

ESCOLA DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA
DOUTORADO EM CIRURGIA E TRAUMATOLOGIA BUCOMAXILOFACIAL

FLÁVIO HENRIQUE SILVEIRA TOMAZI

**ESTUDO DAS VARIAÇÕES DE ANCORAGEM DO APARELHO DE HYRAX EM EXPANSÃO
CIRÚRGICA DE MAXILA: ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS**

Porto Alegre

2019

PÓS-GRADUAÇÃO - *STRICTO SENSU*



Pontifícia Universidade Católica
do Rio Grande do Sul

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE CIÊNCIAS DA SAÚDE**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA
DOUTORADO EM CIRURGIA E TRAUMATOLOGIA BUCO-MAXILO-FACIAL**

**ESTUDO DAS VARIAÇÕES DE ANCORAGEM DO APARELHO
DE HYRAX EM EXPANSÃO CIRÚRGICA DE MAXILA :
ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul como requisito para obtenção do título de Doutor em Odontologia, na área de concentração de Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial.

Pesquisador: Flávio Henrique Silveira Tomazi

Pesquisador Responsável: Eduardo Rolim Teixeira

Porto Alegre, 2019

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE CIÊNCIAS DA SAÚDE**

Tese de Doutorado

**ESTUDO DAS VARIAÇÕES DE ANCORAGEM DO APARELHO
DE HYRAX EM EXPANSÃO CIRÚRGICA DE MAXILA :
ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS**

Pesquisador: Flávio Henrique Silveira Tomazi

Pesquisador Responsável: Eduardo Rolim Teixeira

Porto Alegre, 2019

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho:

À minha família, que é a base de tudo. Meu pai Flávio, minha mãe Lú e meu irmão Eduardo que, por vezes, abdicaram dos seus sonhos para proporcionarem os meus. Eles que sempre me apoiam incondicionalmente em todas as minhas escolhas nessa jornada pessoal e profissional.

À Duda, minha namorada, por estar sempre junto, me incentivando e me fortalecendo nos momentos em que até mesmo eu duvidei que seria capaz.

Vocês são fundamentais e a razão de tudo isso. Amo vocês.

“Quando as raízes são profundas, não há razão para temer o vento.”

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Eduardo Rolim Teixeira pela maneira leve e objetiva com a qual me orientou e ajudou durante esse trabalho. Seu conhecimento e sabedoria são inspiradores. Foi uma honra poder ter sido seu orientado. Vou levar seus ensinamentos para sempre.

Ao professor Dr Claiton Heitz, exímio cirurgião, que me acolheu de braços abertos desde o Mestrado até o início do Doutorado como professor orientador. Seu carisma, ética e profissionalismo, não medindo esforços para proporcionar o bem aos pacientes e alunos, ensinou-me muito mais que “simplesmente cirurgia”.

À Faculdade de Odontologia da PUC/RS, a todos os professores e funcionários da Pós-graduação, aos meus colegas de Mestrado e Doutorado. Obrigado pelos ensinamentos transmitidos e ajuda que permitiu a realização desse trabalho.

Ao Centro de Tecnologias da Informação Renato Archer (CTI/CenPRA), do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Agradecimento especial ao Pedro Yoshito Noritomi, pesquisador da divisão de tecnologias tridimensionais, pela acolhida e pela valiosa contribuição em todas as etapas de execução do trabalho, sempre com muita disposição e paciência, desde a questão dos agendamentos de horários até a conclusão do projeto, com ideias e explicações muito importantes e pela ajuda em tudo o que foi necessário. Ainda aproveito a oportunidade para agradecer Daniel Takanori Kemmoku (Taka) e Leonardo Mendes Ribeiro Machado pelo auxílio e desenvolvimento das pesquisas no CTI.

Ao amigo Ricardo Augusto Conci, que foi parceiro dessa longa jornada. Juntos desde a época da residência, passando pelas pesquisas de Mestrado e Doutorado. És um exemplo de pessoa e profissional.

Aos meus professores de Residência, em especial, ao Prof. Dr Eleonor Álvaro Garbin Jr. e ao Prof. Dr Geraldo Luiz Griza, pelas incansáveis horas de cirurgias, conversas, planejamentos, amizade e por fazerem me apaixonar ainda mais pela Cirurgia Bucomaxilofacial.

A Deus, por ter sido sempre tão generoso comigo. Além de uma família e amigos maravilhosos, ELE sempre colocou em meu caminho pessoas extraordinárias, do bem, muito capacitadas e sempre dispostas a ajudar.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

PUCRS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

CTI – Centro de Tecnologia da Informação

CenPRA – Centro de Pesquisa Renato Archer

EOL - expansão ortodôntica lenta (EOL)

ERM - expansão rápida de maxila (ERM)

ERMCA – Expansão rápida de maxila cirurgicamente assistida

FEA – Análise por elementos finitos

FE – Elemento Finito

3 D – Três dimensões

TC – Tomografia Computadorizada

Mpa – Mega Pascal

N – Newton

mm – Milímetro

SUMÁRIO

1	Resumo.....	8
2	Abstract	9
3	Introdução e Revisão de Literatura.....	10
4	Objetivos.....	18
5	Justificativa.....	19
6	Metodologia.....	20
7	Resultados.....	28
8	Discussão.....	46
9	Conclusão.....	50
10	Bibliografia	51

1. RESUMO

Sabe-se que uma adequada dimensão maxilar transversa é fator fundamental para uma oclusão estável, trazendo benefícios funcionais e estéticos ao paciente.

Em pacientes que apresentam atresia de maxila e com o término do crescimento ósseo, tem-se considerado como a melhor opção para correção a expansão rápida de maxila cirurgicamente assistida (ERMCA).

Diversos dispositivos para auxiliar a ERMCA foram descritos na literatura pertinente, sendo o mais utilizado o aparelho de Hyrax.

O objetivo desse estudo foi avaliar, através de análise por elementos finitos, a variação de ancoragem do aparelho de Hyrax em ERMCA, buscando assim a opção que apresentasse a melhor função ortopédica associada aos menores efeitos colaterais.

Foram criados 5 grupos, cada um com uma ancoragem diferente e, aplicada uma força igual ao parafuso expansor. Os resultados de deslocamento (eixos X, Y e Z) e de tensão foram analisados através de uma escala de cores.

Todos os grupos apresentaram deslocamento ósseo, sendo o grupo 4 (ancoragem no 1º e 2º molares) o grupo que maior apresentou deslocamento horizontal (eixo X) e menor vestibularização dental, o que permitiu concluir que variações de localização de ancoragem do aparelho podem influenciar no resultado final do tratamento.

2. ABSTRACT

It is known that a suitable transverse maxillary dimension is a key factor for a stable occlusion, bringing functional and aesthetic benefits for the patient.

In patients who present maxillary atresia and the end of bone growth, the best option for correction is said to be the surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME).

Several devices to assist the SARME have been described, and the most widely used is the Hyrax apparatus.

The objective of this study was to evaluate, through finite element analysis, the anchorage variation of the Hyrax apparatus in SARME, thus seeking the option that presented greater orthopedic function and lower undesired effects.

Five groups were created, each with a different dental anchorage, and the same force was applied to the expander screw. The displacement results (X, Y and Z axes) and stress were analyzed using a color scale.

All groups presented bone displacement, with group 4 (anchorage in the 1st and 2nd molars) the group with the greatest horizontal displacement (X axis) and lower dental vestibularization, suggesting that variations in dental anchorage might affect the final treatment outcome.

3. INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA

Uma adequada dimensão maxilar transversa é um importante fator para uma oclusão estável e tem efeitos positivos na estética facial¹.

Deficiência transversa de maxila é frequentemente observada em pacientes adultos e pode ser responsável por mordida cruzada uni ou bilateral e apinhamento dental anterior². A incidência de mordida cruzada posterior é de aproximadamente 9,4% na população comum. A incidência sobe para 30% em pacientes que procuram avaliação para cirurgia ortognática³.

Os achados clínicos e radiográficos mais frequentemente observados em pacientes com discrepância maxilar esquelética incluem a mordida cruzada uni ou bilateral, mal posicionamento dental, arco maxilar estreito e a abóboda palatina alta⁴.

Foi previamente sugerido que a constrição maxilar poderia ser corrigida com técnicas envolvendo expansão ortodôntica lenta (EOL), expansão rápida de maxila (ERM), expansão de maxila cirurgicamente assistida (ERMCA) ou osteotomia Le Fort I segmentada⁵.

A primeira descrição de uma expansão maxilar da qual se teve notícias, foi de Le Fouton em 1839, através de um arco transverso. O autor relatou que em um paciente de 12 anos, num período de cinco meses, conseguiria uma expansão de 14 mm, na distância entre os primeiros molares superiores permanentes⁶.

Esse método de tratamento foi descrito pela primeira vez na literatura em 1860, por E. H. Angel, o qual a empregou com a finalidade de solucionar problemas de apinhamento no arco dentário superior⁷.

Essa técnica é considerada o tratamento de escolha para adolescentes em fase de crescimento. Entretanto, em pacientes com crescimento ósseo cessado, a ERM é dita como com pouco efeito direto na sutura palatina mediana.⁸ Em virtude da redução da elasticidade do osso e da resistência das interdigitações da sutura palatina mediana e das suturas laterais da maxilla, e com o término do crescimento ósseo pelo avanço da idade do paciente, a expansão de maxila cirurgicamente assistida é usada para pacientes adultos ou adolescentes⁸. De acordo com Haas, após os 18 anos, constitui-se tecnicamente difícil abrir a sutura palatina mediana com forças de distração ortopédicas, pois há uma união íntima entre as edentações presentes na sutura, como também o aumento da densidade óssea local⁹. Entretanto, até que haja a consolidação desta sutura, por volta dos 14-16 anos, pode-se obter sucesso com o uso de uma expansão rápida de maxila sem a necessidade de cirurgia maxilo-facial³.

A expansão rápida de maxila cirurgicamente assistida (ERMCA) foi introduzida em 1938, tendo como indicações gerais: maturidade esquelética, hipoplasia maxilar transversa severa uni ou bilateral, apinhamento dental anterior, corredor bucal acentu-

ado, que é vulgarmente conhecido como “corredor negro”, manifestado quando o paciente sorri¹⁰.

As possíveis vantagens da utilização clínica da ERMCA consistiriam em: correção da mordida cruzada, melhora na passagem de ar pela expansão da cavidade nasal, diminuição do corredor bucal, além de uma reportada melhora na saúde periodontal¹⁰. Soma-se a isso, o fato da ERMCA poder amenizar possíveis obstruções nasais, reduzir a suscetibilidade a infecções do trato respiratório e melhorar a permeabilidade nasal¹¹, em virtude do aumento da distância das paredes laterais da cavidade nasal. O aumento dessa distância provoca um aumento de volume interno do nariz, o que facilitaria o ato respiratório¹².

Diversos tipos de técnicas cirúrgicas foram descritas para a ERMCA combinando osteotomias maxilares, pterigopalatinas, nasal lateral, septal e palatinas, bem como uma série de distratores¹³, com a finalidade de romper as áreas de resistência lateral do terço médio da face. As áreas de resistência foram classificadas como “suporte anterior” (pilares da abertura piriforme), “suporte lateral” (pilar zigomático), “suporte posterior” (junção pterigóide) e suporte mediano (sutura palatina mediana)³.

Pereira *et al.* (2010), através de um estudo tomográfico, classificaram a abertura da sutura palatina mediana após a ERMCA em dois tipos. Tipo I: abertura completa da sutura palatina mediana desde a espinha nasal anterior até a espinha nasal posterior.

Tipo II: abertura total da sutura palatina mediana desde a espinha nasal anterior até a sutura palatina transversa, com parcial ou inexistente abertura da sutura palatina transversa¹⁴.

A literatura atual apresenta uma série de técnicas cirúrgicas aplicáveis à ERM-CA. De um lado, técnicas mais invasivas que promovem maior mobilidade das maxilas para correções de distâncias maiores, mas com maior possibilidade de complicações. Do outro, técnicas menos invasivas, com menor possibilidade de complicações, mas com maiores chances de recidiva¹⁰. A mais comumente utilizada traduz-se por osteotomias bilaterais das paredes laterais da maxila com ou sem a separação das placas pterigóides, combinadas com osteotomias da porção anterior da parede nasal lateral e da sutura palatina mediana³.

Seeberger *et al.* (2009)¹⁵ afirmaram, através de seus estudos com elementos finitos, que a não separação das placas pterigóides não influenciaria decisivamente no resultado final obtido da ERMCA.

Especialmente quando a cirurgia é realizada sob anestesia local, a separação das placas pterigóides não estaria indicada, pois haveria a possibilidade de proporcionar-se um sangramento trans-cirúrgico significativo e de difícil controle do feixe vascular palatino descendente¹⁶.

Outro fator que a literatura apresenta-se controversa refere-se à questão do septo nasal. Reinbacher *et al.* (2013) comprovaram, através de estudos clínicos e tomográficos, que não há a necessidade de liberação adicional do septo nasal da base palatal, visando uma possível alteração da posição final deste¹⁷.

Atualmente, adota-se comumente o protocolo descrito por Bell e Epker em 1976, no qual a separação da sutura palatina mediana dá-se por um acesso vestibular, sendo o osteótomo inserido preferencialmente entre as raízes dos incisivos centrais superiores¹⁸. Para evitar injúrias às raízes dos incisivos centrais superiores e aumentar o sucesso clínico, uma separação ortodôntica das raízes pode ser realizada no período pre-operatório¹⁹.

Diversos dispositivos ortodônticos foram desenvolvidos para auxiliar a separação da sutura palatina mediana. Aparelhos ósseo-suportados que aplicam as forças diretamente no osso maxilar durante sua expansão e retenção são descritos como redutores dos possíveis efeitos colaterais nos dentes; em contrapartida, necessitam de intervenção cirúrgica para sua instalação e remoção². Aparelhos híbridos também são descritos na literatura, sendo estes ancorados em miniparafusos no palato duro e nos dentes com o intuito de diminuir a vestibularização dental²⁰.

Os dispositivos mais comumente utilizados para ERMAC segundo a literatura pertinente são os dentossuportados e dentomucossuportados. Nessa categoria, os

mais utilizados seriam os expansores de Haas, McNamara e Hyrax, e dentre esses, o último o mais empregado atualmente¹⁴.

O disjuntor de Hyrax foi criado por Biederman, em 1968, e é conhecido pela sua característica de aplicação de força na maxila através dos dentes (dentossuportado), expandindo a sutura palatina mediana. Como vantagens, destaca-se a higienização mais fácil quando comparado aos outros aparelhos de expansão rápida da maxila, porém seu uso requer a cooperação do paciente ²¹.

A origem do termo HYRAX não é conhecida. Talvez esse nome derive do título do artigo publicado por Biederman em 1968, intitulado "A Hygienic Appliance for Rapid Expansion"²². Biederman descreveu a confecção desse disjuntor iniciando pela adaptação de bandas nos primeiros molares superiores permanentes e primeiros pré-molares, seguido da moldagem de transferência e posterior obtenção do modelo de gesso contendo as bandas. A seguir, o parafuso expensor seria posicionado sobre um pequeno montículo de gesso para mantê-lo afastado do palato, e lateralmente, equidistante de ambos os processos alveolares da maxila. O parafuso era orientado para que a ativação fosse realizada de anterior para posterior. A armação metálica caracterizava-se pela adaptação de segmentos de fio aço redondo 0,040" na superfície vestibular das bandas e de um outro fio redondo 0,059" adaptado ao parafuso expensor e a superfície palatina das bandas. A soldagem era realizada inicialmente nas barras vestibulares e

posteriormente, nas barras palatinas e no parafuso expensor. Neste mesmo artigo, Biederma apresentou um novo parafuso expensor pré-fabricado, o qual apresentava as espessas barras palatinas já soldadas ao parafuso, facilitando a confecção do aparelho expensor higiênico ^{22,23}.

O procedimento de cimentação tem por escolha o cimento de ionômero de vidro, devido à boa propriedade de retenção da banda à estrutura dentária e às suas propriedades preventivas de cárie com a liberação de flúor. Previamente à instalação do aparelho, deve-se fazer uma profilaxia, com escova de Robinson e/ou taça de borracha, pedra-pomes e água, em todos os dentes que serão apoios para o disjuntor Hyrax²⁴.

Algumas complicações relacionadas com aparelhos dento-suportados são descritas. Pode-se citar: perda de osso alveolar, compressão do ligamento periodontal, reabsorção radicular, deslocamento lateral do dente e extrusão²¹.

A ERMAC é considerada como um procedimento de baixo risco considerando-se complicações cirúrgicas. Entretanto, algumas complicações são mencionadas na literatura, variando de epistaxe à fratura da base do crânio com paresia reversível de nervo oculomotor e síndrome do compartimento orbital. Complicações menos graves associadas à esse procedimento incluem: hemorragia pos-operatória, dor, sinusite, desvio de septo nasal, irritação tecido palatino, problemas periodontais e recidivas¹⁰.

A expansão rápida da maxila é um tratamento bastante complexo que mostrou ter efeitos na maxila em todas as três dimensões. Tradicionalmente, ele é realizado com o uso de um dispositivo dentário com um parafuso de ajuste central que traduz duas forças iguais e opostas, porém colineares, para os segmentos ósseos, tentando separá-los. Experimentos iniciais em crânios secos sugeriram que, no plano coronal, isso resulta em rotações laterais de ambas as maxilas, com o centro de resistência ligeiramente acima da abertura piriforme na sutura frontomaxilar. No plano axial, o centro de rotação parece estar na sutura maxilar posterior ao nível dos terceiros molares. Por fim, evidências sugerem um leve movimento descendente do complexo maxilar quando uma expansão rápida de maxila é realizada²⁵.

Para entender melhor os efeitos do tratamento da expansão rápida de maxila, muitos estudos utilizando-se de análise por elementos finitos (FEA) foram realizados nos últimos anos²⁰.

2. OBJETIVO:

Avaliar a distribuição de forças e a projeção de deslocamento dos segmentos ósseos do palato duro em cirurgia de expansão rápida de maxila assistida cirurgicamente através de diferentes posições de ancoragem do aparelho disjuntor de Hyrax.

2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO

2.1.1 ANÁLISE DO DESLOCAMENTO HORIZONTAL

Avaliar quantitativamente o deslocamento horizontal da maxila e dos dentes associados à variação de ancoragem do aparelho de Hyrax em ERMCA.

2.1.2 ANÁLISE DO DESLOCAMENTO VERTICAL

Avaliar quantitativamente o deslocamento vertical da maxila e dos dentes com a variação de ancoragem do aparelho de Hyrax em ERMCA.

2.1.3 ANÁLISE DO DESLOCAMENTO ÂNTERO-POSTERIOR

Avaliar quantitativamente o deslocamento vertical da maxila e dos dentes com a variação de ancoragem do aparelho de Hyrax em ERMCA.

2.1.4 ANÁLISE DAS TENSÕES

Avaliar o local, a quantidade e o sentido das tensões na maxila, ligamento periodontal e dentes com a variação de ancoragem do aparelho de Hyrax em ERMCA.

3. JUSTIFICATIVA

A importância deste estudo baseia-se na análise dos efeitos de diferentes tipos de ancoragem no uso do aparelho de Hyrax quanto à distribuição de forças e deslocamento ósseo em cirurgia de expansão rápida de maxila assistida cirurgicamente.

O presente estudo avaliou através de simulações matemáticas a viabilidade e a eficiência biomecânica deste método em diferentes variações de ancoragem, procurando assim investigar qual é o melhor padrão de ancoragem dentossuportada para o presente disjuntor visando um melhor desempenho durante sua aplicação clínica.

4. METODOLOGIA

4.1 Análise por Elementos Finitos (FEA)

Esse estudo foi aprovado pela Comissão de Ética em Pesquisa da Escola de Ciências da Saúde da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) (Número: 8241).

Para criar o modelo de elementos finitos, foi necessário representar as estruturas geométricas da maxila e crânio em um modelo matemático como um todo, além dos dispositivos de expansão à serem comparados. As estruturas ósseas foram construídas a partir de um arquivo DICOM retirado do banco de dados no CTI (Centro de Tecnologia da Informação do CenPRA - Campinas, SP, Brasil). Os dados foram obtidos anteriormente a partir do escaneamento de um crânio seco de adulto submetido a uma tomografia computadorizada helicoidal, com um espessura de corte de 1 mm. As especificações técnicas e dimensões do dispositivo de Hyrax foram fornecidos pela empresa fabricante do dispositivo (Morelli Ltda.- Jundiai, SP, Brasil).

As geometrias tridimensionais da maxila, crânio e dispositivos de Hyrax para análise matemática foram criadas por software Rhinoceros 5.0 (McNeel-América do Norte, Seattle, WA). A partir desse momento, a geometria obtida de cada componente da análise foi importada para o software Altair HyperWorks 2017 (Altair Engineering Inc., Michigan, USA) visando o pré-processamento dos dados e desenvolvimento do

modelo de elementos finitos (FE). Todos os materiais representados no modelo obtido foram considerados como sendo homogêneos, isotrópicos e de elasticidade linear.

Os valores de módulo de isotropia de Young e coeficiente de Poisson para osso esponjoso, osso cortical, dentes, ligamento periodontal e mucosa palatina estão de acordo com os trabalhos de Lee et al, Park et al. ^{26,27}, e os valores correspondentes para liga de aço do expansor foram fornecidos pelo fabricante. (Tabela 1)

	Young (MPa)	Poisson
Osso Esponjoso	1,4 x 10 ³	0,3
Osso Cortical	1,4 x 10 ⁴	0,3
Dentes	2,6 x 10 ⁴	0,3
Ligamento Periodontal	6,8 x 10 ⁻³	0,49
Liga de aço	2,1 x 10 ⁵	0,35
Mucosa Palatina	6,8 x 10 ⁻¹	0,45

Tabela 1- Valores de Young e Poisson para as estruturas analisadas.

Foram criados 5 grupos de modelos de elementos finitos. A cada grupo, foi disposto um tipo de ancoragem dental, de acordo com exemplos:

Grupo 1- Ancoragem de 1º. Pré-Molar e 1º. Molar. (Figura 1)

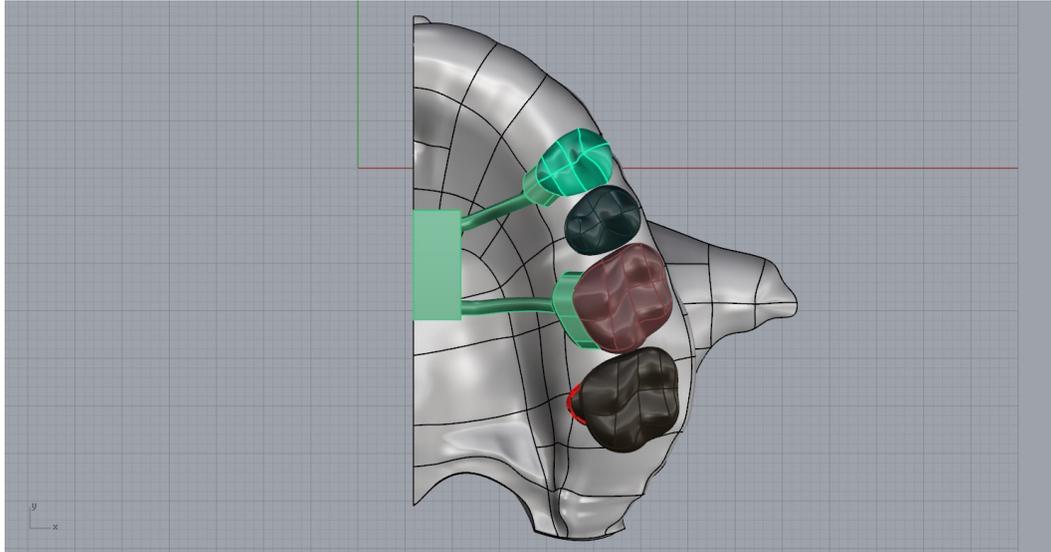


Fig. 1- Ancoragem do aparelho Hyrax no grupo 1.

Grupo 2 – Ancoragem de 1º. Pré-Molar e 2º. Molar. (Figura 2)

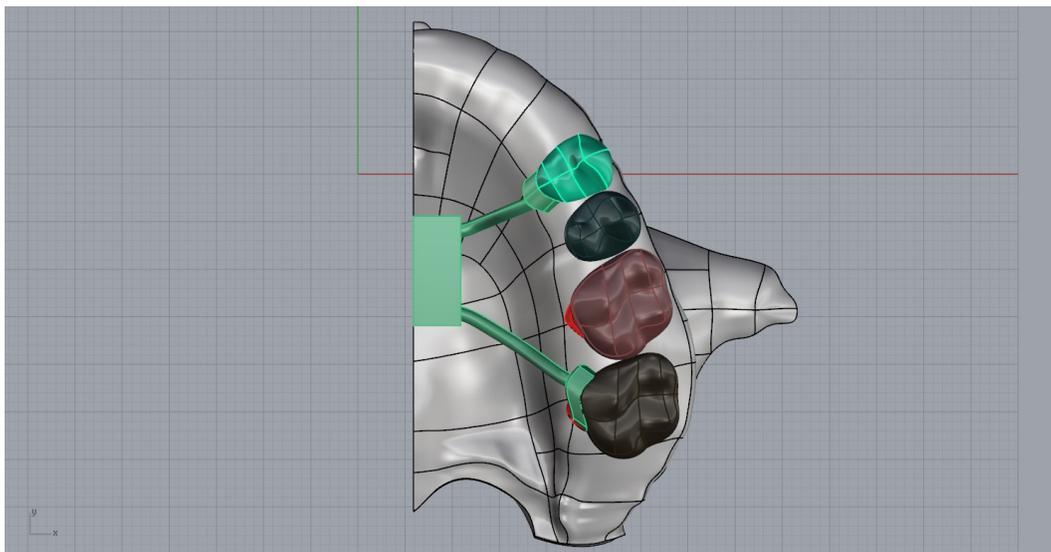


Fig. 2- Ancoragem do aparelho Hyrax no grupo 2.

Grupo 3 – Ancoragem de 2º. Pré-Molar e 2º. Molar. (Figura 3)

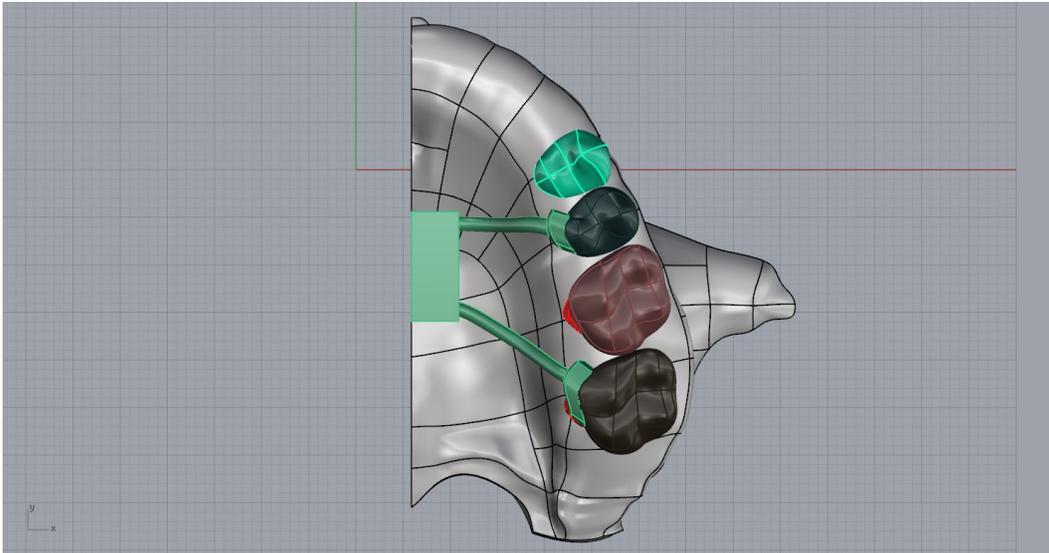


Fig. 3- Ancoragem do aparelho Hyrax no grupo 3.

Grupo 4 – Ancoragem de 1º. Molar e 2º. Molar. (Figura 4)

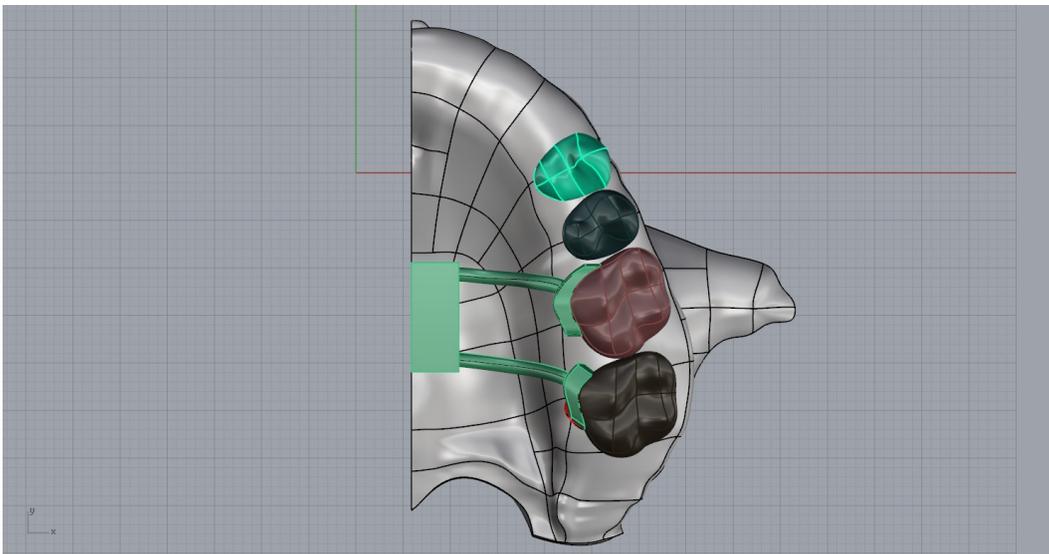


Fig. 4- Ancoragem do aparelho Hyrax no grupo 4.

Grupo 5 – Ancoragem de 2º. Pré-Molar e 1º. Molar. (Figura 5)

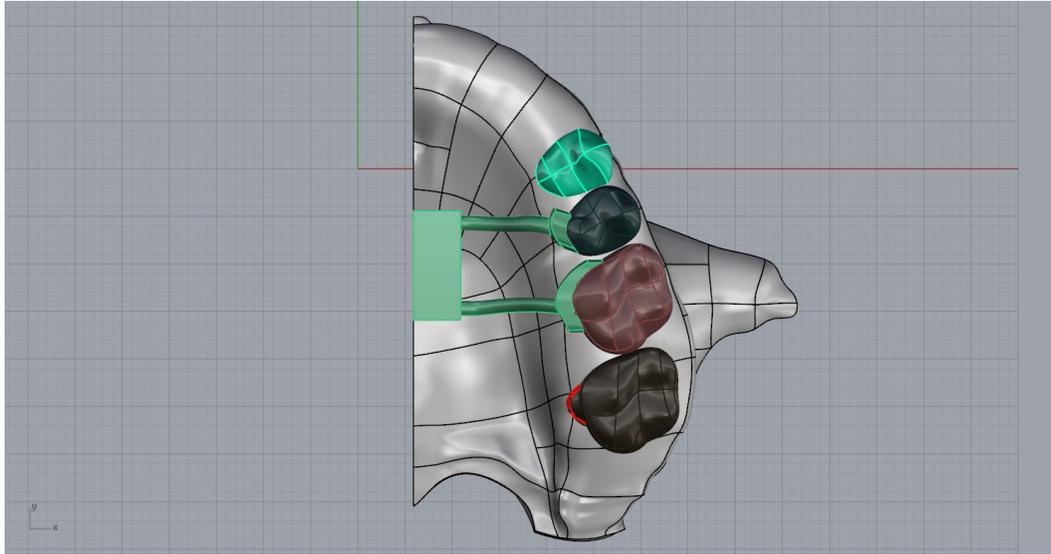


Fig. 5- Ancoragem do aparelho Hyrax no grupo 5.

Foram realizadas as osteotomias Le Fort I, sagital mediana, sendo a placa pterigóide mantida. Foi promovida a abertura de 1mm (0,5mm para cada lado) no torno central de todos os dispositivos. Nenhum tipo de contato foi aplicado nas regiões onde foram realizadas as osteotomias, as quais puderam se mover livremente sem fricção ou contato no planos “X” (transversal), “Y” (ântero-posterior) e “Z” (vertical). As condições de contorno aplicadas foram: simetria no plano de corte da maxila, deslocamento de 0,5mm no eixo “X” e restrição total de deslocamento na porção medial do osso pterigóide. O local e a força aplicada a cada modelo foram medidas através de uma escala de Tensão (Figura 6).

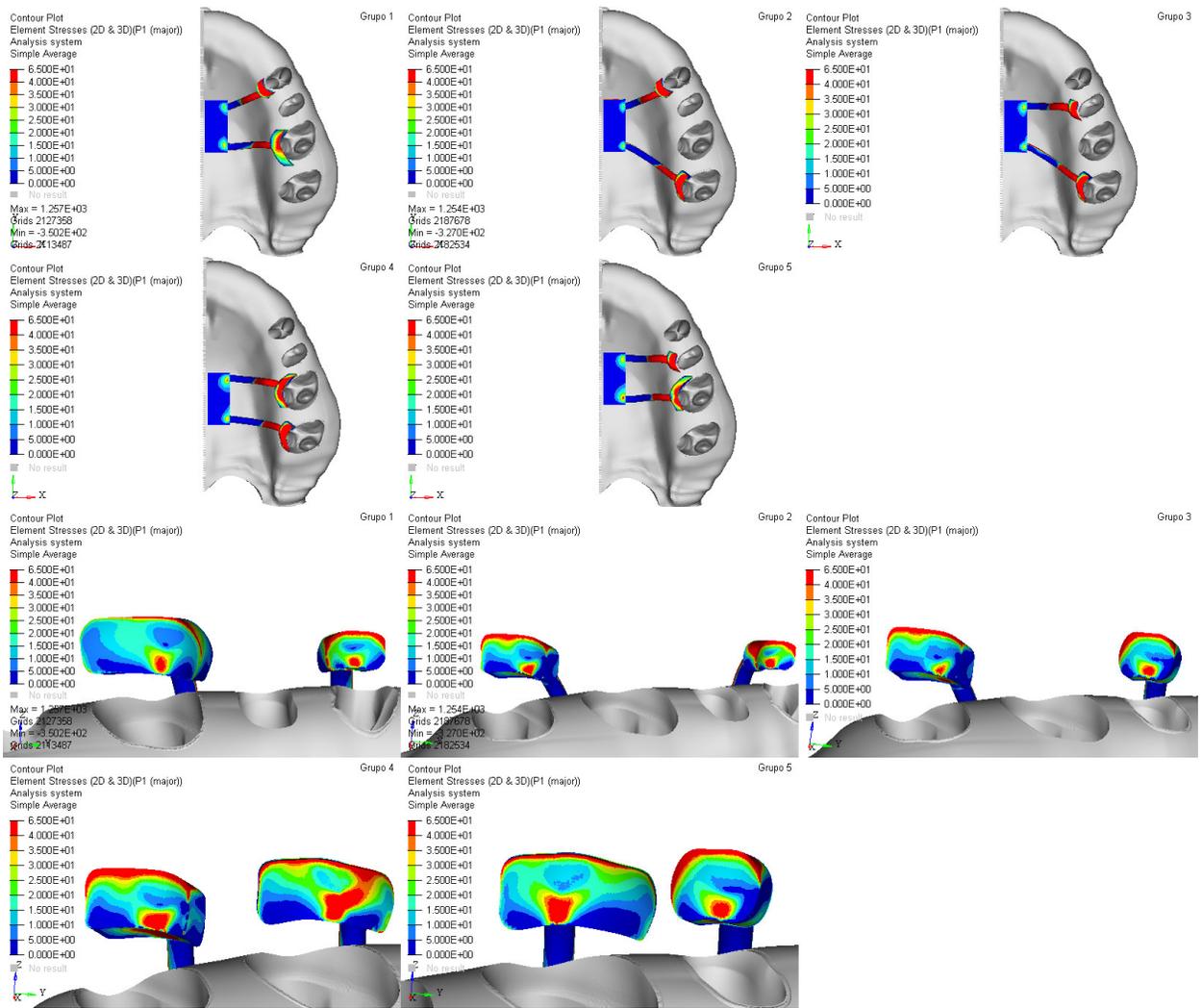


Fig. 6 - Intensidade e local de transmissão das forças aos modelos nos grupo de 1 a 5

A força de resistência à abertura provocada pela mucosa do palato foi simulada através da ferramenta “Elementos de Barra” que acrescenta resistência a regiões específicas do modelo de elementos finitos (nós) (Figura 7).



Fig. 7 - Local da aplicação de “Elementos de barra” simulando resistência à abertura do modelo

A análise quantitativa do deslocamento obtido através da simulação de aplicação de força deu-se através da escala de cores e através da comparação de deslocamento de pontos anatômicos marcados nos modelos gerados nos eixos “X”, “Y” e “Z”, seguindo o método de Singaraju et al. (2015) ²⁸ : Espinha nasal anterior (nó 211729), Espinha nasal posterior (nó 217586), Processo alveolar (nó 211771), Cúspide vestibular do 1º Pré-Molar (nó 15916), Cúspide Vestibular do 2º Pré-Molar (nó 191096), Cúspide mesiovestibular do 1º Molar (nó 596505), Cúspide mesiovestibular do 2º Molar (nó 196436) (Figura 8).

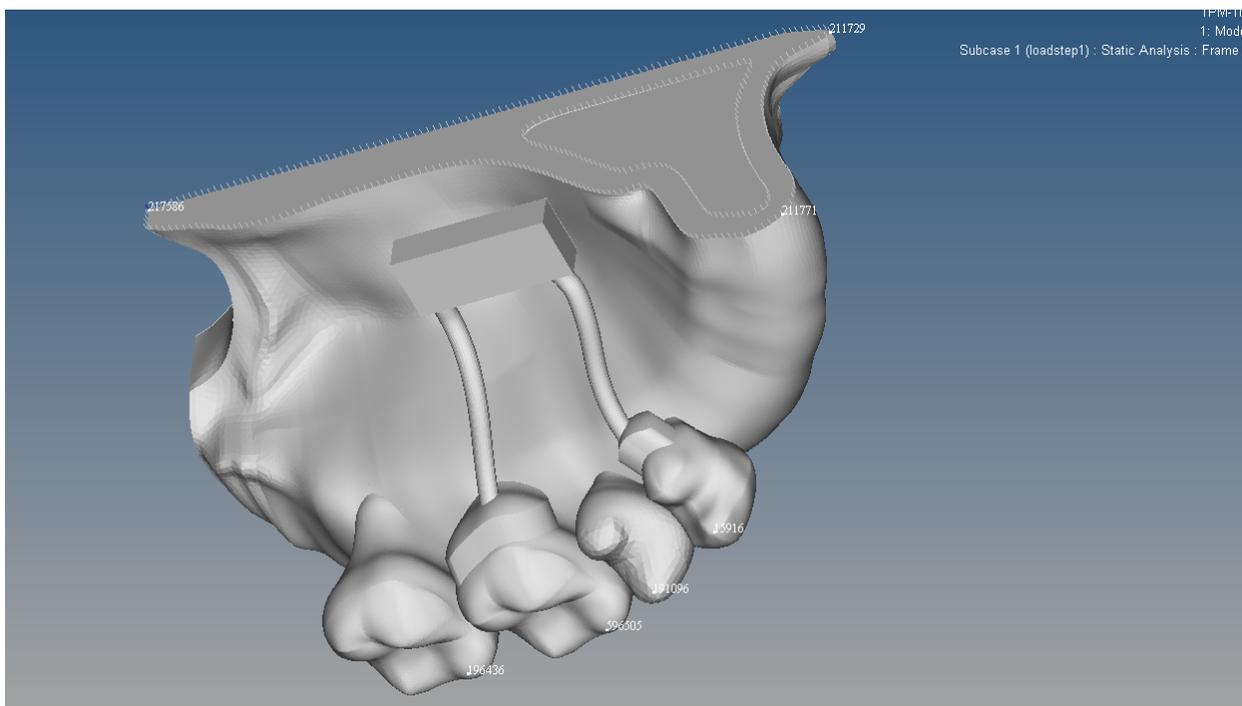


Fig. 8 - Pontos anatômicos demarcados no modelo.

5. RESULTADOS

5.1 Análise de Deslocamento Total

O deslocamento é maior nas áreas em vermelho, e praticamente nulo nas áreas em azul escuro. Áreas com deslocamento intermediário (verde, amarelo, laranja) são representadas pelas cores sendo o limite o vermelho e o azul escuro.

Grupo 1 (1°PM/1°M): Apresenta deslocamento ósseo maior na região anterior da maxila e dos dentes de suporte do aparelho. Observa-se um padrão de vestibularização e extrusão do 1° pré-molar e vestibularização 1° molar (Figura 9).

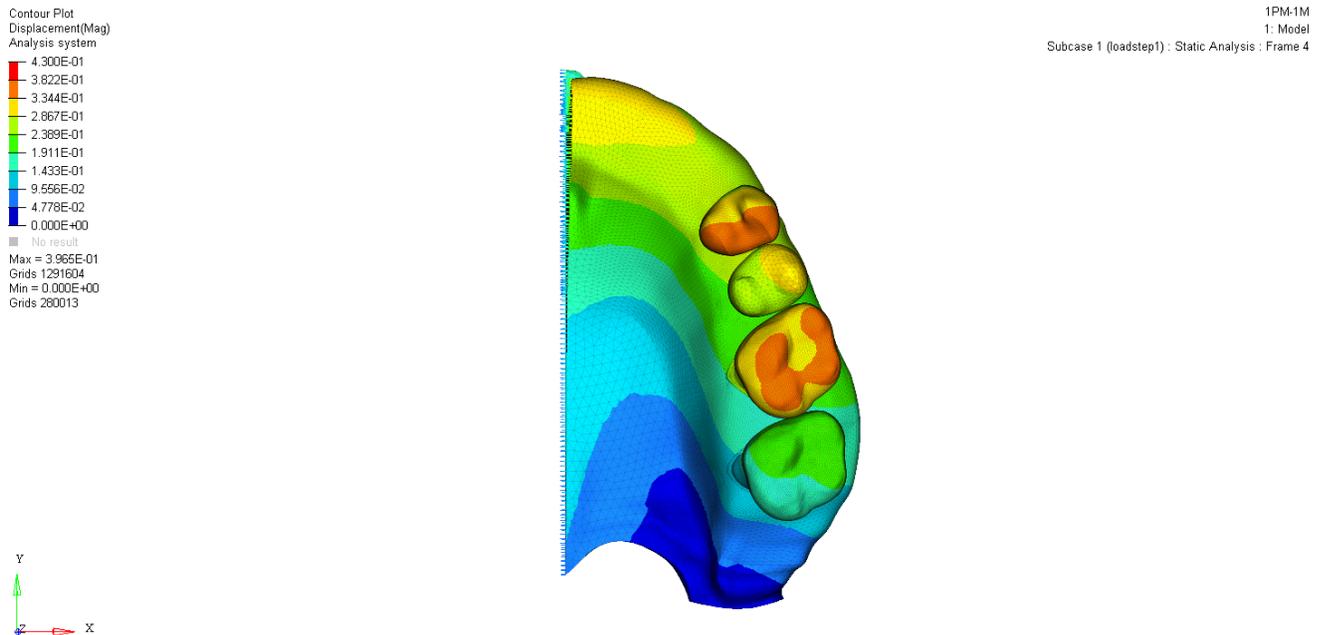


Fig. 9- Deslocamento Total Grupo 1.

Grupo 2 (1°PM/2°M): Apresenta deslocamento ósseo maior na região anterior da maxila, embora seja o grupo que apresente menor deslocamento ósseo no eixo "X". O 1° pré-molar apresenta grande movimentação. O 2° molar apresenta tendência de deslocamento para a distal. O movimento dental apresenta padrão de deslocamento de corpo como um todo com leve vestibularização dental (Figura 10).

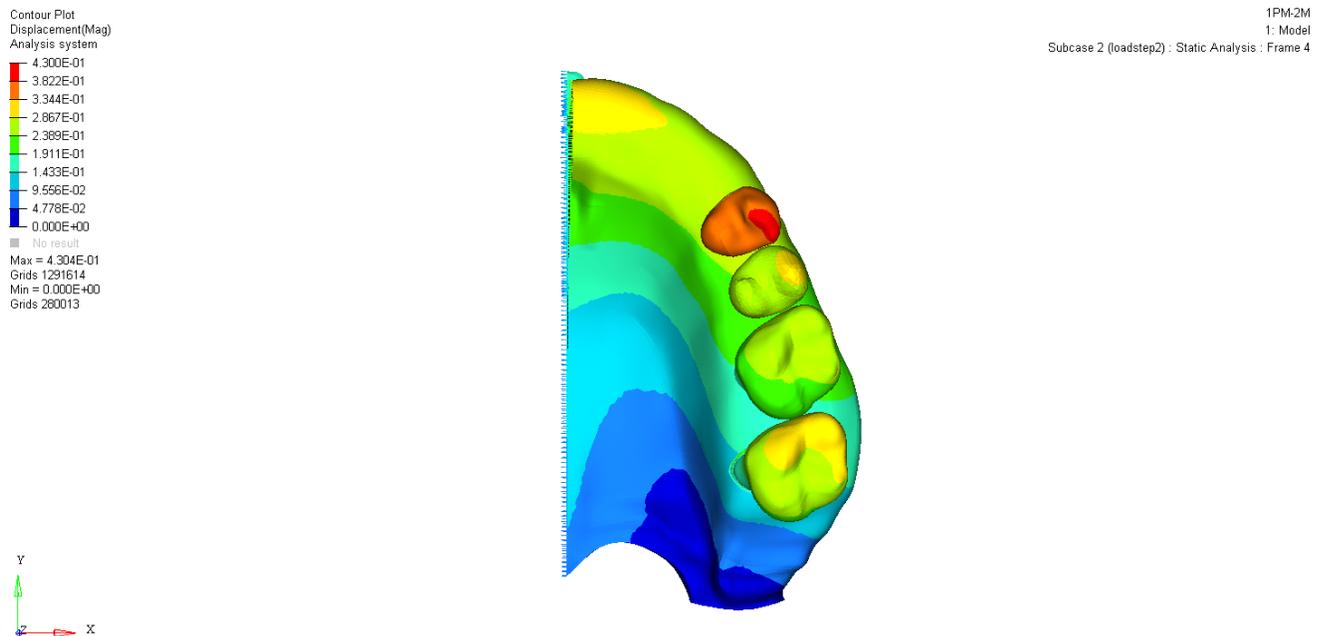


Fig. 10- Deslocamento Total Grupo 2.

Grupo 3 (2°PM/2°M): Apresenta maior deslocamento ósseo na região anterior da maxila. O 2° pré-molar sofre grande deslocamento em padrão de corpo, com tendência a extrusão. O 2° molar apresenta pequeno deslocamento com tendência a movimento de distalização (Figura 11).

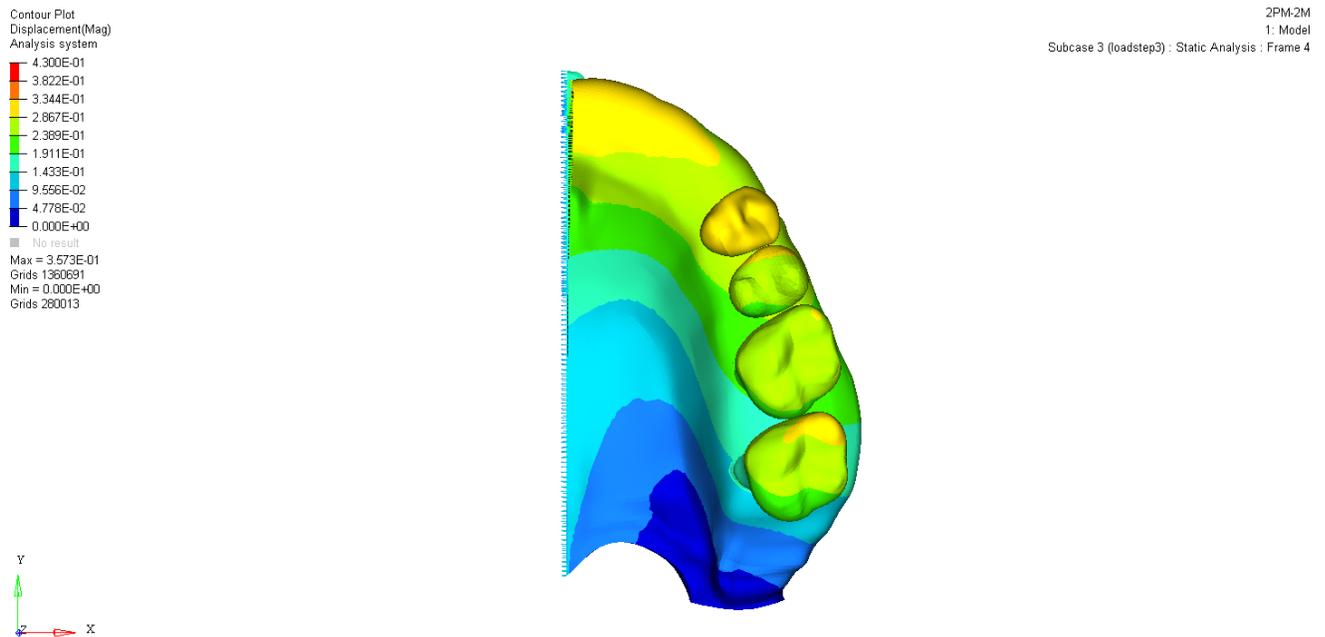


Fig. 11- Deslocamento Total Grupo 3.

Grupo 4 (1°M/2°M): Apresenta grande deslocamento ósseo na região anterior da maxila, com valores altos até a região da distal do 2° pré-molar. Foi o grupo que apresentou maior deslocamento ósseo no eixo “X”. Os dentes acompanham o deslocamento ósseo com pouca movimentação dental isolada, e o 2° molar apresenta tendência a distalização leve (Figura 12).

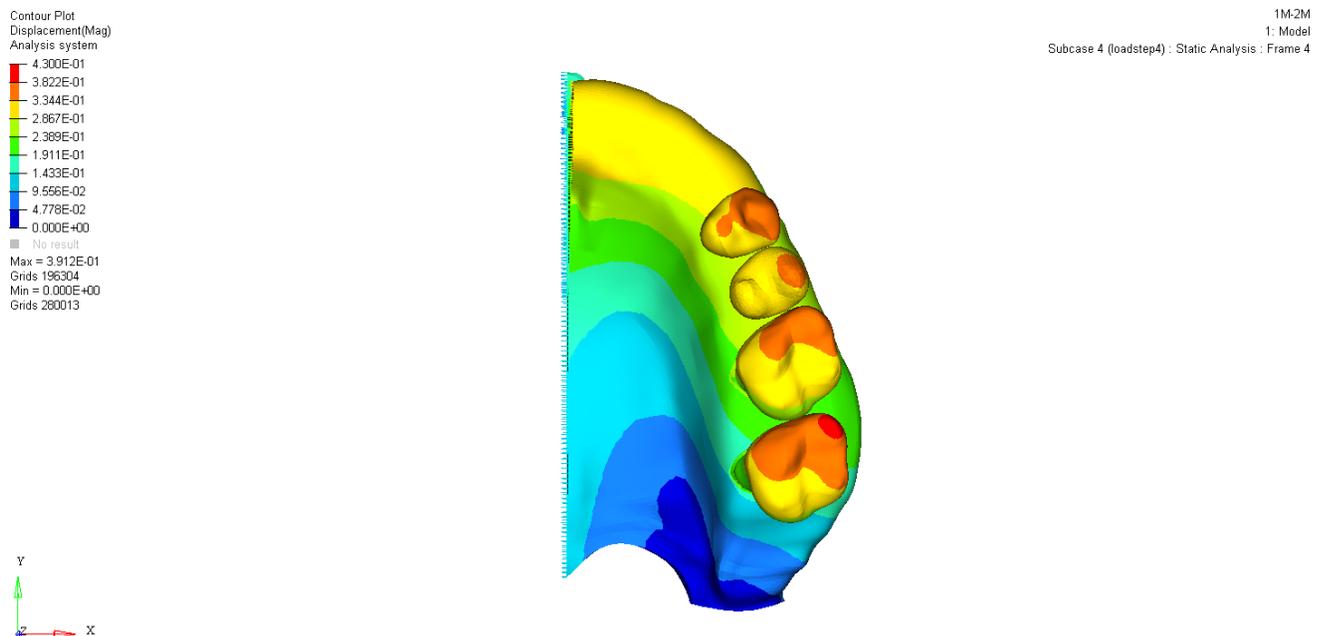


Fig. 12- Deslocamento Total Grupo 4.

Grupo 5 (2°PM/1°M): Apresenta maior deslocamento na região anterior da maxila, com valores altos até a região mesial do 1° pré-molar. O 1° molar apresenta pequeno deslocamento para vestibular e o 2° pré-molar apresenta grande deslocamento com padrão de vestibularização e extrusão (Figura 13).

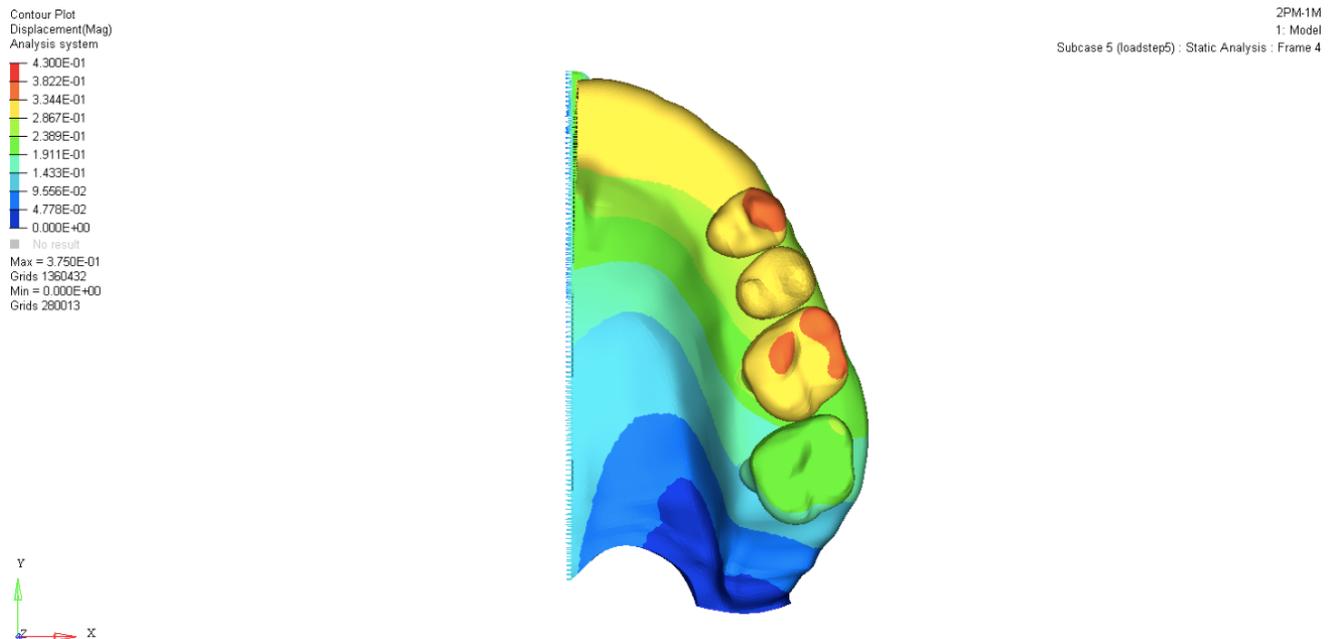


Fig. 13- Deslocamento Total Grupo 5.

5.2 Análise quantitativa de Deslocamento nos eixos “X”, “Y” e “Z”

A análise quantitativa de deslocamento nos eixos “X”, “Y” e “Z” são representadas de acordo com as tabelas a seguir:

Grupo 1 (1ºPM/1ºM) (Tabela 2):

Nó	Região	X	Y	Z	total
15916	1 Pré Molar	0,3257	0,05062	-0,05908	0,33486
191096	2 Pré Molar	0,2868	0,01763	-0,09634	0,30306
596505	1 Molar	0,3208	0,0368	-0,121	0,34483
196436	2 Molar	0,1978	-0,002853	-0,09408	0,21905
211729	E s p i n h a N a s a l Anterior	0,1715	0,04598	0,02183	0,17889
211771	P r o c e s s o alveolar	0,2914	0,07411	0,02406	0,30164
217586	E s p i n h a N a s a l Posterior	-0,009172	0,05138	0,07807	0,09391

Tabela 2- Deslocamento quantitativo do Grupo 1.

Grupo 2(1°PM/2°M) (Tabela 3):

Nó	Região	X	Y	Z	total
15916	1 Pré Molar	0,3722	0,0633	-0,05361	0,38133
191096	2 Pré Molar	0,2772	0,01762	-0,09355	0,29309
596505	1 Molar	0,2457	0,0016	-0,105	0,26720
196436	2 Molar	0,2931	-0,03219	-0,1072	0,31374
211729	E s p i n h a N a s a l Anterior	0,169	0,04511	0,01824	0,17587
211771	P r o c e s s o alveolar	0,2849	0,07413	0,02052	0,29510
217586	E s p i n h a N a s a l Posterior	-0,008639	0,04983	0,07734	0,09241

Tabela 3 - Deslocamento quantitativo do Grupo 2.

Grupo 3 (2°PM/2°M) (Tabela 4):

Nó	Região	X	Y	Z	total
15916	1 Pré Molar	0,3201	0,02949	-0,08142	0,33161
191096	2 Pré Molar	0,2538	-0,003277	-0,06498	0,26201
596505	1 Molar	0,2621	0,001814	-0,1116	0,28488
196436	2 Molar	0,278	-0,01199	-0,1115	0,29977
211729	E s p i n h a N a s a l Anterior	0,1727	0,04617	0,02655	0,18073
211771	P r o c e s s o alveolar	0,2969	0,0739	0,02864	0,30730
217586	E s p i n h a N a s a l Posterior	-0,009325	0,05147	0,08253	0,09771

Tabela 4 - Deslocamento quantitativo do Grupo 3.

Grupo 4 (1°M/2°M) (Tabela 5):

Nó	Região	X	Y	Z	total
15916	1 Pré Molar	0,3487	0,02558	-0,08236	0,35921
191096	2 Pré Molar	0,3258	0,01192	-0,1054	0,34263
596505	1 Molar	0,3389	-0,003652	-0,1249	0,36120
196436	2 Molar	0,3596	-0,008295	-0,1362	0,38462
211729	E s p i n h a N a s a l Anterior	0,1727	0,0457	0,04733	0,18481
211771	P r o c e s s o alveolar	0,3163	0,07064	0,04914	0,32780
217586	E s p i n h a N a s a l Posterior	-0,01044	0,05185	0,09748	0,11090

Tabela 5 - Deslocamento quantitativo do Grupo 4.

Grupo 5 (2°PM/1°M) (Tabela 6):

Nó	Região	X	Y	Z	total
15916	1 Pré Molar	0,3378	0,03243	-0,08712	0,35036
191096	2 Pré Molar	0,2768	0,04541	-0,07157	0,28949
596505	1 Molar	0,321	0,03479	-0,13	0,34807
196436	2 Molar	0,2142	-0,002641	-0,1021	0,23730
211729	E s p i n h a N a s a l Anterior	0,1836	0,04928	0,02563	0,19182
211771	P r o c e s s o alveolar	0,3139	0,07898	0,02791	0,32488
217586	E s p i n h a N a s a l Posterior	-0,01009	0,05521	0,0849	0,10177

Tabela 6 - Deslocamento quantitativo do Grupo 5.

5.3 - Análise de Deslocamento transversal (Eixo X)

Todos os modelos apresentaram deslocamento transversal maior na região anterior, em relação a região posterior, com tendência a um padrão de abertura da sutura intermaxilar em forma de “V”, sendo o grupo 4 o que apresentou maior deslocamento no eixo X (Figura 14).

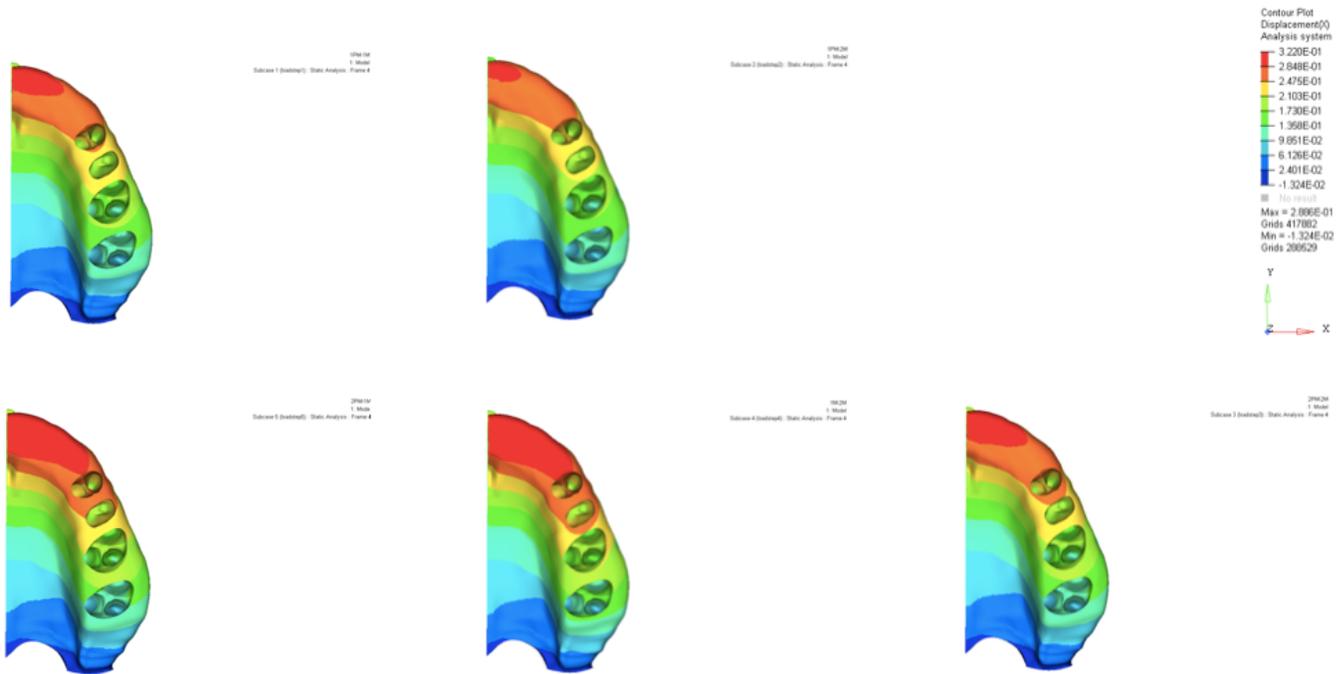


Fig. 14 - Valores de deslocamento no eixo “X” para os 5 grupos.

5.4 - Análise de Deslocamento Vertical (Eixo Z)

Todos os grupos apresentaram deslocamento da região anterior “para baixo” e da região posterior “para cima”, caracterizando movimento de rotação. O grupo 4 apresentou a maior movimentação (Figura 15).

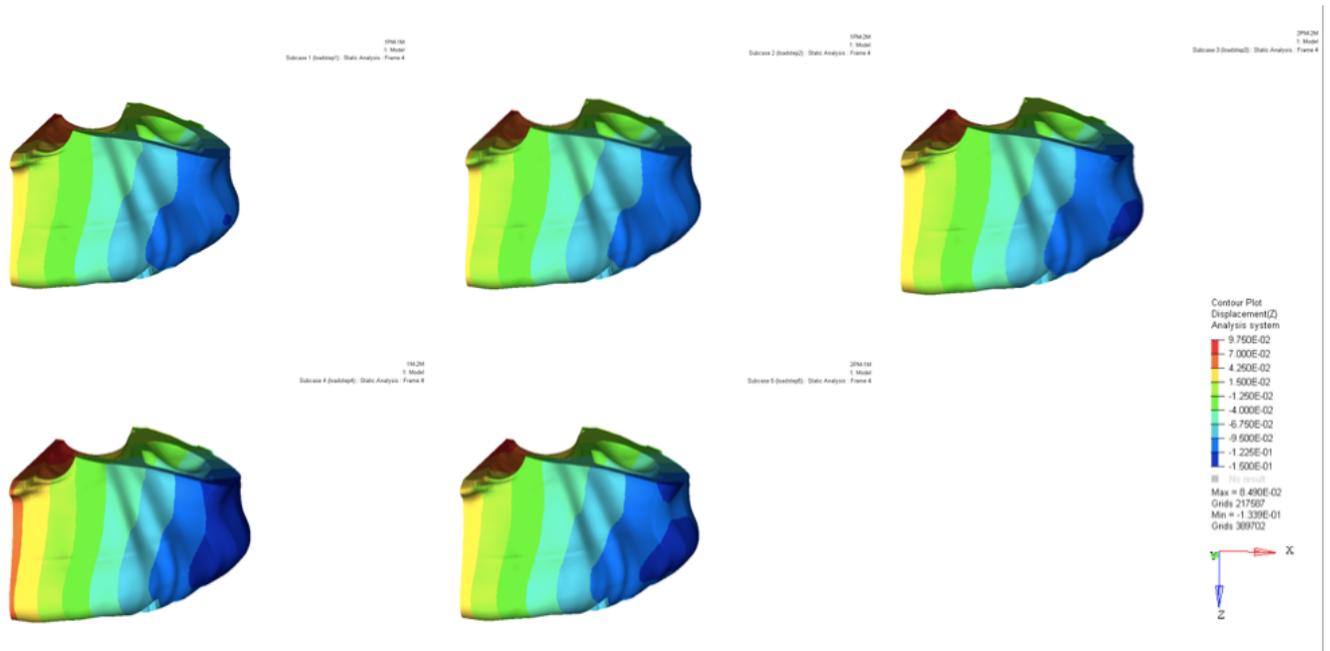


Fig. 15 - Valores de deslocamento no eixo “Z” para os 5 grupos.

5.5 Tensão Principal Máxima da Maxila

Os cinco grupos apresentam valores de tensão principal máxima semelhantes, com valores máximos na região do pterigóide e se propagando para região palatina (até a altura dos prés-molares) e região de tuberosidade da maxila. Soma-se a isso, valores altos de compressão na região alveolar vestibular dos prés-molares nos grupos que usaram os prés-molares como ancoragem (Grupos 1, 2, 3 e 5) e valores negativos na região palatina de suporte ósseo das raízes palatinas nesses mesmos grupos (Figura 16).

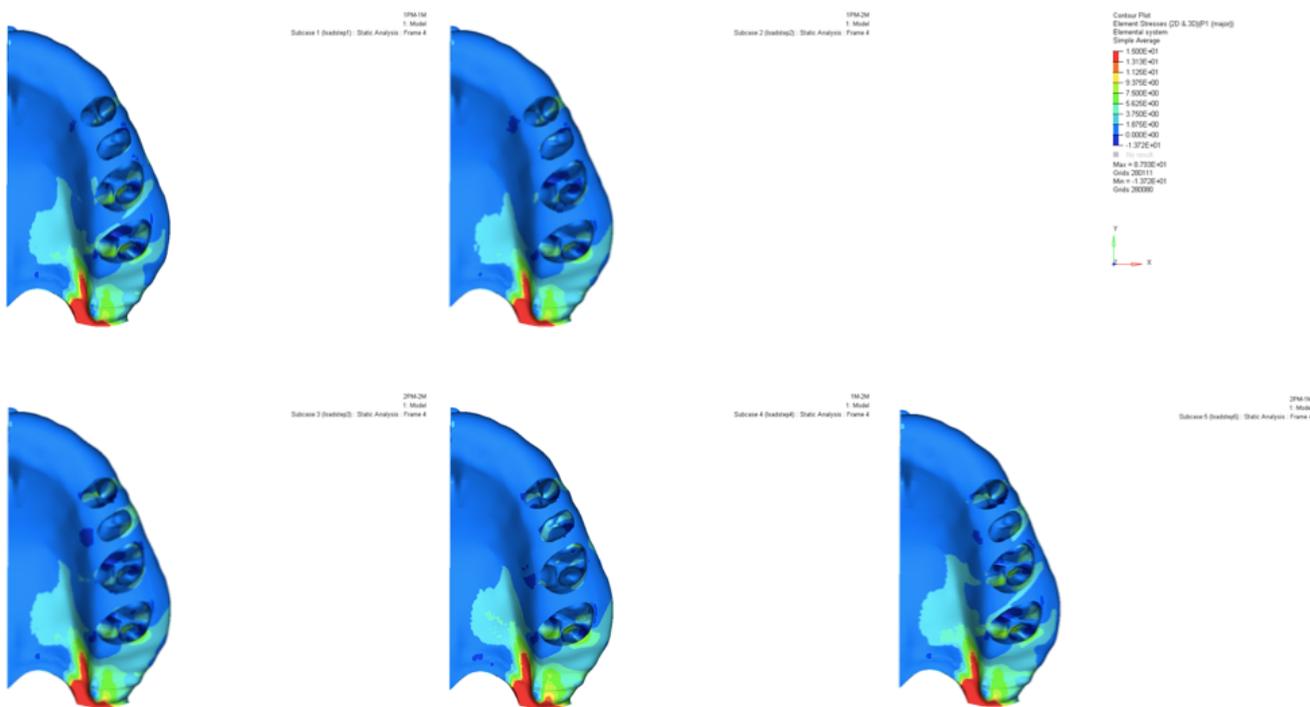


Fig. 16 - Valores de Tensão Principal Máxima para os 5 grupos.

5.6 Tensão Principal Máxima do Ligamento Periodontal

Grupo 1: No 1º. pré-molar, observa-se grande área de tração na região apical da face palatina de ambas as raízes, com valores maiores para a raiz palatina. No 1º. molar, observa-se maior força de tração na região cervical, levemente voltada para a mesial e palatina (Figura 17).

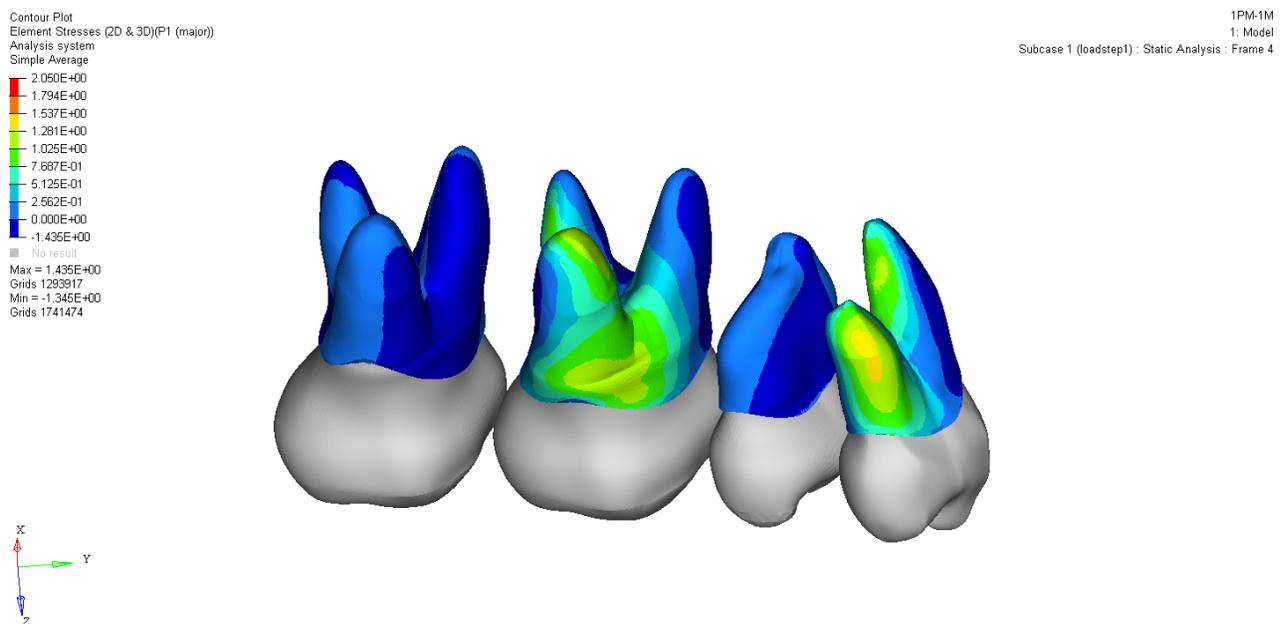


Fig. 17 - Valores de Tensão Principal Máxima do Ligamento periodontal no Grupo 1.

Grupo 2: No 1º pré-molar, observa-se maiores valores de tração na face palatina de ambas as raízes, com valores semelhantes entre elas. No 2º Molar, observa-se maiores níveis de tração na parte mesial em nível cervical e na face vestibular da raiz palatina (Figura 18).

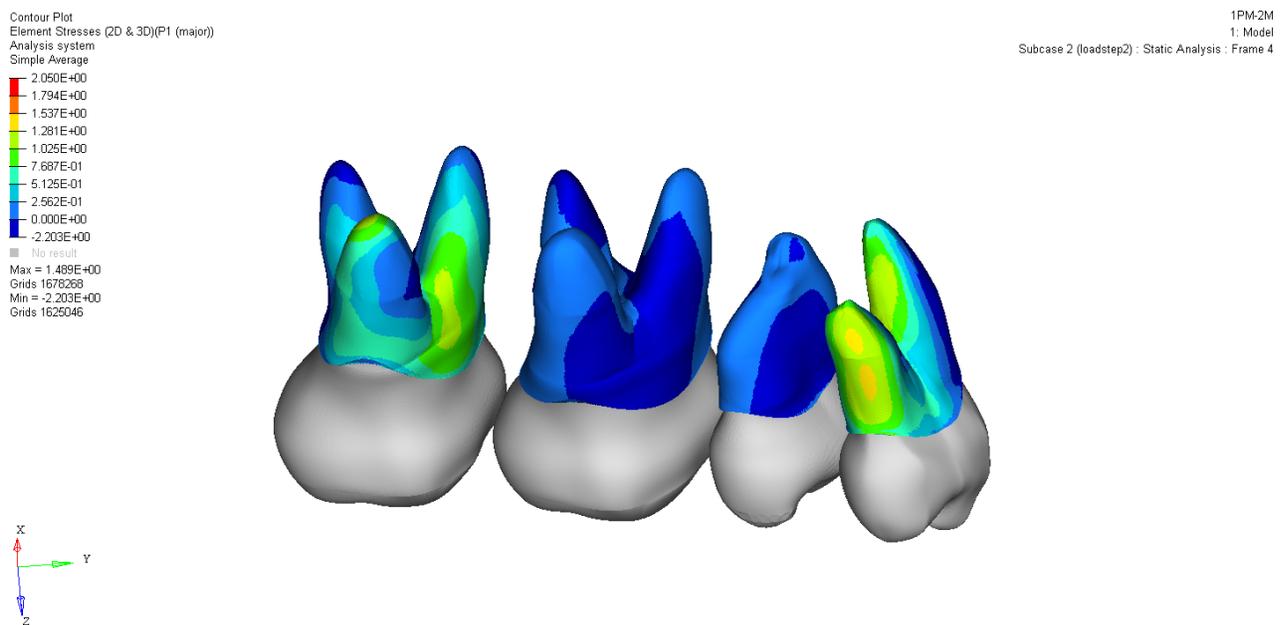


Fig. 18 - Valores de Tensão Principal Máxima do Ligamento periodontal no Grupo 2.

Grupo 3: O 2º pré-molar apresenta 3 focos grandes de tração na face palatina, evidenciando um movimento de corpo único. No 2º molar, observam-se valores intermediários de tração, e os campos de tração concentram-se na região distal da raiz palatina e na face palatina da raiz mesiovestibular (movimento de rotação anti-horário) (Figura 19).

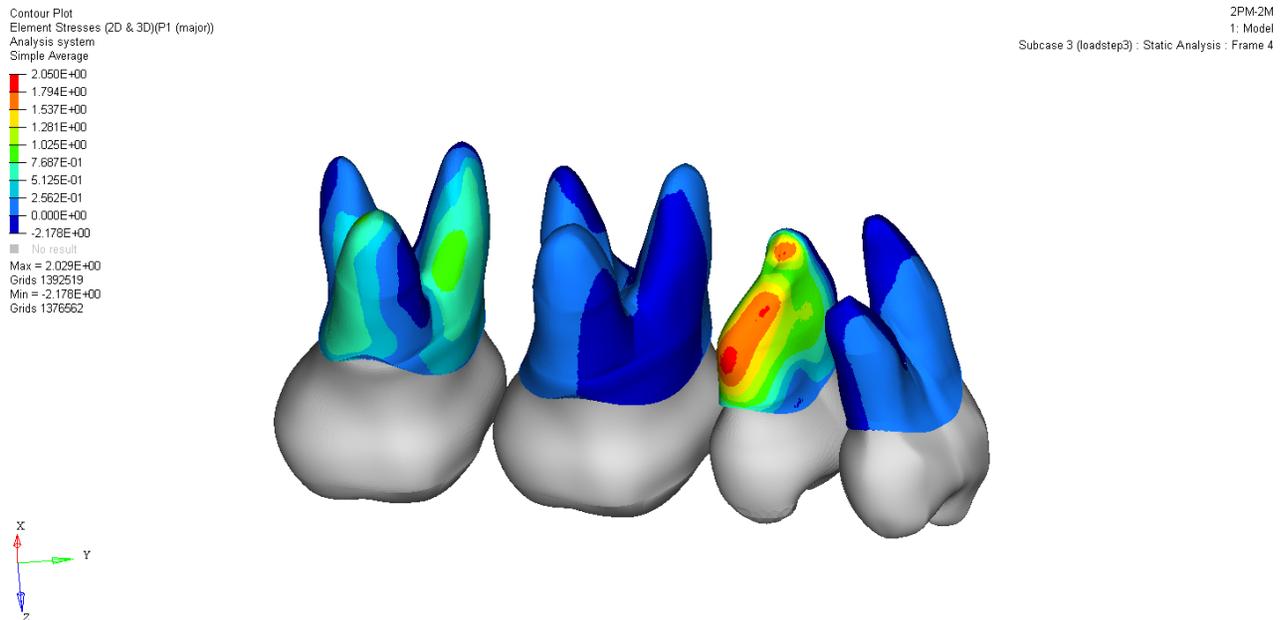


Fig. 19 - Valores de Tensão Principal Máxima do Ligamento periodontal no Grupo 3.

Grupo 4: Os dois molares apresentam campos de tração muito semelhantes com valores maiores no 2º. molar. As forças de tração concentram-se na face distal da raiz palatina e face palatina das raízes vestibulares, com tendência a um movimento de rotação anti-horário (Figura 20).

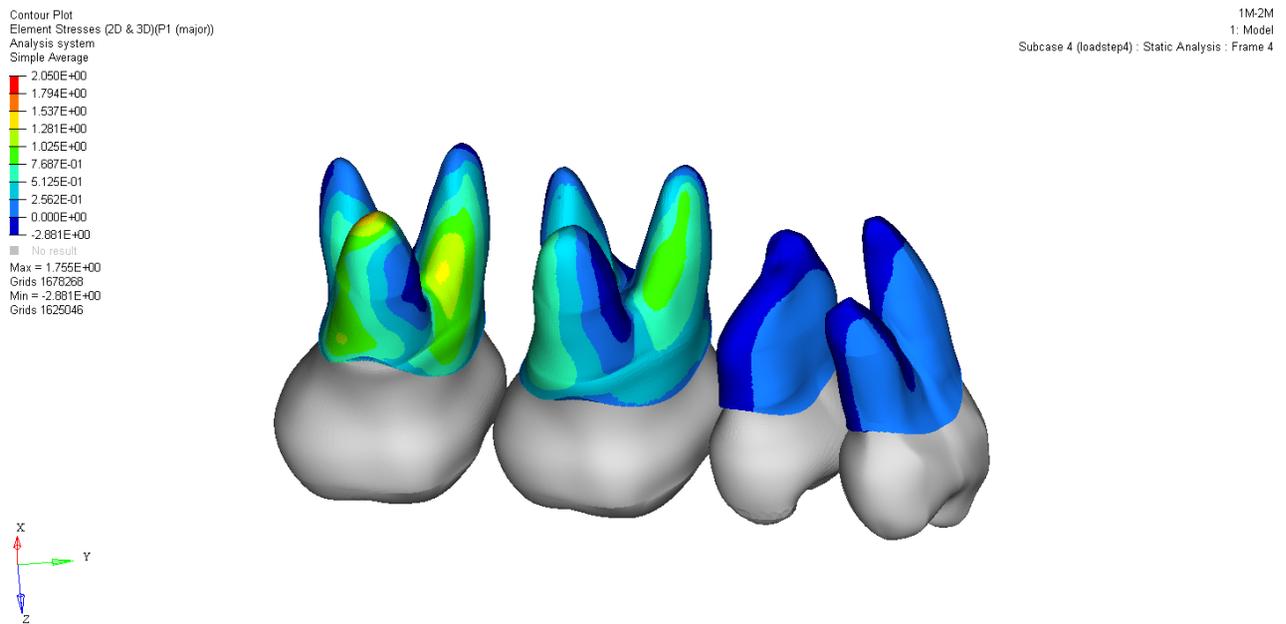


Fig. 20 - Valores de Tensão Principal Máxima do Ligamento periodontal no Grupo 4.

Grupo 5: O 2º. pré-molar apresenta grande área de tração na face palatina e apical. No 1º. molar, observa-se tensões de maior intensidade na região cervical da face palatina e na face palatina da raiz distovestibular. Esse padrão de tensão demonstra tendência a vestibularização da coroa dental (Figura 21).

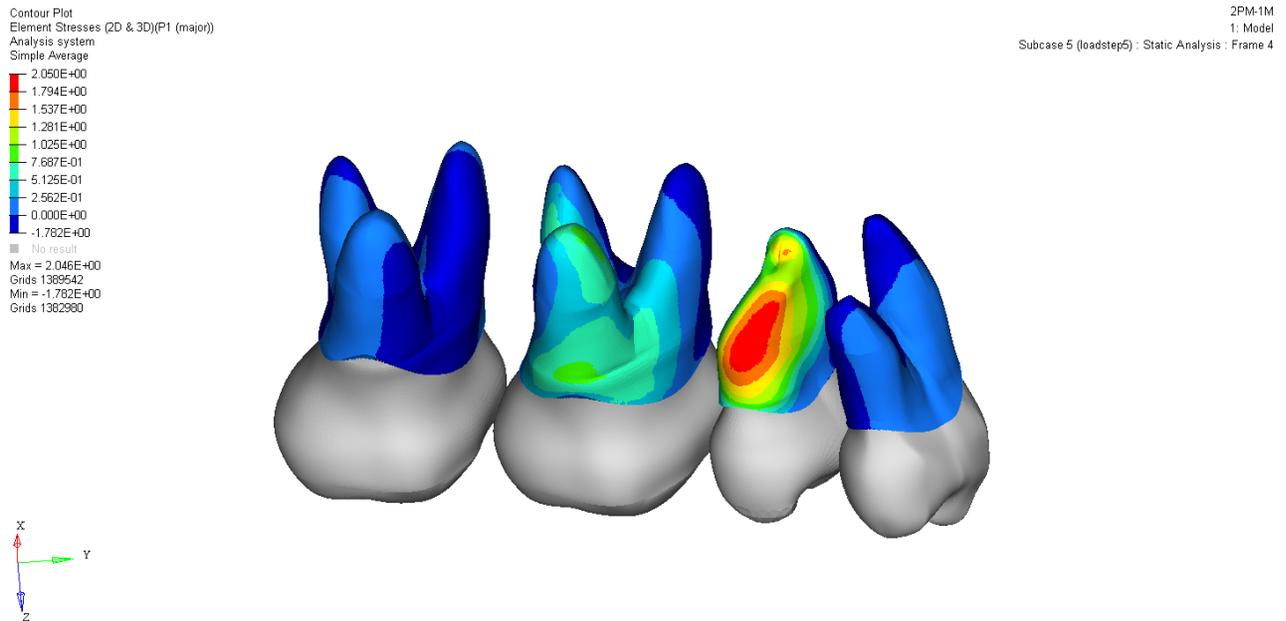


Fig. 21 - Valores de Tensão Principal Máxima do Ligamento periodontal no Grupo 5.

6. DISCUSSÃO

A deformidade transversa da maxila é uma alteração esquelética facial de crescimento e pode ser classificada em dento-alveolar, esquelética ou ambas, podendo apresentar-se com o desenvolvimento vertical alveolar excessivo, apinhamento dental, palato profundo e estreito, palato contraído na região anterior, além de grandes espaços escuros no corredor bucal, presença de dificuldade de respiração nasal, entre outros^{12,24,26}.

A deficiência transversal maxilar, pode ser uma entidade isolada ou parte de um quadro mais abrangente de deformidades, e ocorre frequentemente em pacientes com maloclusões de classes II e III²⁸.

O tratamento comumente empregado para correção dessa deficiência nesses casos é a expansão rápida da maxila (ERM), sendo a expansão rápida da maxila um procedimento ortodôntico-ortopédico que visa adequar a maxila no sentido transversal por meio do uso de dispositivos disjuntores^{12, 21, 29}.

A previsibilidade da expansão maxilar sem cirurgia associada é muito menor em pacientes acima dos 15 anos em virtude do avanço da maturação óssea e da consolidação das interdigitações intermaxilares²⁵. Passado este período de passividade da maxila em expandir-se, a técnica de expansão rápida assistida cirurgicamente é consi-

derada como a melhor opção, sendo um procedimento eficaz e de significativa segurança^{28, 31, 25}.

Os dispositivos mais utilizados para ERMCA são os expansores de Hyrax e de Haas. Além destes, vem sendo também apresentadas na literatura novas adaptações aos disjuntores atuais, tais como os disjuntores dentossuportados e híbridos³².

Desde sua criação por Biederman em 1968, o aparelho de Hyrax ancorado nos primeiros prés-molares e primeiros molares isoladamente sofreu algumas modificações de ancoragem de forma empírica. Almeida e Almeida em 2008, citam a união das bandas dentais por fios de aço posicionados pelas faces palatinas e vestibulares³³.

Fernandes et al. (2019) apresentaram um estudo com variações de posição do parafuso expensor do aparelho de Hyrax ancorado nos 1os prés-molares e 1os molares, e afirmaram que há diferença de distribuição de forças entre os grupos³⁴.

Ao nosso conhecimento, este constitui-se o primeiro estudo na literatura que compara através de Análise por Elementos Finitos a eficiência e transmissão de forças resultantes obtidas quando da mudança dos dentes de ancoragem do aparelho de Hyrax.

A análise de deslocamento transversal da maxila evidencia, em todos os modelos, uma maior abertura na região anterior e menor na região posterior em uma vista oclusal, corroborando com os achados de Mazziero et al. (1996) que observaram ganho na fase ativa de expansão, provocando uma maior abertura da mordida anterior e diminuindo esta abertura no sentido posterior³⁵; frontalmente, apresentou efeito decrescen-

te em direção superior, configurando o formato “V” desta expansão, com o vértice voltado para a espinha nasal posterior; na vista oclusal e na vista frontal, com o vértice voltado para a glabella³⁶. O modelo 4 do presente estudo foi o que apresentou maiores valores no quesito deslocamento transversal da maxila, possivelmente, em virtude das forças serem aplicadas mais para a região posterior, concordando com os estudos de Verstraaten (2010), que afirma que o posicionamento mais posterior do dispositivo faz com que a abertura da maxila seja mais paralela³⁶.

Outro fator comum a todos modelos foi o deslocamento para baixo da porção medial e deslocamento superior da porção lateral da maxila. Isso corresponde ao achados de Boas et al. (1991) e Wertz et al. (1970) que afirmam que com a expansão rápida da maxila, observou-se um deslocamento para baixo da mesma acompanhada de uma rotação para baixo e para trás considerando o plano palatino^{37,38}.

Todos os grupos aqui analisados apresentaram discreto deslocamento anterior da maxila. De acordo com Scanavine et al. (2006) e De Rossi et al. (2010), pode observar-se um deslocamento anterior da maxila após uma disjunção, que retorna aos valores pré-disjunção ao final do nivelamento pós-cirúrgico^{30,39}. Valores negativos (deslocamento para posterior) observa-se nos dentes de apoio em virtude do vetor da aplicação de forças.

Nosso estudo manteve constante a posição ocluso-apical do parafuso expensor do aparelho de Hyrax. Porém, alterações dessa posição podem promover efeitos nos dentes e tecidos vizinhos. Os estudos de Araugio et al (2013) concluíram que quanto

mais próximo ao palato estiver o parafuso expensor, maior a tendência à extrusão e vestibularização dental⁴⁰.

A literatura é unânime em relatar que os aparelhos dentossuportados podem promover vestibularização dentária dos dentes de suporte e reabsorção da parede vestibular^{38, 41, 43}. No nosso estudo, observou-se além disso, uma tendência a extrusão dental, especialmente quando a ancoragem é feita no 2º pré-molar, como observada nos grupos 3 e 5, possivelmente em virtude da menor ancoragem radicular promovida por esses dentes. Menores valores indicativos de possível movimentação dentária foram encontrados no grupo que usou somente os molares como ponto de ancoragem (grupo 4). Esses achados corroboram com os estudos de Pinto et al (2001), que relatam uma vestibularização maior nos pré-molares (8,3º) em relação aos molares(0,9º) quando usados como ancoragem para o aparelho de Hyrax em ERMCA⁴⁴.

Observou-se também maiores valores de tensão na região dos braços conectores de contato do aparelho com os dentes, variando de acordo com cada grupo. De acordo com Tomazi et al (2017), valores próximos à nulos de aplicação de forças nos dentes são encontrados quando usados dispositivos osseossuportados, sendo indicados para pacientes edentados totais ou parciais, ou ainda com algum comprometimento periodontal significativo⁴⁵.

7. CONCLUSÃO

Todos os grupos apresentaram tendência de deslocamento lateral da maxila. Observou-se também um padrão de abertura maxilar em forma de “V”, com vértice concentrado na região posterior em vista oclusal.

Quando aplicados os pré-molares como ancoragem do aparelho expansor, observou-se maior vestibularização dental e forças resultantes concentradas na cortical óssea vestibular.

O modelo de ancoragem exclusiva nos molares apresentou o maior deslocamento ósseo com menor vestibularização dental. Diante disso, sugerimos estudos clínicos para confirmar este indicativo e, se aplicável, a adoção deste novo protocolo de ancoragem do aparelho de Hyrax em ERMCA.

8. BIBLIOGRAFIA

- 1- Günbay MT, et al. Borne Distractor: Clinical Observations and dental and skeletal changes J Oral Maxillofac Surg. 2008; 66: 2503-2514.
- 2- Ramieri GA, Spada MC, Austa M, Bianchi SD, Berrone S. Transverse maxillary distraction with a bone-anchored appliance: dento-periodontal effects and clinical and radiological results. Int. J. Oral Maxillofac Surg. 2005; 34: 357–363.
- 3- Vandersea BA, Ruvo AT, Frost DE. Maxillary Transverse Deficiency Surgical Alternatives to Management - Oral Maxillofac Surg Clin N Am. 2007; 19: 351–368.
- 4- Betts NJ, Vanarsdall RL, Barber HD, et al. Diagnosis and treatment of transverse maxillary deficiency. Int J Adult Orthodon Orthognath Surg. 1995; 10: 75-96.
- 5- Mommaerts MY. Transpalatal distraction as a method of maxillary expansion. British J. Oral and Maxillofac Surg. 1999; 37: 268–272.
- 6- Faltin Junior K, Moscatiello VAM, Barros EC. Disjuntor palatino: alterações dentofaciais decorrentes da disjunção da sutura palatina mediana. Rev Dent Press Ortod Ortop Facial 1999;4(4): 5-13.
- 7- Cappellette Junior M. Carlini D, Pignatari SSN, Cruz OLM, Weckx LLM. Rinometria acústica em crianças submetidas à disjunção maxilar. R Dental Press Ortodon Ortop Facial 2006; 11(2): 84-92.

8- Han UA, Kim Y, Park JU. Three-dimensional finite element analysis of stress distribution and displacement of the maxilla following surgically assisted rapid maxillary expansion . J Cranio-Maxillofac Surg. 2009; 37: 145-154.

9- Haas AJ. Palatal expansion: just the beginning of dentofacial orthopedics. Am J Orthod. 1970; 57: 219–255.

10- Koudstaal MJ, Poort LJ, van der Wal KGH, Wolvius EB, PrahI-Andersen B, Schulten AJM. Surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME): a review of the literature. Int J Oral Maxillofac Surg. 2005; 34: 709–714.

11- Haas AJ. Rapid expansion of the maxillary dental arch and nasal cavity by opening the midpalatal suture. Angle Orthod 1961; 2: 73-90.

12- Deeb W, et al. Changes in nasal volume after surgically assisted bone-borne rapid maxillary expansion. Am J Orthod Dentofac Orthop. 2010; 137: 782-789.

13- Pektas ZO, Kircelli BH, Cilasun U. Modified Osteotomy to Manage Anterior Constriction With Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion J Oral Maxillofac Surg 2008; 66: 1538-1541

14- Pereira MD, Prado GP, Abramoff MMF, Aloise AC, Ferreira LM. Classification of midpalatal suture opening after surgically assisted rapid maxillary expansion using computed tomography. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2010; 110: 41-45.

15- Seeberger R, Karter W, Davids R, Thiele OC. Long term effects of surgically assisted rapid maxillary expansion without performing osteotomy of the pterygoid plates J Cranio-Maxillo-Facial Surg. 2010; 38: 175-178.

16- Bays RA, Greco JG. Surgically assisted rapid palatal expansion: an outpatient technique with long term stability. J Oral Maxillofac Surg 1992; 50: 110–113.

17- Reinbacher E, Wallner J, Pau M, Feichtinger M, Kärcher H, Quehenberger F, Zemann W. Surgically assisted rapid maxillary expansion : feasibility of not releasing the nasal septum. Int. J. Oral Maxillofac Surg. 2013; 42: 321–325.

18- Bell WH, Epker NB. Surgical-orthodontic expansion of the maxilla. Am J Orthod. 1976; 70: 517–528.

19- Behnia H, et al. New technique for midpalatal osteotomy in surgically-assisted rapid palatal expansion. Br J Oral Maxillofac Surg 2017 55(5):556-557.

20- Ludwig B, et al. Application of a new viscoelastic finite element method model and analysis of miniscrew-supported hybrid hyrax treatment. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2013;143:426-35.

21- Lima Filho RMA. Alterações na dimensão transversal pela expansão rápida da maxila. R Dental Press Ortodon Ortop Facial. 2009; 14(5): 146-57.

22- Biederman W. A hygienic appliance for rapid expansion. J Pract Orthod 1968; 2(2): 67-70.

- 23- Weissheimer A. Efeitos imediatos da expansão rápida da maxila no sentido transversal, com os disjuntores tipo Haas e Hyrax, em tomografia computadorizada Cone Beam. [dissertação]. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: 2008.
- 24- Tanaka O, Orellana B, Ribeiro G. Detalhes singulares nos procedimentos operacionais da disjunção palatina. R. Dental Press Ortodon Ortop Facial. 2004; 9(4): 98-107.
- 25- Lee KH, et al. Stress distribution and displacement by different bone-borne palatal expanders with micro-implants: a three-dimensional finite-element analysis. European Journal of Orthodontics. 2014 36, 531–54.
- 26- Park JU, et al. Three-dimensional finite element analysis of stress distribution and displacement of the maxilla following surgically assisted rapid maxillary expansion. J Cranio-Maxillofacial Surg 2009; 37, 145-154.
- 27- GS Singaruju et al. A comparative study of three types of rapid maxillary expansion devices in surgically assisted maxillary expansion . Journal of International Oral Health 2015; 7:40-46.
- 28- Araújo MT, Bolognese AM, Rossi RRP. Expansão maxilar em adultos e adolescentes com maturação esquelética avançada. Dental Press Ortodon Ortop Facial. 2009; 14(5): 43- 52.
- 29- Bailey LJ, White RP, Proffit WR, Turvey TA. Segmental Le Fort I osteotomy for management of transverse maxillary deficiency. J Oral Maxillofac Surg 1997;55(7): 728-31.

- 30- Scanavine MA, Reis SAB, Simões MM, Gonçalves RAR. Avaliação comparativa dos efeitos maxilares da expansão rápida da maxila com os aparelhos de Haas e Hyrax. R. Dent Press Ortodon Ortop Facial. 2006;11(1): 60-71.
- 31- Macedo MC, Angelieri F, Bommarito S, Sannomiya EK. Análise da densidade óptica da sutura palatine mediana seis meses após a expansão rápida da maxila assistida cirurgicamente. R Dental Press Ortodon Ortop Facial. 2009; 14(5): 101-8.
- 32- Scattaregi PL, Siqueira DF. Avaliação cefalométrica da estabilidade pós-expansão rápida da maxila assistida cirurgicamente. R Dental Press Ortodon Ortop Facial. 2009; 14(5): 69-81.
- 33- Almeida RC, Almeida MHC. Aparelho disjuntor fusionado: uma nova visão de disjunção palatina. OrtodontiaSPO 2008; 41(1): 55-9.
- 34- Fernandes et al. Influence os the hyrax expander screw position on stress distribution is the maxilla: A study with finite elements. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2019;155:80-7.
- 35- Mazzeiro ET, Henriques JFC, Freitas MR. Estudo cefalométrico, em norma frontal, das alterações dento-esqueléticas após a expansão rápida da maxila. Ortodontia. 1996; 29(1): 31-42.
- 36- Veerstraten J, Kuijpers AM, Mommaerts MY, et al. A systematic review of the effects of bone-borne surgical assisted rapid maxillary expansion. J Cranio Maxillofac Surg 2010; 38: 166-174.

37- Boas MC; Silva Filho OG; Capelozza Filho L. Rapid maxillary expansion in the primary and mixed dentitions: a cephalometric evaluation. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1991 Aug;100(2):171-9.

38- Wertz RA. Skeletal and dental changes accompanying rapid midpalatal suture opening. Am J Orthod 1970 Jul; 58(1): 41-66.

39 De Rossi M, Silva LAB, Stuani MBS. Avaliação cefalométrica das alterações verticais e anteroposteriores associadas ao uso do expansor maxilar com cobertura oclusal. Dental Press J Orthod 2010; 15(3): 62-70.

40 - Araugio et al. Influence of the expansion screw height on the dental effects of the hyrax expander: A study with finite elements. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2013;143:221-7

41- Jeon PD, Turley PK, Moon HB, Ting K. Analysis of stress in the periodontium of the maxillary 1st molar with a three-dimensional finite element model. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1999;115(3): 267-74.

42- Gautam P, Valiathan A, Adhikari R. Stress and displacement patterns in the craniofacial skeleton with rapid maxillary expansion: A finite element method study. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2007;132(1):5 1-11.

43- Baccetti T, Franchi L, Cameron C G, McNamara J A Jr. 2001 Treatment timing for rapid maxillary expansion. The Angle Orthodontist 71: 343–350.

44- Pinto et al. Immediate postexpansion changes following the use of the transpalatal distractor. J Oral Maxillofac Surg 2001; 59: 994–1000.

45- Tomazi et al. Stress Distribution and Displacement Analysis during a Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion using a Bone-Borne Device a Finite Element Study 2017; 5, 4: 65-66.



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
Pró-Reitoria de Graduação
Av. Ipiranga, 6681 - Prédio 1 - 3º. andar
Porto Alegre - RS - Brasil
Fone: (51) 3320-3500 - Fax: (51) 3339-1564
E-mail: prograd@pucrs.br
Site: www.pucrs.br