscular and skeletal adaptations to altered function in the orofacial region. *Am J Orthod.* 1973;64(6):578-606.
159. McNamara JA Jr. Functional determinants of craniofacial size and shape. *Eur J Orthod.* 1980;2(3):131-59.
160. Stöckli PW. The reactivity of the mandibular joint cartilage to orthopedic stimulation during the phase of growth. *Schweiz Monatsschr Zahnheilkd.* 1972;82(5):558-76.
161. Stöckli PW, Dietrich UC. Sensation and morphogenesis experimental and clinical findings following functional forward displacement of the mandible. *Trans Eur Orthod Soc.* 1973:435-42.

162. Baumrind S, Korn EL, Isaacson RJ, West EE, Molthen R. Superimpositional assessment of treatment-associated changes in the temporomandibular joint and the mandibular symphysis. *Am J Orthod.* 1983;84(6):443-65.
163. Baumrind S, Korn EL. Patterns of change in mandibular and facial shape associated with the use of forces to retract the maxilla. *Am J Orthod.* 1981;80(1):31-47.
164. Luder HU. Skeletal profile changes related to two patterns of activator effects. *Am J Orthod.* 1982;81(5):390-6.
165. Brandt HC, Shapiro PA, Kokich VG. Experimental and postexperimental effects of posteriorly directed extraoral traction in adult *Macaca fascicularis*. *Am J Orthod.* 1979;75(3):301-17.
166. Droschl H. The effect of heavy orthopedic forces on the maxilla in the growing *Saimiri sciureus* (squirrel monkey). *Am J Orthod.* 1973;63(5):449-61.
167. Meldrum RJ. Alterations in the upper facial growth of *Macaca mulatta* resulting from high-pull headgear. *Am J Orthod.* 1975;67(4):393-411.
168. Baumrind S, Korn EL, Molthen R, West EE. Changes in facial dimensions associated with the use of forces to retract the maxilla. *Am J Orthod.* 1981;80(1):17-30.
169. Graber TM, Chung DD, Aoba JT. Dentofacial orthopedics versus orthodontics. *J Am Dent Assoc.* 1967;75(5):1145-66.
170. Armstrong MM. Controlling the magnitude, direction, and duration of extraoral force. *Am J Orthod.* 1971;59(3):217-43.
171. Wieslander L, Buck DL. Physiologic recovery after cervical traction therapy. *Am J Orthod.* 1974;66(3):294-301.
172. Teuscher U. Principles of extraoral force. *Inf Orthod Kieferorthop.* 1976;8(1):9-16.
173. Nanda R, Goldin B. Biomechanical approaches to the study of alterations of facial morphology. *Am J Orthod.* 1980;78(2):213-26.
174. McNamara JA Jr, Hugu SA. The Fränkel appliance FR-2: model preparation and appliance construction. *Am J Orthod.* 1981;80(5):478-95.
175. Pancherz H. The mechanism of Class II correction in Herbst appliance treatment. A cephalometric investigation. *Am J Orthod.* 1982;82(2):104-13.
176. Pancherz H, Anehus-Pancherz M. The headgear effect of the Herbst appliance: a cephalometric long-term study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1993;103(6):510-20.
177. Teuscher U. Class II treatment. Guidelines for class II treatment with the activator-headgear combination. *Schweiz Monatsschr Zahnmed.* 1987;97(5):614-7.
178. van Beek H. Overjet correction by a combined headgear and activator. *Eur J Orthod.* 1982;4(4):279-90.

179. Fernandes Á F, Brunharo IH, Quintão CC, Costa MG, de Oliveira-Costa MR. Effectiveness of twin blocks and extraoral maxillary splint Thurow appliances for the correction of Class II relationships. *World J Orthod.* 2010;11(3):230-5.
180. Cacho A, Martin C. Kinesiographic and sonographic changes in young Class II patients treated with functional appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;131(2):196-201.
181. Gkantidis N, Halazonetis DJ, Alexandropoulos E, Haralabakis NB. Treatment strategies for patients with hyperdivergent Class II Division 1 malocclusion: is vertical dimension affected? *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;140(3):346-55.
182. Cerci V, Cerci BB, Meira TM, Cerci DX, Tanaka OM. Eight-year stability of a severe skeletal anterior open bite with a hyperdivergent growth pattern treated with an edgewise appliance and chin cup therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012;141(4):65-74.
183. Uçüncü N, Türk T, Carels C. Comparison of modified Teuscher and van Beek functional appliance therapies in high-angle cases. *Inf Orthod Kieferorthop.* 2001;62(3):224-37.
184. Firouz M, Zernik J, Nanda R. Dental and orthopedic effects of high-pull headgear in treatment of Class II, division 1 malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1992;102(3):197-205.
185. Hanggi MP, Teuscher UM, Roos M, Peltomaki TA. Long-term changes in pharyngeal airway dimensions following activator-headgear and fixed appliance treatment. *Eur J Orthod.* 2008;30(6):598-605.
186. Garbui IU, Nouer PR, Nouer DF, Magnani MB, Pereira Neto JS. Cephalometric assessment of vertical control in the treatment of class II malocclusion with a combined maxillary splint. *Braz Oral Res.* 2010;24(1):34-9.
187. Lerstøl M, Torget O, Vandevska-Radunovic V. Long-term stability of dentoalveolar and skeletal changes after activator-headgear treatment. *Eur J Orthod.* 2010;32(1):28-35.
188. Al-Kurwi AS, Bos A, Kuitert RB. Overjet reduction in relation to wear time with the van Beek activator combined with a microsensor. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2017;151(2):277-83.
189. Sari Z, Goyenc Y, Doruk C, Usumez S. Comparative evaluation of a new removable Jasper Jumper functional appliance vs an activator-headgear combination. *Angle Orthod.* 2003;73(3):286-93.
190. Spalj S, Mroz Tranesen K, Birkeland K, Katic V, Pavlic A, Vandevska-Radunovic V. Comparison of Activator-Headgear and Twin Block Treatment Approaches in Class II Division 1 Malocclusion. *Biomed Res Int.* 2017;4861924.
191. Lall R, Kumar GA, Maheshwari A, Kumar M. A retrospective cephalometric evaluation of dental changes with activator and activator headgear combination in the treatment of skeletal class II malocclusion. *J Contemp Dent Pract.* 2011;12(1):14-8.
192. Oh E, Ahn SJ, Sonnesen L. Evaluation of growth changes induced by functional appliances in children with Class II malocclusion: Superimposition of lateral cephalograms on stable structures. *Korean J Orthod.* 2020;50(3):170-80.

193. Ulusoy C, Darendeliler N. Effects of Class II activator and Class II activator high-pull headgear combination on the mandible: a 3-dimensional finite element stress analysis study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;133(4):490-9-15.
194. Maruo IT, Maruo H, Saga AY, de Oliveira DD, Argenta MA, Tanaka OM. Tridimensional finite element analysis of teeth movement induced by different headgear forces. *Prog Orthod.* 2016;17(1):18.
195. Singh GD, Clark WJ. Localization of mandibular changes in patients with class II division 1 malocclusions treated with twin-block appliances: finite element scaling analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2001;119(4):419-25.
196. Singh GD, Thind BS. Effects of the headgear-activator Teuscher appliance in the treatment of Class II Division 1 malocclusion: a geometric morphometric study. *Orthod Craniofac Res.* 2003;6(2):88-95.
197. Katona TR, Paydar NH, Akay HU, Roberts WE. Stress analysis of bone modeling response to rat molar orthodontics. *J Biomech.* 1995;28(1):27-38.
198. Koolstra JH, van Eijden TM. Application and validation of a three-dimensional mathematical model of the human masticatory system in vivo. *J Biomech.* 1992;25(2):175-87.
199. Hagg U, Rabie AB, Bendeus M, Wong RW, Wey MC, Du X, et al. Condylar growth and mandibular positioning with stepwise vs maximum advancement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;134(4):525-36.
200. Chavan SJ, Bhad WA, Doshi UH. Comparison of temporomandibular joint changes in Twin Block and Bionator appliance therapy: a magnetic resonance imaging study. *Prog Orthod.* 2014;15(1):57.
201. Elfeky HY, Fayed MS, Alhammadi MS, Soliman SAZ, El Boghdadi DM. Three-dimensional skeletal, dentoalveolar and temporomandibular joint changes produced by Twin Block functional appliance. *J Orofac Orthop.* 2018;79(4):245-58.
202. Gazzani F, Ruellas ACO, Faltin K, Franchi L, Cozza P, Bigliuzzi R, et al. 3D Comparison of Mandibular Response to Functional Appliances: Balters Bionator versus Sander Bite Jumping. *Biomed Res Int.* 2018:2568235.
203. Fan Y, Schneider P, Matthews H, Roberts WE, Xu T, Wei R, et al. 3D assessment of mandibular skeletal effects produced by the Herbst appliance. *BMC Oral Health.* 2020;20(1):117.
204. Gupta A, Kohli VS, Hazarey PV, Kharbanda OP, Gunjal A. Stress distribution in the temporomandibular joint after mandibular protraction: a 3-dimensional finite element method study. Part 1. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;135(6):737-48.
205. Gupta A, Hazarey PV, Kharbanda OP, Kohli VS, Gunjal A. Stress distribution in the temporomandibular joint after mandibular protraction: a 3-dimensional finite element study. Part 2. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;135(6):749-56.
206. Shrivastava A, Hazarey PV, Kharbanda OP, Gupta A. Stress distribution in the temporomandibular joint after mandibular protraction: a three-dimensional finite element study. *Angle Orthod.* 2015;85(2):196-205.

207. Zhu C, Li R, Yuan L, Zheng Y, Jin Y, Li H, et al. Effects of the advanced mandibular spring on mandibular retrognathia treatment: a three-dimensional finite element study. *BMC Oral Health*. 2022;22(1):271.
208. Broadbent BH. A new x-ray technique and its application to orthodontia. *Angle Orthod*. 1931;1(2):45–66.
209. Macri VA. Sources of error in lateral cephalometry. In: Athanasious. *Orthodontic cephalometry*. Mosby-Wolfe. 1997.
210. Adenwalla ST, Kronman JH, Attarzadeh F. Porion and condyle as cephalometric landmarks--an error study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1988;94(5):411-5.
211. Huang J, Bumann A, Mah J. Three-dimensional radiographic analysis in orthodontics. *J Clin Orthod*. 2005;39(7):421-8.
212. Steiner C. The use of cephalometrics as an aid to planning and assessing orthodontic treatment: report of a case. *Am J Orthop*. 1960;46(10):721–35).
213. Bronfman CN, Janson G, Pinzan A, Rocha TL. Cephalometric norms and esthetic profile preference for the Japanese: a systematic review. *Dental Press J Orthod*. 2015;20(6):43-51.
214. Janson G, Quaglio CL, Pinzan A, Franco EJ, de Freitas MR. Craniofacial characteristics of Caucasian and Afro-Caucasian Brazilian subjects with normal occlusion. *J Appl Oral Sci*. 2011;19(2):118-24.
215. Grayson B, Cutting C, Bookstein FL, Kim H, McCarthy JG. The three-dimensional cephalogram: theory, technique, and clinical application. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1988;94(4):327-37.
216. Haffner CL, Pessa JE, Zadoo VP, Garza JR. A technique for three-dimensional cephalometric analysis as an aid in evaluating changes in the craniofacial skeleton. *Angle Orthod*. 1999;69(4):345-8.
217. Johnston LE. A statistical evaluation of cephalometric prediction. *Angle Orthod*. 1968;38(4):284-304.
218. Liang X, Jacobs R, Hassan B, Li L, Pauwels R, Corpas L, et al. A comparative evaluation of Cone Beam Computed Tomography (CBCT) and Multi-Slice CT (MSCT) Part I. On subjective image quality. *Eur J Radiol*. 2010;75(2):265-9.
219. Liang X, Lambrichts I, Sun Y, Denis K, Hassan B, Li L, et al. A comparative evaluation of Cone Beam Computed Tomography (CBCT) and Multi-Slice CT (MSCT). Part II: On 3D model accuracy. *Eur J Radiol*. 2010;75(2):270-4.
220. Adams GL, Gansky SA, Miller AJ, Harrell WE, Jr., Hatcher DC. Comparison between traditional 2-dimensional cephalometry and a 3-dimensional approach on human dry skulls. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2004;126(4):397-409.
221. Lagravère MO, Major PW, Carey J. Sensitivity analysis for plane orientation in three-dimensional cephalometric analysis based on superimposition of serial cone beam computed tomography images. *Dentomaxillofac Radiol*. 2010;39(7):400-8.

222. DeCesare A, Secanell M, Lagravère MO, Carey J. Multiobjective optimization framework for landmark measurement error correction in three-dimensional cephalometric tomography. *Dentomaxillofac Radiol.* 2013;42(7):20130035.
223. Kapila S, Conley RS, Harrell WE, Jr. The current status of cone beam computed tomography imaging in orthodontics. *Dentomaxillofac Radiol.* 2011;40(1):24-34.
224. Park SH, Yu HS, Kim KD, Lee KJ, Baik HS. A proposal for a new analysis of craniofacial morphology by 3-dimensional computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;129(5):600.23-34.
225. Damstra J, Fourie Z, Huddleston Slater JJ, Ren Y. Reliability and the smallest detectable difference of measurements on 3-dimensional cone-beam computed tomography images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;140(3):107-14.
226. Gateno J, Xia JJ, Teichgraeber JF. New 3-dimensional cephalometric analysis for orthognathic surgery. *J Oral Maxillofac. Surg.* 2011;69(3):606-22.
227. Wong RW, Chau AC, Hägg U. 3D CBCT McNamara's cephalometric analysis in an adult southern Chinese population. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2011;40(9):920-5.
228. Bayome M, Park JH, Kook YA. New three-dimensional cephalometric analyses among adults with a skeletal Class I pattern and normal occlusion. *Korean J Orthod.* 2013;43(2):62-73.
229. Farman AG. ALARA still applies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2005;100(4):395-7.
230. Swennen GRJ SF, Hausamen JE. *Three-dimensional cephalometry: a color atlas and manual.* Springer-Verlag. 2006.
231. Santos R, De Martino JM, Haiter Neto F, Passeri LA. Cone-Beam Computed Tomography-Based Three-Dimensional McNamara Cephalometric Analysis. *J Craniofac Surg.* 2018;29(4):895-9.
232. D'Attilio M, Peluso A, Falone G, Pipitone R, Moscagiuri F, Caroccia F. "3D Counterpart Analysis": A Novel Method for Enlow's Counterpart Analysis on CBCT. *Diagnostics.* 2022;12(10).
233. McNamara JA Jr. A method of cephalometric evaluation. *Am J Orthod.* 1984;86(6):449-69.
234. Duterloo HS, Planché PG. *Handbook of cephalometric superimposition.* 1st ed. Grisham B, editor. Chandler Drive (US): Quintessence Publishing; 2011.
235. Arat ZM, Türkkahraman H, English JD, Gallerano RL, Boley JC. Longitudinal growth changes of the cranial base from puberty to adulthood. A comparison of different superimposition methods. *Angle Orthod.* 2010;80(4):537-44.
236. Gu Y, McNamara JA Jr. Cephalometric superimpositions. A comparison of anatomical and metallic implant methods. *Angle Orthod.* 2008;78(6):967-76.
237. Ponce-Garcia C, Ruellas ACO, Cevidanes LHS, Flores-Mir C, Carey JP, Lagravere-Vich M. Measurement error and reliability of three available 3D superimposition methods in growing patients. *Head Face Med.* 2020;16(1):1.

238. Yatabe M, Prieto JC, Styner M, Zhu H, Ruellas AC, Paniagua B, et al. 3D superimposition of craniofacial imaging-The utility of multicentre collaborations. *Orthod Craniofac Res.* 2019;22 Suppl 1:213-20.
239. Björk A. The use of metallic implants in the study of facial growth in children: method and application. *Am J Phys Anthropol.* 1968;29(2):243-54.
240. Melsen B. The cranial base. *Acta Odontol Scand.* 32:86–101. 1974.
241. Cevidanes LH, Motta A, Proffit WR, Ackerman JL, Styner M. Cranial base superimposition for 3-dimensional evaluation of soft-tissue changes. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010; 137:120-9.
242. Ghafari J, Engel FE, Laster LL. Cephalometric superimposition on the cranial base: a review and a comparison of four methods. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1987;91(5):403-13.
243. Ghoneima A, Cho H, Farouk K, Kula K. Accuracy and reliability of landmark-based, surface-based and voxel-based 3D cone-beam computed tomography superimposition methods. *Orthod Craniofac Res.* 2017;20(4):227-36.
244. Halazonetis DJ. From 2-dimensional cephalograms to 3-dimensional computed tomography scans. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005;127(5):627-37.
245. Bazina M, Cevidanes L, Ruellas A, Valiathan M, Queresby F, Syed A, et al. Precision and reliability of Dolphin 3-dimensional voxel-based superimposition. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2018;153(4):599-606.
246. Bookstein F, Schäfer K, Prossinger H, Seidler H, Fieder M, Stringer C, et al. Comparing frontal cranial profiles in archaic and modern homo by morphometric analysis. *Anat Rec.* 1999;257(6):217-24.
247. Cevidanes LH, 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.
248. Cevidanes LH, Heymann G, Cornelis MA, DeClerck HJ, Tulloch JF. Superimposition of 3-dimensional cone-beam computed tomography models of growing patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;136(1):94-9.
249. Haas Junior OL, Guijarro-Martínez R, Sousa Gil AP, Méndez-Manjón I, Valls-Otañón A, de Oliveira RB, et al. Cranial Base Superimposition of Cone-Beam Computed Tomography Images: A Voxel-Based Protocol Validation. *J Craniofac Surg.* 2019;30(6):1809-14.
250. Almukhtar A, Ju X, Khambay B, 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):93402.
251. Ponce-Garcia C, Lagravere-Vich M, Cevidanes LHS, de Olivera Ruellas AC, Carey J, Flores-Mir C. Reliability of three-dimensional anterior cranial base superimposition methods for assessment of overall hard tissue changes: A systematic review. *Angle Orthod.* 2018;88(2):233-45.
252. Fernandes LC, Farinazzo Vitral RW, Noritomi PY, Schmitberger CA, Jose da Silva Campos M. Influence of the hyrax expander screw position on stress distribution in the maxilla: A study with finite elements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2019;155(1):80-7.

253. Rho JY, Ashman RB, Turner CH. Young's modulus of trabecular and cortical bone material: ultrasonic and microtensile measurements. *J Biomech.* 1993;26(2):111-9.
254. Sagl B, Schmid-Schwap M, Piehslinger E, Kundi M, Stavness I. A Dynamic Jaw Model with a Finite-Element Temporomandibular Joint. *Front Physiol.* 2019; 10-6.
255. Gröning F, Fagan MJ, O'Higgins P. The effects of the periodontal ligament on mandibular stiffness: a study combining finite element analysis and geometric morphometrics. *J Biomech.* 2011;44(7):1304-12.
256. Stansfield E, Parker J, O'Higgins P. A sensitivity study of human mandibular biting simulations using finite element analysis. *J Archaeol Sci Rep.* 2018; 22:420-32.
257. Uner O, Darendeliler N, Bilir E. Effects of an activator on the masseter and anterior temporal muscle activities in Class II malocclusions. *J Clin Pediatr Dent.* 1999;23(4):327-32.
258. Koriath TW, Hannam AG. Deformation of the human mandible during simulated tooth clenching. *J Dent Res.* 1994;73(1):56-66.
259. Altenburger E, Ingervall B. The initial effects of the treatment of Class II, division 1 malocclusions with the van Beek activator compared with the effects of the Herren activator and an activator-headgear combination. *Eur J Orthod.* 1998;20(4):389-97.
260. Forsberg CM, Odenrick L. Skeletal and soft tissue response to activator treatment. *Eur J Orthod.* 1981;3(4):247-53.
261. Cozza P, Baccetti T, Franchi L, De Toffol L, McNamara JA, Jr. Mandibular changes produced by functional appliances in Class II malocclusion: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;129(5):599.
262. Strajnić L, Stanisić-Sinobad D, Marković D, Stojanović L. Cephalometric indicators of the vertical dimension of occlusion. *Coll Antropol.* 2008;32(2):535-41.
263. Poulton DR. The influence of extraoral traction. *Am J Orthop.* 1967;53(1):8-18.
264. Creekmore TD. Inhibition or stimulation of the vertical growth of the facial complex, its significance to treatment. *Angle Orthop.* 1967;37(4):285-97.
265. Merrifield LL, Cross JJ. Directional forces. *Am J Orthod.* 1970;57(5):435-64.
266. Melsen B. Effects of cervical anchorage during and after treatment: an implant study. *Am J Orthod.* 1978;73(5):526-40.
267. Kloehn SJ. A new approach to the analysis and treatment in mixed dentition. *Am J Orthod.* 1953;39(3):161-86.
268. Ricketts RM. Dr. Robert M. Ricketts on early treatment (part 2). *J Clin Orthod.* 1979;13(2):115-27
269. Barton JJ. High-pull headgear versus cervical traction: a cephalometric comparison. *Am J Orthod.* 1972;62(5):517-29.
270. Wieslander L. The effect of force on craniofacial development. *Am J Orthod.* 1974;65(5):531-8.

271. Godt A, Berneburg M, Kalwitzki M, Göz G. Cephalometric analysis of molar and anterior tooth movement during cervical headgear treatment in relation to growth patterns. *J Orofac Orthop.* 2008;69(3):189-200.
272. Sandusky WC, Jr. Cephalometric evaluation of the effects of the Kloehn type of cervical traction used as an auxiliary with the edgewise mechanism following Tweed's principles for correction of Class II, division 1 malocclusion. *Am J Orthop.* 1965; 51:262-87.
273. Gould I. Mechanical principles in extraoral anchorage. *Am J Orthod.* 1957;43(5):319-33.
274. Tweed CH. The Frankfort-mandibular plane angle in orthodontic diagnosis, classification, treatment planning, and prognosis. *Am J Orthod Oral Surg.* 1946; 32:175-230.
275. LeCornu M, Cevidanes LH, Zhu H, Wu CD, Larson B, Nguyen T. 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.
276. Knop L, Gandini LG, Jr., Shintcovsk RL, Gandini MR. Scientific use of the finite element method in Orthodontics. *Dental Press J Orthod.* 2015;20(2):119-25.
277. Kendre B, Kumar A, Shetty KN, Hedge G, Umale V, Kulshrestha R. Evaluation of stress changes in the maxilla with fixed functional appliances-A 3D FEM study. *J Orthod Sci.* 2021; 10:10.
278. Nagahara K, Murata S, Nakamura S, Tsuchiya T. Displacement and stress distribution in the temporomandibular joint during clenching. *Angle Orthod.* 1999;69(4):372-9.
279. Meyer C, Kahn JL, Lambert A, Boutemy P, Wilk A. Development of a static simulator of the mandible. *J Craniomaxillofac Surg.* 2000;28(5):278-86.
280. Tanaka E, Rodrigo DP, Tanaka M, Kawaguchi A, Shibazaki T, Tanne K. Stress analysis in the TMJ during jaw opening by use of a three-dimensional finite element model based on magnetic resonance images. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2001;30(5):421-30.
281. Citarella R, Armentani E, Caputo F, Naddeo A. FEM and BEM Analysis of a Human Mandible with Added Temporomandibular Joints. *Open Mech Eng J.* 2012;100-14.
282. Koretsi V, Zymperdikas VF, Papageorgiou SN, Papadopoulos MA. 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.
283. De Pauw GAM DL. A modified Teuscher activator. *Semin Orthod.* 2006;12:34-40.
284. Krisjane Z, Urtane I, Krumina G, Zepa K. Three-dimensional evaluation of TMJ parameters in Class II and Class III patients. *Stomatologija.* 2009;11(1):32-6.
285. Arnett GW, Gunson MJ. Facial planning for orthodontists and oral surgeons. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004;126(3):290-5.
286. Park IY, Kim JH, Park YH. Three-dimensional cone-beam computed tomography-based comparison of condylar position and morphology according to the vertical skeletal pattern. *Korean J Orthod.* 2015;45(2):66-73.

287. Shildkraut M, Wood DP, Hunter WS. The CR-CO discrepancy and its effect on cephalometric measurements. *Angle Orthod.* 1994;64(5):333-42.
288. Girardot RA, Jr. Comparison of condylar position in hyperdivergent and hypodivergent facial skeletal types. *Angle Orthod.* 2001;71(4):240-6.
289. Cordray FE. The importance of the seated condylar position in orthodontic correction. *Quintessence Int.* 2002;33(4):284-93.
290. Cordray FE. Three-dimensional analysis of models articulated in the seated condylar position from a deprogrammed asymptomatic population: a prospective study. Part 1. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;129(5):619-30.
291. Ponces MJ, Tavares JP, Lopes JD, Ferreira AP. Comparison of condylar displacement between three biotopological facial groups by using mounted models and a mandibular position indicator. *Korean J Orthod.* 2014;44(6):312-9.
292. Isaacson JR, Isaacson RJ, Speidel TM, Worms FW. Extreme variation in vertical facial growth and associated variation in skeletal and dental relations. *Angle Orthod.* 1971;41(3):219-29.
293. Crawford SD. Condylar axis position, as determined by the occlusion and measured by the CPI instrument, and signs and symptoms of temporomandibular dysfunction. *Angle Orthod.* 1999;69(2):103-15.
294. Hidaka O, Adachi S, Takada K. The difference in condylar position between centric relation and centric occlusion in pretreatment Japanese orthodontic patients. *Angle Orthod.* 2002;72(4):295-301.
295. Stebel A, Desmedt D, Bronkhorst E, Kuijpers MA, Fudalej PS. Rating nasolabial appearance on three-dimensional images in cleft lip and palate: a comparison with standard photographs. *Eur J Orthod.* 2016;38(2):197-201.
296. Jyothikiran H, Shanthara JR, Subbiah P, Thomas M. Craniofacial imaging in orthodontics--past present and future. *Int J Orthod Milwaukee.* 2014;25(1):21-6.
297. Lane C, Harrell W, Jr. Completing the 3-dimensional picture. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;133(4):612-20.
298. Elkordy SA, Abouelezz AM, Fayed MM, Attia KH, Ishaq RA, Mostafa YA. Three-dimensional effects of the mini-implant-anchored Forsus Fatigue Resistant Device: A randomized controlled trial. *Angle Orthod.* 2016;86(2):292-305.
299. Alharbi F, Almuzian M, Bearn D. Miniscrews failure rate in orthodontics: systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod.* 2018;40(5):519-30.
300. Kochar GD, Londhe SM, Shivpuri A, Chopra SS, Mitra R, Verma M. Management of skeletal class II malocclusion using bimaxillary skeletal anchorage supported fixed functional appliances : A novel technique. *J Orofac Orthop.* 2021;82(1):42-53.
301. Al-Dumaini AA, Halboub E, Alhammadi MS, Ishaq RAR, Youssef M. A novel approach for treatment of skeletal Class II malocclusion: Miniplates-based skeletal anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2018;153(2):239-47.

-
302. Manni A, Migliorati M, Calzolari C, Silvestrini-Biavati A. Herbst appliance anchored to miniscrews in the upper and lower arches vs standard Herbst: A pilot study. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics. Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2019;156(5):617-25.
 303. Alhammadi MS, Qasem AAA, Yamani AMS, Duhduh RDA, Alshahrani RT, Halboub E, et al. Skeletal and dentoalveolar effects of class II malocclusion treatment using bi-maxillary skeletal anchorage: a systematic review. *BMC Oral Health.* 2022;22(1):339.
 304. Ravera S, Castroflorio T, Galati F, Cugliari G, Garino F, Deregibus A, et al. Short term dentoskeletal effects of mandibular advancement clear aligners in Class II growing patients. A prospective controlled study according to STROBE Guidelines. *Eur J Paediatr Dent.* 2021;22(2):119-24.
 305. Sabouni W, Eichelberger A, Des Georges O. Treatment of class II for growing patients by clear aligners: which protocol? *Orthod Fr.* 2019;90(1):13-27.
 306. Lione R, Balboni A, Di Fazio V, Pavoni C, Cozza P. Effects of pendulum appliance versus clear aligners in the vertical dimension during Class II malocclusion treatment: a randomized prospective clinical trial. *BMC Oral Health.* 2022;22(1):441.
 307. Dianiskova S, Rongo R, Buono R, Franchi L, Michelotti A, D'Antò V. Treatment of mild Class II malocclusion in growing patients with clear aligners versus fixed multibracket therapy: A retrospective study. *Orthod Craniofac Res.* 2022;25(1):96-102
 308. Dayan W, Aliaga-Del Castillo A, Janson G. Open-bite treatment with aligners and selective posterior intrusion. *J Clin Orthod.* 2019;53(1):53-4.

ANEXOS



Anexo 1 - Aprovação do estudo pela Comissão de Ética da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto



Exmª Senhora

**Drª. Marta Isabel Fernandes Barroso Pereira
Jorge**

Estudante do Curso de Doutoramento em Medicina
Dentária da Faculdade de Medicina Dentária da U.
Porto

000527 05-02-2018

(CC ao Orientador Sr. Prof. Doutor Jorge Dias Lopes)

Assunto: - Pedido de parecer sobre Projeto de Tese, no âmbito do Programa de Doutoramento em Medicina Dentária, da Licdª **Marta Isabel Fernandes Barroso Pereira Jorge**, intitulado: "Estudo dos efeitos biomecânicos dos aparelhos funcionais tipo Teuscher na correção das más oclusões de classes II hiperdivergentes através de elementos finitos", orientado pelo Sr. Prof. Doutor Jorge Dias Lopes.

Informo V. Exa. que, face à apresentação do documento solicitado, o projeto supra referido foi:

- Aprovado.

Marta Barroso Jorge 23/03/18

Com os melhores cumprimentos,
O Presidente da Comissão de Ética da FMDUP

António Felino

António Felino
(Professor Catedrático)

Anexo 2 - Informação detalhada do presente estudo



“Estudo dos efeitos biomecânicos dos aparelhos funcionais tipo Teuscher na correção das más oclusões de Classes II hiperdivergentes, através dos elementos finitos” – Marta Jorge

Informação à paciente

Objetivos

O objetivo da presente investigação é dar mais esclarecimentos sobre os reais efeitos biomecânicos do aparelho funcional do tipo *Teuscher* na correção da má oclusão de Classe II hiperdivergente, através dos elementos finitos.

Metodologia

Para efeitos de diagnóstico e planeamento e respetivo tratamento ortodôntico foi realizada a tomografia computadorizada de feixe cónico (TCFC). É um procedimento cada vez mais utilizado para o estudo ortodôntico. As imagens foram obtidas com um aparelho de TCFC de uma clínica externa à Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto e posteriormente enviadas para a investigadora principal para realização do diagnóstico e modelos de estudo.

Resultados/ benefícios esperados

Pretende-se avaliar os efeitos biomecânicos do aparelho funcional do tipo *Teuscher* na correção da má oclusão de Classe II hiperdivergente, através do método dos elementos finitos e demonstrar a sua utilidade no diagnóstico e planeamento ortodôntico.

Riscos/ desconforto

São registos necessários ao plano de tratamento ortodôntico.

Não se prevê qualquer risco ou desconforto para a participante.

Características éticas

Todos os dados recolhidos serão tratados com respeito pela sua privacidade e garantindo o seu anonimato, depois do estudo ser aprovado pela Comissão de Ética da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto.

Participação e/ou desistência espontânea A sua participação neste estudo é livre e, como tal, poderá recusar participar no mesmo. Se decidir participar, saiba que pode a qualquer momento desistir. A não participação não terá qualquer consequência no seu tratamento.

Confidencialidade

Todos os registos e dados recolhidos durante este estudo serão totalmente confidenciais. Em todas as publicações referentes a este estudo, a sua identidade será sempre ocultada. Se tiver alguma dúvida ou pretender qualquer esclarecimento adicional, não hesite em contactar. Marta Jorge Email: martaisabeljorge@gmail.com Telefone:962056600 Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto Rua Dr. Manuel Pereira da Silva, 4200-393 Porto Telefone: 220901100

Declaro que recebi, li e compreendi a explicação do estudo *“Estudo dos efeitos biomecânicos dos aparelhos funcionais tipo Teuscher na correção das más oclusões de Classes II hiperdivergentes, através dos elementos finitos.”*

Data __/__/__

Anexo 3 - Declaração consentimento informado



Declaração de Consentimento Informado

_____ (nome completo), compreendi a explicação que me foi fornecida, por escrito e verbalmente, acerca da investigação com o título “**Estudo dos efeitos biomecânicos dos aparelhos funcionais tipo Teuscher na correção das más oclusões de Classes II hiperdivergentes, através de elementos finitos**” conduzida pela investigadora Marta Isabel Fernandes Barroso Pereira Jorge na Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto, para a qual é pedida a minha participação. Foi-me dada oportunidade de fazer as perguntas que julguei necessárias, e para todas obtive resposta satisfatória. Tomei conhecimento de que, de acordo com as recomendações da Declaração de Helsínquia, a informação que me foi prestada versou os objetivos, os métodos, os benefícios previstos, os riscos potenciais e o eventual desconforto. Além disso, foi-me afirmado que tenho o direito de decidir livremente aceitar ou recusar a todo o tempo minha participação no estudo. Sei que posso abandonar o estudo e que não terei de suportar qualquer penalização, nem quaisquer despesas pela participação neste estudo. Foi-me dado todo o tempo de que necessitei para refletir sobre esta proposta de participação. Nestas circunstâncias, consinto participar neste projeto de investigação, tal como me foi apresentado pelo investigador responsável sabendo que a confidencialidade dos participantes e dos dados a eles referentes se encontra assegurada. Mais autorizo que os dados deste estudo sejam utilizados para este e outros trabalhos científicos, desde que irreversivelmente anonimizados.

Data __/__/__

Assinatura do representante legal da paciente:

.....

O investigador:

.....

Marta Jorge Telefone: 962056600 e-mail: martaisabeljorge@gmail.com

Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto- Rua Dr. Manuel Pereira da Silva,
4200-393 Porto- Telefone: 220 901 100

O orientador:

.....
Professor Doutor Jorge Dias Lopes - e-mail: jmlopes@fmd.up.pt; Faculdade de Medicina
Dentária da Universidade do Porto - Rua Dr. Manuel Pereira da Silva, 4200-393 Porto-
Telefone: 220 901 100

A coorientadora:

.....
Professora Doutora Maria João Ponces - e-mail: mponces@fmd.up.pt; Faculdade de Medicina
Dentária da Universidade do Porto - Rua Dr. Manuel Pereira da Silva, 4200-393 Porto-
Telefone: 220 901 100

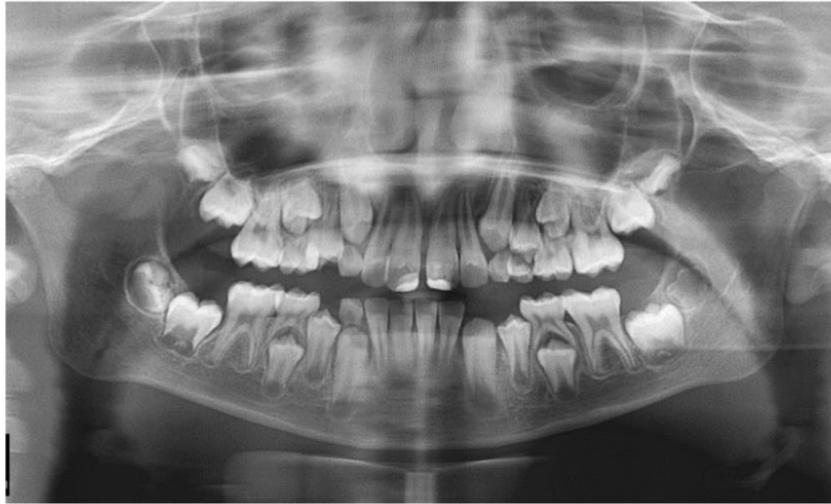
O coorientador:

.....
Professor Doutor Mário Augusto Pires Vaz - e-mail: gmavaz@fe.up.pt; Faculdade de
Engenharia da Universidade de Porto - Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto-
Telefone: 225081718

Anexo 4 - Caso clínico

INICIAL CT- 10,7 ANOS





FINAL CT- 12,1 ANOS



FINAL CT- 12,1 ANOS



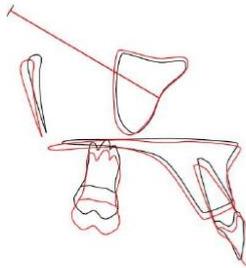
ANÁLISE CEFALOMÉTRICA DE TWEED MERRIFIELD

TWEED-MERRIFIELD	Inicial	Final	Norma	Unidade
FMA (ML/FH)	36.7	35.9	16-35	°
IMPA (ILi/ML)	100.8	102.6	80-95	°
FMIA (ILi/FH)	46.5	45.5	65-70	°
SNA	75.9	75.7	80-84	°
SNB	68.5	68.7	78-82	°
ANB	7.4	7.0	1-5	°
Wits	3.3	4.8	0-4	mm
OL/FH	17.3	14.0	8-12	°
Z	42.5	45.5	75-78	°
ILs/NL	111.9	116.3	111±4.7	°
Zs	55.3	59.7	75	°
AFP	33.3	35.7	45	mm
AFA	54.4	57.3	65	mm
UL	15.0	15.0		mm
TC	7.9	10.4		mm

MAXILA

Traçado Inicial (Cópia)
Traçado Final (Cópia)

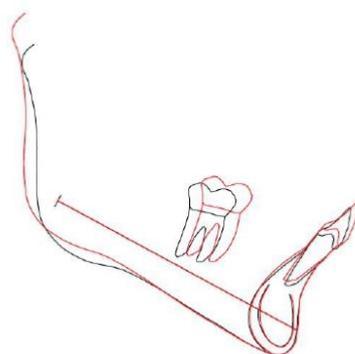
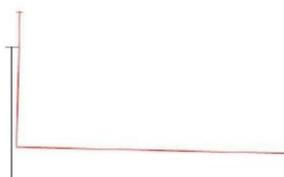
— original
— original



MANDÍBULA

Traçado Inicial (Cópia)
Traçado Final (Cópia)

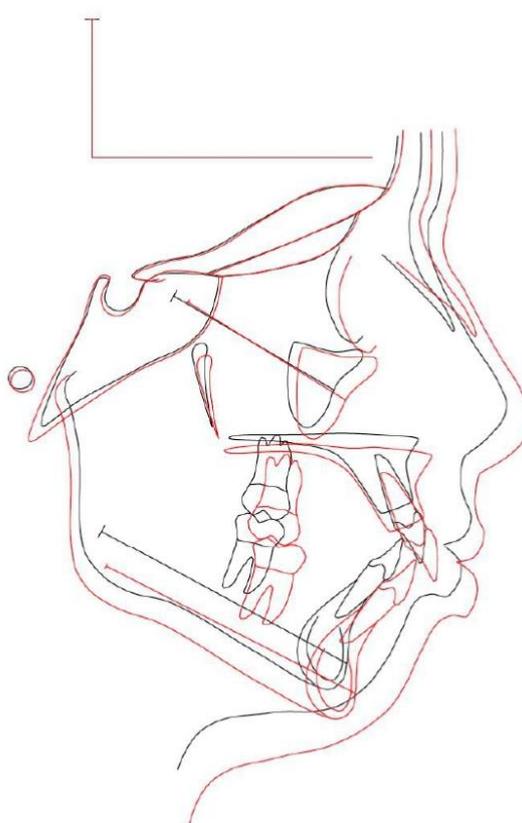
— original
— original



GERAL

Traçado Inicial (Cópia)
Traçado Final (Cópia)

— original
— original



FACULDADE DE MEDICINA DENTÁRIA



