

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE BAURU

VICTOR TIEGHI NETO

**Análise da distribuição das tensões em maxila submetida à
expansão cirurgicamente assistida com aparelho ósseo-
suportado**

BAURU

2017

VICTOR TIEGHI NETO

Análise da distribuição das tensões em maxila submetida à
expansão cirurgicamente assistida com aparelho ósseo-
suportado

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia de Bauru da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutorado em Ciências Odontológicas Aplicadas, na área de concentração Estomatologia.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Sanches Gonçalves

Versão Corrigida

BAURU

2017

T442a

Tieghi Neto, Victor

Análise da distribuição das tensões em maxila submetida à expansão cirurgicamente assistida com aparelho ósseo-suportado / Victor Tieghi Neto – Bauru, 2017.

86 p. : il. ; 31cm.

Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia de Bauru. Universidade de São Paulo

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Sanches Gonçalves

Nota: A versão original desta tese encontra-se disponível no serviço de Biblioteca e Documentação da Faculdade de Odontologia de Bauru – FOB/USP.

Autorizo exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação/tese, por processos fotocopiadores e outros meios eletrônicos.

Assinatura:

Data:

FOLHA DE APROVAÇÃO

DEDICATÓRIA

Ao meu Orientador, Prof. Eduardo Sanches Gonçalves...

*... Palavras não descrevem a gratidão por sempre ter sido um verdadeiro mentor em
minha vida...*

*... Exemplo de amizade, caráter, honestidade, sabedoria e acima de tudo,
profissionalismo ...*

*...Quando na vida temos como referência pessoas assim, por mais que não as
alcancemos, já nos tornamos pessoas muito mais evoluídas...*

*...Muito obrigado pelo esforço e dedicação que fizeram com que eu me tornasse
uma pessoa e um profissional mais completo e mais confiante...*

*“Cerque-se de pessoas que refletem a pessoa que você quer ser”
(Autor desconhecido)*

AGRADECIMENTOS

Á Deus, pela saúde, força, proteção e por me permitir estar sempre ao lado de pessoas especiais e por me tornar cada dia mais forte.

*Ao amor da minha vida, **Melissa Sasaki**, pessoa que sem dúvida é a responsável por potencializar as minhas virtudes e amenizar os meus defeitos. Seu amor me fortalece e me faz acreditar a cada dia que a vida é, e sempre será perfeita, desde que estejamos juntos. Meu eterno amor e minha eterna gratidão.*
Anjo da minha vida.

*Aos meus pais, **Maria Rita e Marco Antônio**. Seus esforços para minha formação acadêmica forma fundamentais para que hoje fosse possível eu poder estar aqui comemorando mais essa vitória. Obrigado por todo amor, carinho e incentivo dedicados ao longo de toda minha vida, e assim será para sempre.*

*Á minha irmã, **Mari**, sinônimo de força, alegria e amizade. Obrigado por toda torcida e apoio. Por mais distante que esteja jamais deixarei de estar perto de ti.*

*Á toda **família Sasaki**, por fazerem parte da minha vida e se tornarem minha família. Seu apoio e confiança também foram responsáveis por mais essa vitória. Minha eterna gratidão e meu eterno amor por todos vocês.*

*Ao **Diogo Rubin**, pela conclusão do trabalho que antecede este e pela amizade formada durante todos esses anos.*

*A todos os **amigos** que de muitas formas puderam contribuir para realização de mais essa etapa.*

*Aos meus grandes amigos que, ao longo desses anos, passaram pelo **Mestrado** e/ou **Doutorado** do departamento de Cirurgia, Estomatologia, Radiologia e Patologia da FOB-USP. Obrigado por tornarem cada dia mais produtivo e muito divertido, tornando essa passagem mais que especial.*

*Aos mais que amigos **Alexandre, Roberto, Fernanda, Andréa (e Dude), Marcos, Luciana e Cris**. Obrigado por todo apoio, força e amizade. Sem dúvida vocês tornaram meu caminho mais leve e mais forte. Obrigado pelo carinho e torcida, de sempre.*

*Aos professores do departamento de cirurgia **Osny Ferreira Júnior, Eduardo Sant'Ana e Renato Yaedú** pelo apoio, amizade e confiança dispensados durante todos esses anos.*

*Em especial ao Prof. **Paulo Sérgio da Silva Santos**, pelos tão preciosos ensinamentos, conselhos, exemplos e amizade. Obrigado por todo acolhimento, confiança e por sempre tentar me mostrar o potencial que via em mim. Minha total admiração pelo profissional e sobretudo pelo grande amigo ao longo desses anos.*

*Aos professores do departamento **Ana Lucia Álvares Capelozza, Izabel Regina Fischer Rubira-Bullen, Cassia Maria Fischer Rubira, Luiz Eduardo Chinellato e José Humberto Damante** por dividirem durante esses anos seus conhecimentos, experiências, amizade e confiança. É uma grande honra poder sempre sempre ser aluno de cada um de vocês. Muito obrigado.*

*A toda equipe do Centro de Tecnologia da Informática (CTI) em nome do professor **Pedro Yoshito Noritomi**, por todo auxílio, acolhimento e atenção dados, necessários para a elaboração desse trabalho.*

*Aos Professores **Fabio Sanches Magalhães Tunes e Luiz Alberto Valente Soares Junior** pela confiança, oportunidade de crescimento profissional e pela amizade formada. Meu crescimento não estaria completo sem a presença de vocês.*

*Á **Faculdade de Odontologia de Bauru** que proporcionou a oportunidade de um aprimoramento acadêmico e profissional de excelência.*

*Á **CAPES** pelo apoio financeiro para a realização dessa etapa acadêmica.*

“O sacrifício é o intervalo entre o seu objetivo e a sua glória.”
(Autor desconhecido)

RESUMO

A expansão de maxila cirurgicamente assistida (EMCA) é a modalidade de tratamento que tem como objetivo romper as regiões de reforço maxilar permitindo seu movimento expansivo gradativamente. Tal movimento pode ser realizado às custas de aparelhos dento-suportado, dento-muco-suportado, implanto-suportados ou ósseo-suportado. Os efeitos produzidos pelo tratamento vão desde alterações esqueléticas (aumento da base, cavidade e do espaço aéreo nasais) até inclinações dentárias (principalmente nos dentes de suporte do aparelho expensor), dentre outras. O objetivo desta pesquisa foi avaliar, por meio do Método de Elementos Finitos (MEF), a distribuição das tensões produzidas pela EMCA nas estruturas maxilares utilizando-se aparelho expensor ósseo-suportado. Material e métodos: Foi confeccionado um modelo tridimensional de maxila para simulação da EMCA com osteotomia tipo LeFort I descendente sem degrau, com disjunção pterigomaxilar utilizando um modelo de aparelho ósseo-suportado para o teste com a simulação de abertura de 1mm. Os resultados mostraram maior abertura da maxila na região anterior de incisivos a pré-molar (1 mm) e em menor quantidade (0,6mm) na região de molares. A tensão máxima principal (TMXP) mostrou a concentração de tensões principalmente em toda face palatina da maxila de pré-molar ao túber maxilar. Pela face lateral, ficou mais evidente a TMXP nas região de osso alveolar posterior ao pré-molar, molares e túber, assim como na região de pilar zigomático acima da osteotomia. Pelo plano transversal foi possível observar a transmissão de tensões ao longo das estruturas ósseas mostrando pouca dissipação para as raízes do molar. Enquanto que as forças de compressão (Tensão Mínima Principal), evidenciadas pela tensão mínima principal, se manifestaram nas áreas de pilar zigomático e adjacentes as osteotomias, assim como na áreas de contato do apoio do aparelho com o osso palatino. Tensões de tração e compressão também foram evidenciadas na região de processo pterigoide. A análise de tensão de Von Mises mostrou que a parte que mais sofre estresse é a haste que liga o módulo do aparelho com a plataforma de apoio. Conclusão: Houve maior abertura da maxila na região anterior e as tensões resultantes de forças transmitidas ao osso alveolar dos dentes adjacentes ao aparelho, parecem não ser suficientes para deslocar os dentes.

Palavras-chave: Técnica de Expansão Palatina, Análise de Elemento Finito, Análise do Estresse Dentário

ABSTRACT

Analysis of the distribution of maxillary stresses submitted to surgically assisted maxillary expansion with a bone-supported device

Surgically assisted maxillary expansion (SARME) is the modality of treatment that aims to weaken the points of maxillary reinforcement allowing its gradual expansion. Such movement can be performed at the expense of dento-supported, dento-muco-supported, implanto-supported or bony-backed devices. The effects produced by the treatment range from skeletal changes (increase of nasal base, cavity and nasal air space) to dental inclinations (mainly in the supporting teeth of the expander apparatus), among others. The objective of the present research was to evaluate the distribution of stress produced by SARME in the maxillary structures using the bone-supported expander apparatus by the Finite Element Method (FEM). *Material and methods:* A three-dimensional hemi-maxilla model was simulated for SARME with a non-step descending LeFort I osteotomy with pterygomaxillary disjunction using a bone-supported device model for the 1mm aperture simulation test. The results showed a greater opening of the maxilla in the anterior region of the incisors to the premolar (1 mm) and smaller (0.6 mm) in the molar region. The principal maximal stress (TMXP) showed the concentration of the tension forces mainly in all the palatine face of the pre-molar maxilla to the maxillary tuft. Due to the lateral aspect, the TMXP was more evident in the posterior alveolar bone region, the molars and tuber, as well as in the epilating zygomatic region above the osteotomy. From the transversal plane, it was possible to observe the transmission of stress along the bony structures showing little dissipation for the roots of the molar. Meanwhile, the forces of compression (Principal Minimum Tension) evidenced by the principal minimal stress, were manifested in the areas of the zygomatic pillar adjacent to the osteotomies, as well as in the areas of contact of the support of the apparatus with the palatine bone. Tension and compression forces were also evidenced in the pterygoid process region. Von Mises' stress analysis showed that the most stressed part is the rod connecting the device module to the support platform. Conclusion: There was a greater opening of the maxilla in the anterior region and the resulting forces of tension transmitted to the alveolar bone of the teeth adjacent to the appliance did not seem to be sufficient to displace the teeth.

Keywords: Palatal Expansion Technique, Finite Element Analysis, Dental Stress Analysis

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- FIGURAS

- Figura 1** - Local de ancoragem do aparelho ósseo-suportado..... 43
- Figura 2** - Condição de contorno dos modelos. Áreas em vermelho estão fixadas no eixo “Z” normal a superfície (paredes que contornam o seio maxilar/ parede lateral da cavidade nasal/ face medial do osso palatino). Pterigoide em contato colado a maxila. Software: Rhinoceros 4.0 – Macneel North America. (Assis, 2011)..... 44
- Figura 3** - Vista oclusal da análise de deslocamento no eixo X (mm). Deslocamento proposto de 1mm.49
- Figura 4** - Vista frontal da análise de deslocamento no eixo X (mm). Deslocamento proposto de 1mm.50
- Figura 5** - Vista lateral da Tensão Máxima Principal observada na região de osso alveolar. Escala de -20 a 20 MPa.....51
- Figura 6** - Vista palatina da Tensão Máxima Principal observada na região de processo palatino posterior ao 1ºPM. Escala de -20 a 20 MPa.52
- Figura 7** - Vista transversal da Tensão Máxima Principal mostrando a dissipação das tensões através do rebordo alveolar na região posterior. Escala de -20 a 20 MPa.....52
- Figura 8** - Vista lateral da Tensão Mínima Principal observada na região superior ao osso alveolar adjacente ao processo zigomático. Escala de -150 a 131 MPa.....53
- Figura 9** - Vista palatina da Tensão Mínima Principal observada na região de apoio do aparelho distrator e ao longo das estruturas ósseas adjacentes a osteotomia. Escala de -150 a 131 MPa.54
- Figura 10** - Tensão de Von Mises observada na haste do aparelho expansor. Escala de 0 a 2000 MPa.54
- Figura 11** - Tensão de Von Mises observada na superfície do componente de apoio em contato com a maxila. Escala de 0 a 2000 MPa.....55
-
-

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades mecânicas isotrópicas dos materiais simulados.....	41
Tabela 2 - Composição da malha do modelo de estudo	42

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CTI	Centro de Tecnologia da informação Renato Archer
EF	Elementos Finitos
EMCA	Expansão de Maxila Cirurgicamente Assistida
ENA	Espinha Nasal Anterior
ENP	Espinha nasal posterior
ERM	Expansão Rápida de Maxila
GPa	Giga Pascal
MEF	Método de Elementos Finitos
mm	milímetros
MPa	Mega Pascal
SMP	Sutura Palatina Mediana
TCFC	Tomografia Computadorizada de Feixe Conico
TMXP	Tensão Máxima Principal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
3	PROPOSIÇÃO	37
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	41
4.1	Modelo	41
4.2	Características da amostra	41
4.3	Características do aparelho expensor	42
4.4	Simulação da Expansão	44
4.5	Análises dos Elementos Finitos	45
5	RESULTADOS	49
5.1	Padrão de Deslocamento	49
5.2	Padrão de distribuição de tensão	50
5.2.1	Tensão Máxima Principal – T _{MXP}	50
5.2.2	Tensão Mínima Principal	53
5.2.3	Tensão de Von Mises	54
6	DISCUSSÃO	59
7	CONCLUSÕES	75
	REFERÊNCIAS	79

1 Introdução

1 INTRODUÇÃO

A deficiência transversal de maxila é uma deformidade caracterizada por apinhamentos e rotações dentárias, atresia maxilar, mordidas cruzadas posteriores uni ou bilaterais. Pode ser de origem congênita, quando causada por erupções dentárias anormais e macroglossia, ou adquirida, por meio de hábitos parafuncionais. Exames radiográficos e modelos de estudo podem ser utilizados para auxiliar o diagnóstico, porém o exame clínico parece ser a forma mais adequada para se observar os sinais mais característicos desta deficiência. Seu tratamento pode ser ortodôntico, ortopédico, cirúrgico ou a combinação entre estas modalidades, levando-se em consideração o caso propriamente dito, a idade do indivíduo, grau de maturidade esquelética e associação com outras deficiências.

A Expansão de Maxila Cirurgicamente Assistida (EMCA) é a modalidade em que, após a cirurgia rompe os principais pontos de reforço maxilar, o movimento expansivo é realizado gradativamente por aparelhos dento-suportados, dento-muco-suportados, implanto-suportados ou ósseo-suportados, com efeitos sobre o esqueleto craniofacial, que vão além do simples descruzamento das arcadas. Estes efeitos se refletem na cavidade nasal, na profundidade de sulco gengival dos dentes incisivos centrais, em inclinações dentárias dos dentes de suporte do aparelho expensor e em modificações estéticas em lábio e bases alares.

Mudanças na extensão das osteotomias, que evitam a secção do pilar mais posterior da maxila (pterigoide), no tipo de aparelho expensor utilizado, no ritmo de ativação e na modalidade de tratamento escolhida, têm grande impacto sobre o sucesso e na morbidade. Algumas complicações desse tratamento estão diretamente associadas aos fatores citados anteriormente e podem ser descritas como reabsorções radiculares, inclinações dos dentes de suporte dos aparelhos expansores, extrusões dentárias, expansão inadequada, fraturas ósseas indesejáveis, recessões gengivais e até mesmo a falha na expansão.

Procura-se entender o comportamento das estruturas ósseas e dentárias frente aos aparelhos dento-muco-suportado e dento-suportado, porém ensaios

clínicos padronizados referentes ao uso de distratores palatinos são pouco encontrados.

O Método de Elementos Finitos (MEF) foi criado para aplicações na engenharia aeroespacial, e ao longo dos anos foi adaptado para uso em biomodelos, possibilitando estudos de partes do corpo humano sob diversas hipóteses. O método fragmenta o modelo de estudo em pequenas partes poligonais finitas (elementos finitos), que se unem por meio de nós formando uma malha. Equações matemáticas aplicadas a estes elementos interligados simulando as hipóteses levantadas fazem com que a resposta possa ser interpretada pelo todo (modelo de estudo).

Mesmo a EMCA tendo uma linha de pesquisa bem estabelecida, referente a utilização de elementos finitos, pouco se encontra relacionando os efeitos causados pelos aparelhos com suporte dentário quando comparado aos aparelhos de suporte ósseo.

O objetivo desse estudo foi avaliar, por meio do método de elementos finitos, o padrão de distribuição de tensões da EMCA, sobre as estruturas maxilares utilizando um aparelho ósseo-suportado.

A hipótese desse estudo propõe uma diminuição da dissipação de tensões nos dentes próximos aos apoios do distrator palatino quando comparados aos aparelhos dento-muco-suportado e muco-suportado, assim como uma dissipação mais uniforme nas estruturas craniofaciais. Levando em conta a disjunção pterigomaxilar, o que clinicamente pode resultar em diminuição dos riscos e efeitos indesejados envolvidos no procedimento, especialmente relacionados aos dentes.

2 Revisão de Literatura

2 REVISÃO DE LITERATURA

EXPANSÃO DE MAXILA CIRURGICAMENTE ASSISTIDA (EMCA)

Betts et al (1995) consideraram que existem três alternativas para o tratamento da deficiência transversal de maxila, a saber: expansão ortopédica da maxila, Expansão de Maxila Cirurgicamente Assistida (EMCA) e a osteotomia Le Fort I segmentar, onde as indicações para se realizar a EMCA são para indivíduos com deficiência transversal de maxila maiores que 5mm de discrepância maxilomandibular, decorrente de maxila atrésica associada a uma mandíbula larga, necessidade de grande expansão (> 7mm), falha na expansão ortodôntica/ortopédica e em indivíduo que já tenha atingido a maturidade esquelética (15 anos ou mais).

Variações na técnica cirúrgica, como a disjunção processos pterigomaxilar, visam a diminuição das tensões nas estruturas faciais envolvidas, buscando evitar ou diminuir a incidência de possíveis complicações associadas ao tratamento (BELL & EPKER, 1976; SCHWARZ et al. 1985; BAYS & GRECO, 1992; BASDRA, ZOLLER & KOMPOSH, 1995; BABACAN, et al. 2006; GERLACH & ZAHL, 2005;).

As variações das técnicas cirúrgicas e a busca pela melhor configuração dos aparelhos de expansão são realizados ao longo dos anos visando a diminuição dos efeitos indesejados provocados pela EMCA. Esses efeitos são referentes principalmente pelas movimentações dentárias, padrão de abertura da maxila, modificação das estruturas anatômicas adjacentes como perfil labial, bases alares e cavidade nasal. (BISHARA & STALEY, 1987; BAYS & GRECO, 1992; BABACAN, et al. 2006; GONÇALES et al. 2007; ASSIS et al. 2010; GONÇALES et al. 2013)

Segundo Bell & Epker (1976) e Bell & Jacobs (1982) existem alguns problemas associados a expansão de maxila puramente ortopédica. Esses problemas podem decorrer da não abertura da sutura palatina mediana com consequente movimentações dentárias e inclinação do osso alveolar. Visando a diminuição dessas ocorrências os autores preconizaram osteotomias horizontais bilaterais da parede anterior da maxila, estendendo-se da abertura piriforme até a

sutura pterigomaxilar, associada à osteotomias bilaterais para disjunção da sutura pterigomaxilar, osteotomia da sutura intermaxilar e osteotomias nas porções iniciais das paredes laterais nasais e do septo nasal como alternativa para realização da EMCA.

Lehman, Hass & Hass (1984) concluíram que a EMCA com osteotomias no pilar zigomático associada ao uso de aparelhos expansores podem ser consideradas a técnica de escolha para o tratamento de deficiência de maxila, pois se mostrou eficaz e sem sinais de recidiva após 6 meses de acompanhamento.

Glassman et al (1984) preconizaram a técnica de osteotomia Le Fort I subtotal, com osteotomias na parede anterior da maxila bilateralmente, estendendo-se desde a abertura piriforme até a sutura pterigomaxilar com disjunção das mesmas e osteotomias nas paredes laterais nasais, septo nasal e da sutura intermaxilar. A osteotomia da parede anterior da maxila foi paralela ao plano oclusal maxilar e com a formação degrau na região do pilar zigomático maxilar.

Bell & Epker (1976), Bell & Jacobs (1979) e Betts et al. (1995) descreveram técnicas semelhantes com a execução de um número maior de osteotomias, bem como uma amplitude maior das mesmas. Tais técnicas são consideradas mais invasivas, pois fazem uso de osteotomias bilaterais da parede anterior da maxila, estendendo-se da abertura piriforme até a sutura pterigomaxilar, associada a osteotomias bilaterais para disjunção da sutura pterigomaxilar, osteotomia da sutura intermaxilar (em suas porções palatina e alveolar) e também nas porções iniciais das paredes laterais nasais e do septo nasal.

Oliveira et al em 2016 avaliaram os efeitos de dois tipos de osteotomia maxilares utilizadas nas expansões de maxila cirurgicamente assistida. Para tal, foram avaliados TCFC, em três tempos diferentes, de 30 indivíduos submetidos a EMCA. Foram utilizadas osteotomias do tipo LeFort I Subtotal reta (grupo 1) e com degrau no pilar zigomático (grupo 2), ambas associadas com a disjunção do processo pterigoide. Os resultados mostraram não haver diferença significativa entre os efeitos dos diferentes desenho das osteotomias mostrando eficácia nos dois grupos. Entretanto pôde ser observado aumento significativo de todas as medidas dentárias e esquelética realizadas imediatamente após a EMCA.

Gonçales et al (2007) puderam mostrar os efeitos da EMCA sobre as estruturas anatômicas vizinhas, como septo e cavidade nasal. Para isso avaliaram radiografias oclusais totais de maxila, periapicais dos incisivos centrais e cefalométricas póstero-anteriores digitais, pré-operatórias e após-60 dias, de 16 indivíduos submetidos a EMCA pela técnica modificada (sem a separação do septo nasal) de Betts et al. O estudo mostrou que a EMCA é capaz de alargar a porção basal da abertura piriforme, sem no entanto, influenciar o posicionamento do septo nasal.

Aras et al. (2010) comprovaram um ganho significativo de área e volume da cavidade nasal dos indivíduos submetidos a EMCA, com estabilidade a longo prazo. E pesquisa foi realizada em 11 indivíduos adultos que foram submetidos a rinometria acústica e TCFC antes e após o tratamento.

Utilizando o mesmo método para mensurar o volume da cavidade nasal, Zambom et al. (2012) avaliaram vinte e sete indivíduos através da rinometria acústica associada a uma avaliação subjetiva da qualidade respiratória, antes e após o procedimento de EMCA. Concluíram um aumento significativo na cavidade oral e nasal, combinado a isso, uma consequente melhora na qualidade respiratória.

Buck et al. (2016) realizaram uma revisão sistemática para avaliarem os efeitos no volume aéreo superior de indivíduos submetidos a EMCA. Os artigos foram analisados quanto à adequação para realização de uma metanálise. Após a avaliação da literatura foram selecionados 11 artigos com relevância científica reunindo 204 indivíduos. Eles puderam concluir que a EMCA produz um aumento de volume substancial na cavidade nasal com uma estabilidade de 63 meses. Existem fracas evidências que sugerem que a orofaringe não é afetada pelo procedimento e as alterações nas funções respiratórias ainda precisam ser determinadas, o que impede a indicação da EMCA para esse fim.

Sant'Ana et al. (2016), compararam a eficácia clínica da EMCA realizada com e sem clivagem da Sutura Palatina Mediana (SPM). A amostra avaliada foi constituída de 24 indivíduos adultos, divididos em dois grupos. Os indivíduos do grupo 1 (n = 14) foram submetidos a EMCA com divisão da SPM, e os do grupo 2 (n = 10) também submetidos a EMCA, porém sem separação da SPM. A presença de um diastema entre os incisivos superiores foi avaliada, bem como evidência

radiográfica de separação dos ossos maxilares na SPM. Também foi observada a sintomatologia por meio do escore subjetivo de dor. Os resultados demonstraram maior eficácia do tratamento para o grupo 1, obtendo êxito a expansão maxilar, enquanto que sem a divisão, o procedimento falhou em 70% dos casos. O desconforto da cirurgia avaliado imediatamente após o pós-operatório e aos 14 dias pós-operatório foi semelhante nos dois grupos, sendo que ambas as técnicas cirúrgicas foram toleradas. Os dois grupos apresentaram diferença estatisticamente significativa quanto ao desconforto durante a ativação e dor do aparelho na fase pós-operatória, sendo que o grupo 2 apresentou maior desconforto. Embora os indivíduos do grupo 1 tivessem uma maior quantidade de ativação dos parafusos por dia, a sintomatologia durante a ativação dos parafusos foi maior nos doentes do grupo 2. Isso provavelmente ocorreu por causa das menores quantidades de carga nas estruturas anatômicas após a separação da sutura palatina média. Os autores concluíram que a expansão maxilar é facilitada por uma maior quantidade de osteotomias, sendo que a separação da SPM é um procedimento eficaz para assegurar a expansão maxilar.

Salgueiro et al 2015 avaliaram, por meio de TCFC, o padrão de abertura e neoformação na região da sutura palatina mediana de 14 indivíduos após a realização de expansão de maxila cirurgicamente assistida utilizando osteotomia tipo LeFort I subtotal com degrau no pilar zigomático e disjunção pterigomaxilar. A abertura da sutura foi classificada em tipo I, onde o padrão é de abertura total, desde a espinha nasal anterior até a espinha nasal posterior e tipo II relaciona a abertura parcial desde a espinha nasal anterior a sutura palatina transversal. Os autores concluíram que o padrão de abertura da sutura palatina mediana através da EMCA está mais relacionada a idade, uma vez que foi observado o padrão de abertura completa do tipo I em indivíduos mais jovens.

Zandi et al (2016) compararam 15 indivíduos submetidos a EMCA com disjunção pterigomaxilar com 15 indivíduos sem a disjunção pterigomaxilar. Os resultados mostraram que em ambos os grupos houve aumento significativo da expansão no arco dentário seguido pelo aumento em palato duro e soalho de fossa nasal, caracterizando uma expansão em forma de “V” no sentido do plano coronal. A análise também indicou um padrão de abertura pósterio-anterior paralela.

Concluíram que por não haver diferenças significantes entre os grupos, a disjunção pterigomaxilar não é recomendada devido aumento de seus riscos operatórios.

Porém, Sangsari, et al (2016) realizaram uma revisão sistemática e metanálise para avaliar os procedimentos de expansão de maxila cirurgicamente assistida com e sem disjunção pterigomaxilar. Para esse estudo 125 artigos originais foram analisados sendo que destes apenas 3 foram considerados na análise de relevância científica. A união desses artigos incluíram um total de 25 indivíduos sem a disjunção pterigomaxilar e 23 associados a disjunção pterigomaxilar. Todos utilizando aparelho dento-suportado. A conclusão foi de que a literatura é inconclusiva para avaliar os efeitos da EMCA relacionada a disjunção pterigomaxilar.

Laudemann et al. (2009) realizaram um estudo tomográfico entre 20 indivíduos com idade superior a 20 anos, submetidos a EMCA, com e sem disjunção pterigomaxilar. Concluíram que para uma movimentação mais uniforme da maxila a melhor opção é a realização da disjunção pterigomaxilar durante a EMCA.

Seeberger et al. (2010), buscaram avaliar a estabilidade a longo prazo da EMCA sem realização de osteotomia das placas pterigoides. Foram avaliados modelos de gesso de 13 indivíduos adultos, todos diagnosticados com deficiência transversal maxilar de pelo menos 5mm e foram examinados 1 mês antes e, em média, 63 meses após a distração palatina. Observou-se movimento em forma de “V” dos segmentos, havendo maior expansão na região anterior da maxila. Concluiu-se que a EMCA, mesmo sem a osteotomia da sutura pterigomaxilar, fornece uma correção de mordida ortodôntica estável a longo prazo e melhora permanente das vias aéreas nasais. Além disso, concluiu-se também que o deslocamento transversal satisfatório dos segmentos pode ser alcançado em toda a extensão do palato ósseo, mesmo quando não é realizada a osteotomia da sutura pterigomaxilar.

Tais técnicas devem, preferencialmente, ser realizadas em ambiente hospitalar e com anestesia geral, pois estão sujeitas a uma maior incidência riscos e complicações quando comparadas as técnicas mais conservadoras, como parestesia do nervo lingual decorrente de EMCA realizada por meio de técnica que realizava osteotomia da sutura pterigomaxilar descrito por Chuah & Mehra (2005).

Ferreira et al. em 2010 ressaltaram a importância da avaliação da espessura das tábuas ósseas que recobrem os dentes antes da movimentação dentária, assim criaram uma padronização de um método para mensuração de tais estruturas ósseas com a utilização de TCFC.

Os efeitos indesejáveis da EMCA estão ligados, além das técnicas cirúrgicas empregadas, ao tipo de aparelho expensor utilizado. Essas alterações são representadas pelas alterações dentárias após o procedimento de expansão, visto que o aparelho expensor dento-suportado provoca compressão do ligamento periodontal, levando o elemento dentário de suporte a movimentar-se em direção ao movimento expansivo, além de reabsorção radicular e alveolar do mesmo. (CHAMBERLAND, PROFFIT, 2008; OLIVEIRA 2000)

Verstraaten et al. (2010) por meio de uma revisão sistemática observaram que as alterações transversais da maxila podem variar de acordo com a técnica cirúrgica e o local de ancoragem do aparelho distrator ósseo palatino. Essa revisão mostrou uma tendência de a maxila sofrer maior expansão na parte anterior, ocorrendo uma abertura em “v”, quando ancorado o aparelho na região de segundos pré-molares e sem a disjunção cirúrgica do processo pterigoide.

Kilic et al (2013) também realizaram um estudo retrospectivo procurando avaliar os efeitos da expansão de maxila cirurgicamente assistida, com e sem disjunção pterigomaxilar e seus efeitos dentais e sobre estruturas esqueléticas. O estudo contou com a análise de modelos de 18 indivíduos com deficiência de maxila submetidos a EMCA com aparelho dento-suportado. A conclusão foi de que ambas as técnicas estudadas resultaram em uma expansão maxilar significativa.

Starnbach et al. (1966) descreveram a ocorrência de movimentações dentárias, após EMCA, provocadas pela compressão do aparelho expensor dento-suportado ao ligamento periodontal, causando alterações no dente suporte na mesma direção do movimento de expansão.

Através de uma revisão de literatura foram avaliadas as implicações da EMCA nas estruturas faciais, periodonto e dentição, mostrando que ao ativar o aparelho expensor dento-suportado, este promove uma compressão no ligamento periodontal,

forçando o processo alveolar causando inclinações dentárias e gradualmente abre a sutura palatina mediana. (BISHARA & STALEY, 1987)

Gauthier et al. (2011) fizeram um estudo clínico prospectivo onde puderam comprovar os efeitos periodontais da EMCA por meio de TCFC em 14 indivíduos utilizando aparelho Hyrax. Os resultados mostraram uma diminuição significativa da espessura de tábua óssea vestibular na maioria dos dentes combinado com o aumento de espessura óssea na porção palatina dos mesmos dentes. As avaliações foram realizadas nos períodos pré-operatório e aos 6 meses após a expansão. Concluíram que mesmo não apresentando efeitos periodontais clínicos significativos esses efeitos são observados de forma mais relevante quando avaliados radiograficamente.

Chung & Goldman (2004) após realizarem uma avaliação em modelos de estudos de 14 indivíduos submetidos a EMCA pela técnica preconizada por Betts et al (1995) puderam concluir que tal tratamento utilizando aparelho dento-muco-suportado induziu a uma leve rotação mesiobucal e significativa inclinação vestibular dos dentes superiores. Os resultados mostram a necessidade de sobrecorreção na expansão para minimizar os efeitos de uma provável recidiva dentária imediatamente após a EMCA.

Garib-Carreira et al (2006) através de tomografias computadorizadas helicoidais puderam avaliar os efeitos periodontais, da expansão rápida de maxila, causados pelos aparelhos expansores dento-muco-suportados e dento-suportados. Para isso foram avaliados 8 indivíduos entre 11 e 14 anos de idade do gênero feminino divididos em dois grupos iguais, cada qual com seus respectivos aparelhos expansores. Os resultados mostraram aumento da espessura óssea lingual dos dentes posteriores foi maior no grupo com aparelho dento-suportados. Conclui-se também que esse mesmo aparelho produziu maior redução da crista óssea alveolar na vestibular dos pré-molares.

Loddi et al. (2008) não encontraram diferenças significantes entre os aparelhos dento-suportado e dento-muco-suportado avaliando 40 indivíduos adultos, divididos entre aparelho dento-suportado e dento-muco-suportado, submetidos a EMCA pela técnica da osteotomia Le Fort I subtotal, incluindo disjunção

ptergomaxilar e da sutura intermaxilar. Em média ambos os grupos mostraram separação paralela da sutura intermaxilar

Segundo Haas (1961), a dissipação das forças geradas quando usado um aparelho dento-muco-suportado, é feita de uma forma mais uniforme, sendo distribuída pelo osso alveolar, fibras do ligamento periodontal e o palato, sendo assim um aparelho de ancoragem máxima, o que gera menos danos aos dentes de suporte, do que quando comparado ao aparelho dento-suportado tipo “Hyrax” no processo de expansão maxilar.

Hino et al. (2008) compararam os efeitos dentais e esqueléticos transversais após EMCA (osteotomia Le Fort I subtotal), utilizando aparelhos expansores dento-muco-suportado e dento-suportado. Ambos os grupos mostraram inclinação do molar após encerrar a ativação dos aparelhos. Não houve diferença entre os aparelhos.

Chamberland and Proffit (2008) mostraram, em um estudo prospectivo com 20 indivíduos submetidos a EMCA com disjunção pterigomaxilar e aparelho dento-suportado, que imediatamente após a expansão máxima, pouco mais da metade (53%) do montante da expansão é considerada de origem dentária e o restante (47%) é atribuído a expansão esquelética.

Gerlach & Zalh (2005) desenvolveram um modelo de aparelho distrator ósseo-suportado palatino com a finalidade de eliminar as complicações do tratamento e as recidivas dentárias. Por meio de um relato de caso clínico constataram que o aparelho permitiu a movimentação das maxilas sem os efeitos colaterais indesejados causados pelos aparelhos dento-suportados.

Em 2005, Ramieri et al, instalaram, em 29 indivíduos adultos portadores de deficiência transversal de maxila, um distrator palatino ósseo-suportado após serem submetidos a osteotomias da parede ântero-lateral dos seios maxilares, sutura palatina mediana e eventualmente separação da sutura pterigomaxilar. Seus resultados mostraram sucesso da expansão, mas com algumas complicações nos tecidos periodontais, úlceras palatinas e vestibulares, recessões gengivais e mobilidades dentais assim como os relacionados a perdas de parafusos ou módulo do aparelho

Foi utilizado, em 8 indivíduos adultos portadores de doença periodontal e número de dentes insuficientes para a ancoragem de aparelhos convencionais, um aparelho expansor personalizado ósseo-suportado. Apresentaram como resultados um procedimento fácil, executável, estável e sem complicações, indicados para pacientes com as mesmas condições apresentadas no estudo. (FERNÁNDEZ-SANROMÁN et al, 2010)

Asscherickx et al (2016) realizaram um estudo prospectivo para analisar, por meio de dados cefalométricos, as mudanças ortopédicas da maxila durante a estabilidade inicial usando distrator palatino. Para isso 21 indivíduos foram submetidos a EMCA com corticotomias das bases ósseas anterior, lateral e média da maxila sem disjunção pterigomaxilar. Concluíram que os resultados imediatos e após 10 semanas resultam em um aumento das larguras interdentais, maxilares e cavidade nasal, assim como no perímetro do arco da maxila. A disjunção sem a separação do processo pterigoide resulta em uma abertura maxilar não paralela com maior expansão anterior e associada ao disjuntor ósseo palatino promove uma inclinação vestibular dos ossos maxilares.

Em 2006, Koudstaal et al. com o objetivo de minimizar os efeitos indesejáveis proporcionados pelos aparelhos dento-muco-suportado e dente-suportado, propuseram a confecção de um novo tipo de distrator palatino sem a necessidade da utilização de parafusos de fixação e sem ancoragem dentária. Nesse estudo puderam confirmar também a associação de deslocamento e rotações dentais, fenestrações vestibulares, recidiva esquelética e perda da ancoragem com o uso de aparelhos dento-suportados ou dento-muco-suportados.

Koudstaal et al. (2009b) avaliaram a estabilidade da EMCA comparando uso de aparelho dento-suportado e ósseo-suportado, e não observaram diferenças significantes na estabilidade, deslocamento dental e recidiva entre os grupos.

Nada et al (2012) fizeram uma avaliação prospectiva tridimensionalmente por meio de tomografias e reconstruções 3D, dos efeitos causados pela EMCA em 45 indivíduos com a maturidade esquelética atingida comparando o uso de aparelhos dento-suportado com o ósseo-suportado. Concluíram que ambos os aparelhos produzem efeitos em longo prazo ao esqueleto facial em indivíduos submetidos à EMCA.

Em 2013 Carneiro-Junior e colaboradores também relataram complicações pós-operatórias em um caso de fístula carótido-cavernosa após a fratura no processo clinóide anterior de uma paciente de 34 anos submetida a EMCA. Atribuíram à ocorrência à realização da osteotomia, com cinzel curvo, da sutura pterigomaxilar.

Gonçales et al. em 2013 fizeram um levantamento sobre as complicações pós expansão de maxila realizada em 33 indivíduos pela técnica de osteotomia Le Fort I subtotal com degrau no pilar zigomático facial, disjunção pterigomaxilar e osteotomia da sutura intermaxilar. As complicações prevalentes foram relacionadas à sinusite (6%) e movimentação dentária associado à inclinações (6%).

Baseados em um relato de caso, Lanigan & Mintz (2002), puderam descrever uma complicação clínica associada a EMCA (sem disjunção pterigomaxilar) em que, de forma equivocada, o aparelho expensor foi ativado em 2mm (8 quartos de volta) no transoperatório. Como consequência o paciente desenvolveu um quadro de paralisia transitória do nervo óculomotor, o qual teve duração de aproximadamente 4 meses. Como considerações os autores reforçam a importância de se liberar amplamente as articulações maxilares com o intuito de minimizar a dissipação de forças exercidas ao esqueleto facial, assim como abertura do aparelho expensor deve ser realizada de forma lenta e gradual, iniciada com ativação de no máximo 1 mm no trans operatório.

Em 2011, com a utilização de modelo fotoelástico, Lima Júnior, Moraes & Asprino, tiveram o objetivo de avaliar in vitro o efeito mecânico sobre os dentes e estruturas ósseas da expansão maxilar cirurgicamente assistida (EMCA), observando-se as tensões produzidas durante a ativação dos aparelhos do tipo Hyrax e Haas. Os autores concluíram que neste modelo biomecânico, o corte de todas as articulações da maxila, incluindo disjunção pterigomaxilar, causou diminuição da tensão sobre os dentes de ancoragem. Estes dados não devem ser completamente extrapolados à situação clínica, mas indicam que a técnica EMCA deve visar a saúde periodontal e a quantidade de expansão necessária para cada caso

MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS RELACIONADO A EMCA

O método dos elementos finitos ficou conhecido por esse termo em 1960, apesar das origens matemáticas serem do fim do século XVIII (MANDA et al. 2009), passou a ser utilizado para análises estruturais nas áreas de bioengenharia, incluindo modelos aplicados na Odontologia e Medicina. (GONÇALES et al., 2007; SHETTY et al. 1994; KOUDSTAAL et al.. 2009B; GONÇALES 2011; HAN et al.. 2009)

Silva et al (2009) realizaram uma pesquisa com objetivo de investigar a aplicação científica do MEF em odontologia e analisar quais as áreas em que esse método é mais utilizado. Para o estudo foi proposto uma revisão de literatura retrospectiva entre artigos de 1999 e 2008 incorporando publicações de língua inglesa, francesa, espanhola e portuguesa. Como resultado obtiveram que as áreas que mais utilizam o método são as áreas de prótese dentária, implantodontia e ortodontia respectivamente. Puderam concluir que o método de elementos finitos se trata de uma ferramenta consistente na Odontologia devido a determinados aspectos em comum entre a mesma e a ciência da engenharia. As publicações referentes às especialidades de Implantodontia, Ortodontia e Prótese Dentária foram os que mais ocorreram e o fizeram em escala crescente.

As variáveis estudadas pelo MEF são medidas relacionadas as cargas de tração (tensão máxima) e de compressão (tensão mínima) em materiais friáveis. (SANTIAGO JUNIOR et al.2016) .

Considerando a teoria da elasticidade, pode-se obter as componentes de tensões em um ponto, imaginando-se um volume infinitesimal, na forma de cubo, ao redor desse ponto que poderá ser alinhado a um sistema de coordenadas, de maneira que suas faces estarão submetidas a diferentes componentes de tensões (normais e tangenciais). Esse volume pode ser rotacionado, de maneira que nessas faces existam apenas tensões normais e as tensões de cisalhamento sejam nulas. Essas faces são chamadas de faces ou planos principais. Ao separarmos as tensões que ocorrem no ponto, pelos três planos principais, obteremos três valores distintos. A tensão de maior intensidade, normalmente positiva, ou seja, a maior tensão entre as três é definida como a tensão máxima principal, a tensão

intermediária como tensão média principal, e a menor como tensão mínima principal. Com o alinhamento da imagem simulada em Elementos Finitos, a Tensão Máxima Principal representa o comportamento de tração, enquanto que a Tensão Mínima Principal representa o comportamento de compressão. É convenção que as tensões de tração tenham valores positivos e as tensões de compressão valores negativos. Portanto, em engenharia, ao citar que existe uma tensão de -34 MPa é o equivalente a definir como uma tensão de compressão de 34 MPa, similarmente, uma tensão de 60 MPa é equivalente a uma tensão de tração de 60 MPa. (YOKOYAMA et al. 2002)

Lotti et al. (2006) definiram que o Método dos Elementos Finitos (MEF) pode ser utilizado em várias áreas das ciências exatas e biológicas pois se trata de uma análise matemática que consiste na dissociação de um meio contínuo em pequenos elementos, mantendo as mesmas propriedades do meio original. Esses elementos são descritos por equações diferenciais e resolvidos por modelos matemáticos, para que sejam obtidos os resultados desejados.

Cattaneo et al 2009 utilizaram o método de elementos finitos para avaliar as forças distribuídas entre o ligamento periodontal e o osso alveolar associado a movimentação ortodôntica. A presente análise de MEF indica que, após a aplicação de um regime de carga ortodôntica, a modelagem óssea alveolar não pode se basear no conceito simplificado, ainda que geralmente aceito, de reabsorção causada pela compressão e formação causada pelas tensões.

Shetty et al, 2009, utilizando o MEF para avaliar a distribuição de tensões sobre tecido ósseo em modelos submetidos a expansão de maxila, não cirúrgica, puderam chegar à conclusão de que a tensão máximo inicial (TMPX) se concentra na região palatina dos incisivos centrais superiores. A menor concentração de tensão pôde ser observada na região de processo zigomático e septo nasal.

Lee et al. (2009) criaram eficientes e customizados modelos de elementos finitos com a finalidade de ser utilizado para prever o comportamento biomecânico craniofacial em expansão de maxila. Os modelos foram criados para analisar a diferença entre as forças transversais de expansão nos três diferentes grupos: Modelo sólido, sem sutura palatina mediana (grupo 1), modelo fundido, maxila com presença de sutura (grupo 2) e modelo padrão, maxila com sutura palatina mediana

aberta (Grupo 3). A conclusão do trabalho foi que as regiões superiores e posteriores da maxila são as áreas de tensões finais após a abertura da sutura. MEF 3D é um método válido para analisar as estruturas do complexo craniofacial.

Gautam et al em 2007 desenvolveram dois modelos tridimensionais com o objetivo de comparar o padrão de dissipação de tensões ao longo das diversas suturas craniofaciais quando submetidos a Expansão Rápida de Maxila (ERM), utilizando o método de elementos finitos simulando crânios jovens. Houve uma movimentação da maxila no sentido anterior, inferior e no sentido horário. Os ossos zigomáticos, temporal e frontal receberam a dissipação das forças ortopédicas. Concluíram que ERM promove a expansão na região dos molares e caninos, causa também uma movimentação da maxila para frente e para baixo e rotações no sentido horário. Esses efeitos tem repercussão nas suturas do esqueleto craniofacial.

Gautam et al em 2011 realizaram um estudo com métodos de elementos finitos e mostraram que a realização de técnicas ditas mais invasivas para EMCA em indivíduos com fissuras palatinas unilaterais podem reduzir significativamente a distribuição de tensões nos tecidos ósseos. Entretanto ressaltaram a importância de se avaliar os riscos e benefícios quando da seleção de técnicas cirúrgicas que possam acarretar em complicações desnecessárias.

Holberg Steinhäuser e Rudzki em 2007, realizaram um estudo para verificar a distribuição das tensões sofridas pela EMCA na maxila e em todo esqueleto craniofacial. O estudo foi realizado por meio de análise de elementos finitos abordando três modalidades diferentes. Sem cirurgia, com osteotomia lateral e osteotomia lateral associada a disjunção pterigomaxilar. Os resultados sugerem que a disjunção pterigomaxilar pode ser um procedimento que confere maior proteção a base do crânio e estruturas ósseas adjacentes frente ao excessivo tensão causado pela EMCA.

Holberg, Steinhäuser e Rudzki-Janson (2007) demonstraram, através de um modelo virtual, que uma osteotomia que inclui a parede lateral maxilar, separação da sutura mediana e dos processos pterigoides pode reduzir significativamente o grau

de tensão sofrido pelas estruturas do crânio e da face. Corroborando assim seus estudos anteriores relacionados a MEF.

Jafari, Shetty & Kumar (2003) propuseram um estudo para analisar o padrão de distribuição da dissipação das tensões pelo complexo craniofacial durante a expansão rápida de maxila com a utilização do método de elementos finitos. O modelo foi obtido a partir de um crânio jovem humano. Dentre outros resultados mostraram que as forças expansivas não estão restritas apenas a sutura intermaxilar, mas também aos ossos zigomático e esferoide e outras estrutura associadas.

Boryor et al. (2010) fizeram um estudo onde compararam as tensões medidas durante o processo de expansão da maxila (no processo zigomático de crânios frescos) com um modelo de elementos finitos gerado para este fim. Os resultados mostraram que a maior tensão ocorreu no processo alveolar, concluindo que a probabilidade de abertura da sutura maxilar em adultos durante a expansão maxilar, com ancoragem dentária, é muito baixa, podendo ocorrer complicações indesejáveis.

Shetty et al (1994) utilizaram testes biomecânicos com modelos fotoelástico para mostrar a distribuição das tensões durante a EMCA utilizando aparelho dento-suportado. Concluíram que as suturas pterigomaxilar e intermaxilar, formam os sítios anatômicos primários de resistência às forças de expansão, assim como os pilares de reforços da face que representam os principais impedimentos para a expansão da maxila e que o padrão de distribuição das tensões tornou-se mais superior, após osteotomia pterigomaxilar.

Com o objetivo de avaliar o deslocamento e distribuição de tensões durante a EMCA sob diferentes condições cirúrgicas, Han, et al. (2009) fizeram uma análise tridimensional de elementos finitos em cinco grupos com diferentes simulações cirúrgicas, todos com a utilização do aparelho dento-suportado. Grupo controle sem cirurgia (G1), Osteotomia LeFort I (G2), LeFort I mais osteotomia anterior da maxila (G3), LeFort I mais disjunção pterigomaxilar (G4) e LeFort I mais osteotomia anterior da maxila e disjunção pterigomaxilar (G5). Os resultados mostraram que o grupo 5 produzia maior deslocamento da maxila em todos os planos. Chegaram à conclusão

de que a combinação das osteotomias analisadas (grupo 5) sugere ser um procedimento eficaz para aumentar a expansão da maxila diminuindo os efeitos colaterais causados pelo excessivo esforço transmitido para os dentes de ancoragem do aparelho.

Assis (2011) e Assis, et al (2014) demonstraram a eficácia da utilização do método de elementos finitos para avaliar os efeitos da EMCA quando relacionados diferentes tipos de osteotomias. O estudo mostrou a dissipação das forças exercidas durante a ativação do aparelho dento-muco-suportado nas estruturas ósseas e dentárias.

Gonçales et al (2013) também realizaram um estudo com métodos de elementos finitos com a finalidade de avaliar a distribuição das tensões que incidem nos dentes suportes do aparelho expansor dento-muco-suportado em diferentes osteotomias para a EMCA. Para isso foram confeccionados 5 modelos virtuais de maxila: M1 – modelo hígido; M2 - osteotomia Le Fort I com degrau no pilar zigomático-maxilar; M3 – osteotomia Le Fort I subtotal com e degrau no pilar zigomático-maxilar e disjunção pterigomaxilar; M4 – osteotomia Le Fort I descendente sem degrau no pilar zigomático-maxilar e M5 - osteotomia Le Fort I descendente sem degrau no pilar zigomático-maxilar com disjunção pterigomaxilar. Os resultados mostraram que, mesmo com a utilização do aparelho dento-muco-suportado, ocorreu dissipação de tensões de tração principalmente nas regiões palatinas dos dentes e osso alveolar, e de compressão predominantemente na vestibular do osso alveolar e dos dentes. A realização de osteotomia Le Fort I subtotal associada a osteotomia da sutura intermaxilar, pareceu reduzir essa dissipação de forças. Concluíram que a osteotomia Le Fort I subtotal associada a osteotomia da sutura intermaxilar e com a disjunção pterigomaxilar produz uma redução da dissipação das tensões dentais, contudo, há uma tendência dos dentes pilares do aparelho deslocarem-se para mesio-vestibular (pré-molar) e disto-vestibular (molar).

Ainda relacionado ao uso do método de elementos finitos, Araugio et al. (2013) avaliaram a influência da altura do parafuso do aparelho expansor tipo Hyrax com as inclinações dentárias, utilizando método de elementos finitos. De acordo com as diferentes posições, os dentes podem ser movimentados. Foram avaliada três

posições diferentes: 10mm abaixo do centro de resistência do primeiro molar, na mesma altura e 10mm acima do centro de resistência do primeiro molar. Concluíram que a posição ideal seria um pouco acima do centro de resistência dos molares superiores, gerando menor inclinação dentária.

Lee et al (2014) analisaram a distribuição de tensão e deslocamento das estruturas craniofaciais entre os aparelhos ósseo-suportado e dento-muco-suportado combinados a algumas modalidades cirúrgicas para EMCA. O estudo foi realizado por meio do método de elementos finitos construído a partir de exames tomográficos de crânios secos. Seus resultados mostraram que a realização das osteotomias nas expansões cirúrgicas diminuem as tensões causadas pelas mesmas. Perceberam também que, quando usados os aparelhos ósseo-suportados sem a confecção das osteotomias, existe uma maior concentração de tensões distribuídas para margem infra-orbital, espinha nasal anterior e posterior, tuberosidade da maxila, hámulo e processo pterigoide. Chegaram à conclusão de que as modalidades cirúrgicas avaliadas mostraram quantidade similar na distribuição de tensão ao longo dos dentes, suturas palatinas e craniofaciais. Entretanto, quando do uso dos aparelhos ósseo-suportados, é recomendada a separação da sutura palatina mediana.

3 Proposição

3 PROPOSIÇÃO

O objetivo desta pesquisa foi analisar a distribuição das tensões nas estruturas maxilares provocadas pelo processo de expansão de maxila cirurgicamente assistida, com osteotomia Le Fort I subtotal e utilização de aparelho expensor ósseo-suportado.

4 Material e Métodos

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Modelo

Este estudo teve como base o modelo anatômico de maxila preconizado por Assis (2011)³¹, o qual foi desenvolvido no Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI – Campinas, SP. Brasil) por meio de “*computer aided design*” (CAD) de maxila. Foi utilizado o *software* Rhinoceros 5 (Mcneel North America – USA), responsável por gerar as imagens da maxila considerando os principais pontos anatômicos tomográficos. Todos os procedimentos relacionados com a análise de elementos finitos foram realizados no CTI.

4.2 Características da amostra

Para esta pesquisa, foi construído modelo de uma hemimaxila considerando-se uma hipótese de simetria, portanto o carregamento e os resultados para os lados esquerdo e direito foram idênticos. Os materiais simulados foram considerados isotrópicos, elásticos, lineares e homogêneos, ou seja, são materiais que possuem as mesmas propriedades quando submetidos a aplicação de forças em todas as direções. O modelo foi composto de osso cortical, dentes, mucosa e aço. As principais propriedades dos materiais simulados estão descritos na tabela 1 abaixo.

Tabela 1: Propriedades mecânicas isotrópicas dos materiais simulados.

Estrutura	Módulo de Young/ Elasticidade (E)	Coefficiente de Poisson
Osso cortical ¹	17,5 GPa	0,3
Dente ¹	20 GPa	0,3
Mucosa ²	0,2 GPa	0,45
Aço ³	210 GPa	0,3

Unidade de medida: GPa (Giga-Pascal). (¹Catteneo, Dalstra & Melsen, 2009; ²Lai 2010; ³Callister, 2002). Adaptado de ASSIS 2014

Foi construído um modelo anatômico de maxila simplificada e descaracterizado, para gerar imagem da maxila considerando os principais pontos anatômicos tomográficos.

Após a importação da geometria desse modelo anatômico pelo software FEMAP versão 10.2 64 bits (Siemens PLM Software Inc., USA), foi gerada uma malha de elementos finitos com 279.419 elementos tetraédricos e 432.828 nós nas fases de pré-processamento (tabela 2). Em seguida, o modelo foi enviado para a análise matemática no software NEI NASTRAN (Noran Engineering Inc.), cujos resultados foram exportados para o programa FEMAP 10.2, para o pós-processamento.

Tabela 2: Composição da malha do modelo de estudo.

Modelos de acordo com o aparelho	Número de elementos	Número de nós
Ósseo-suportado	279.419	432.828

4.3 Características do aparelho expensor

O aparelho expensor considerado para essa análise foi um distrator ósseo-suportado, ancorado na maxila através de dois parafusos conectados a sua estrutura de apoio em contato com os ossos da mesma. Por se tratar de uma simulação e simplificada, em que o próprio programa estipula os contatos entre as partes, a construção da geometria dos parafusos não considerou a representação das espiras e dos passos de roscas que os compõem. Assim como as roscas que compõem o corpo central do aparelho.

Com relação à geometria das estruturas referentes às partes articuladas do aparelho, essas tiveram que ser alteradas para a aplicação desse modelo de EF. Nesse caso, a estrutura do pino de articulação foi considerada com sua superfície arredondada, já que nos modelos reais essa estrutura tem a extremidade com características poligonais.

Os parafusos de fixação do aparelho no osso da maxila foram posicionados na posição mais neutra possível, com papel principal de estabilização do aparelho, deixando assim a distribuição das tensões para o restante do aparelho.

O aparelho foi posicionado acima da sutura palatina mediana, fixado na região palatina dos ossos da maxila entre o 1º pré-molar e o 1º molar (Figura 1). Foram os únicos dentes posteriores mantidos no modelo, para não carregar excessivamente de informações matemáticas o software, e mantidos como pilares fixos nas maxilas, sem a presença de ligamento periodontal, em condição de anquilose.

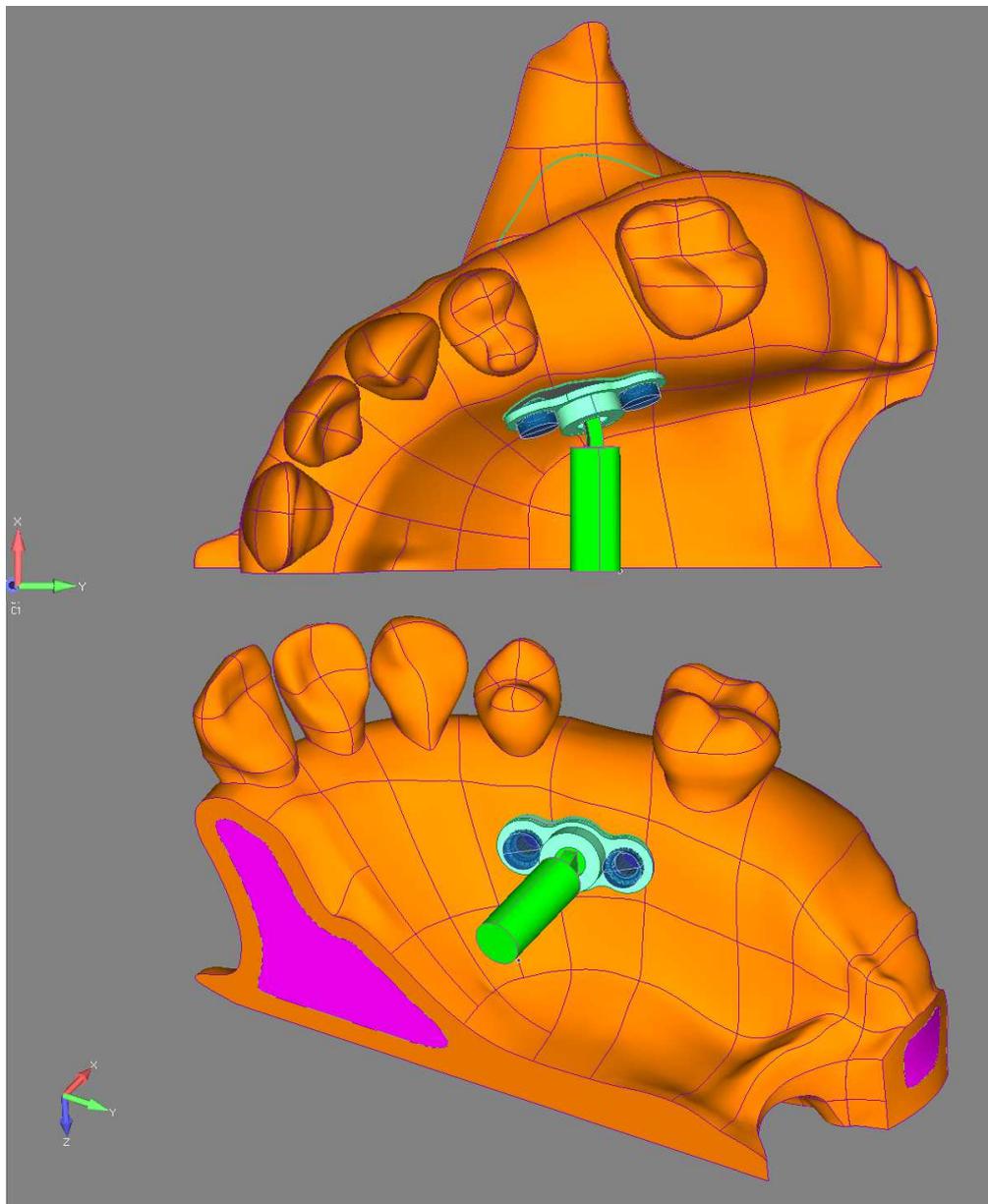


Figura 1 – Local de ancoragem do aparelho ósseo-suportado

4.4 Simulação da Expansão

A osteotomia simulada foi a Le Fort I reta, descendente, rompendo o processo zigomático da maxila, além da separação da maxila na direção da sutura palatina mediana e rompimento do processo pterigoide.

Não foi considerado atrito entre os contatos das superfícies nas osteotomias, permitindo que se desloquem livres de atrito, porém limitadas a um deslocamento que simulava um “gap” de corte equivalente a 1 mm. O software “interpreta” que não há interação entre as superfícies separadas pelas osteotomias.

Acima das osteotomias, os modelos foram fixados totalmente no eixo “Z”, incluindo as paredes do seio maxilar e também a parte mais posterior do processo pterigoide. A superfície da sutura palatina mediana foi fixada na região correspondente a lamina horizontal do osso palatino na parte posterior. (Figura 2).

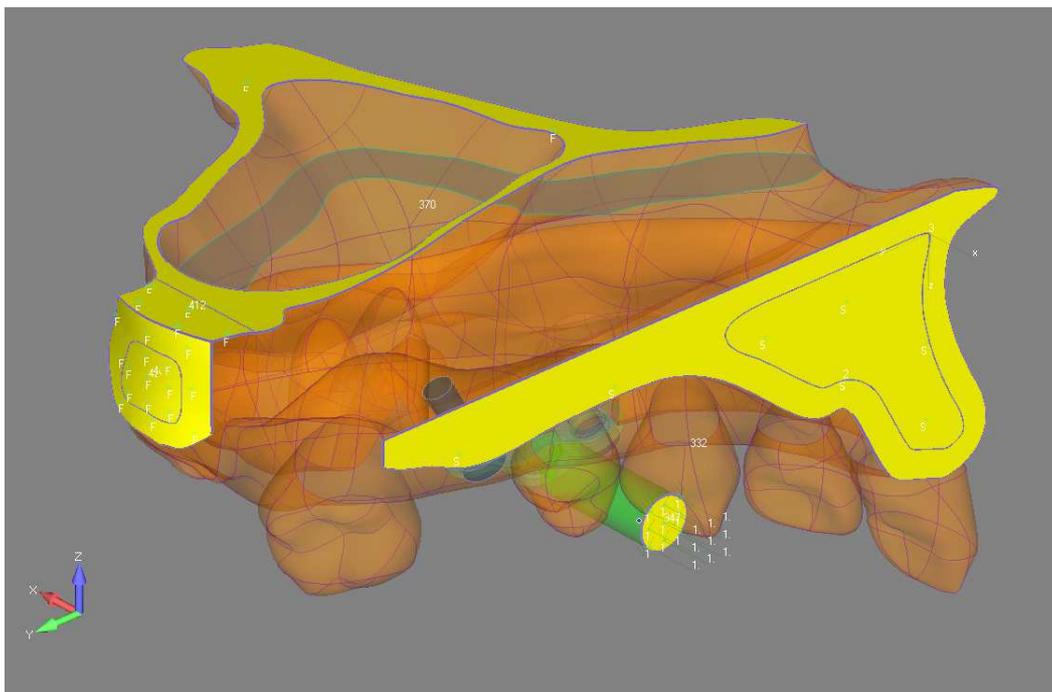


Figura 2: Os eixos direcionais para o deslocamento do modelo no espaço foram definidos como “X” para látero-lateral (horizontal), “Y” para ântero-posterior (horizontal) e “Z” para súpero-inferior (vertical).

A distância estipulada para a ativação do aparelho expansor foi de 1 mm, ou seja, 0,5 mm de expansão para cada hemimaxila. Nessa distância, a tensão máxima de Von Mises do metal do aparelho estaria num valor próximo ao limite convencional de escoamento do aço.

Foi adotada para a análise do modelo com o aparelho ósseo suportado a não linearidade para contemplar grandes deslocamentos em modelos de contatos mais avançados.

4.5 Análises dos Elementos Finitos

Os critérios de interpretação para este estudo seguiram critérios estabelecidos, sendo as análises de tensão von Mises (aplicado para resistência estática de materiais dúcteis) e Tensão Máxima Principal (TMXP) (aplicado para materiais frágeis como as estruturas ósseas).

Os resultados obtidos das distribuições de cargas (tensão principal mínima, tensão principal máxima e tensão de Von Mises) e do deslocamento, foram analisados de forma descritiva por meio de um mapa de escala de cores que representam o valor em MegaPascal (MPa) das tensões exercidas.

5 Resultados

5 RESULTADOS

5.1 Padrão de Deslocamento

A quantidade de deslocamento do modelo nos eixos X, Y e Z está representada por campos de distribuição de cores, sendo a cor vermelha representa o maior deslocamento e a cor azul escuro o não deslocamento. Essa relação de cores/deslocamento pode ser observada na escala de graduação ao lado das imagens.

O maior grau de deslocamento do modelo pode ser observado nas figuras 3 e 4, mostrando que a parte anterior da maxila na região de incisivos a canino foi o segmento que mais sofreu movimentação durante a simulação. O mapa de cores mostra as regiões em vermelho aquelas que mais sofreram deslocamento, correspondendo a aproximadamente 0,5 mm.

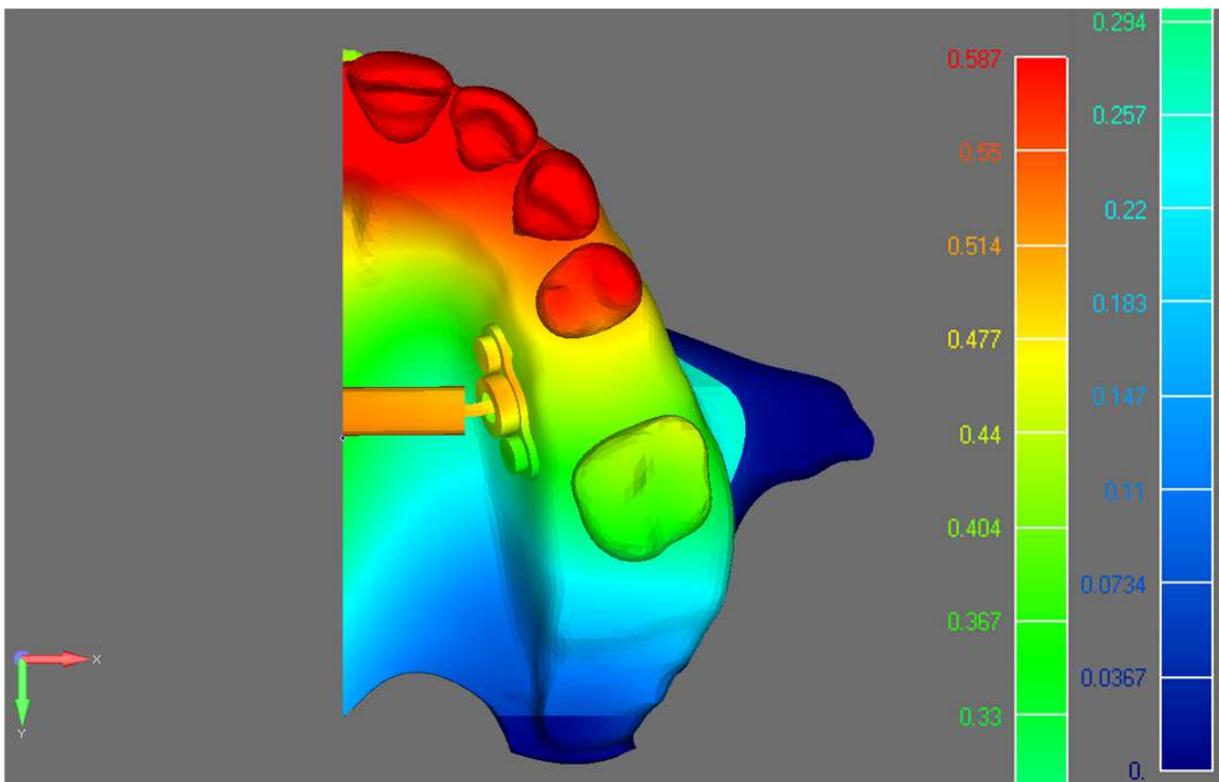


Figura 3: Vista oclusal da análise de deslocamento no eixo X (mm). Deslocamento proposto de 1mm.

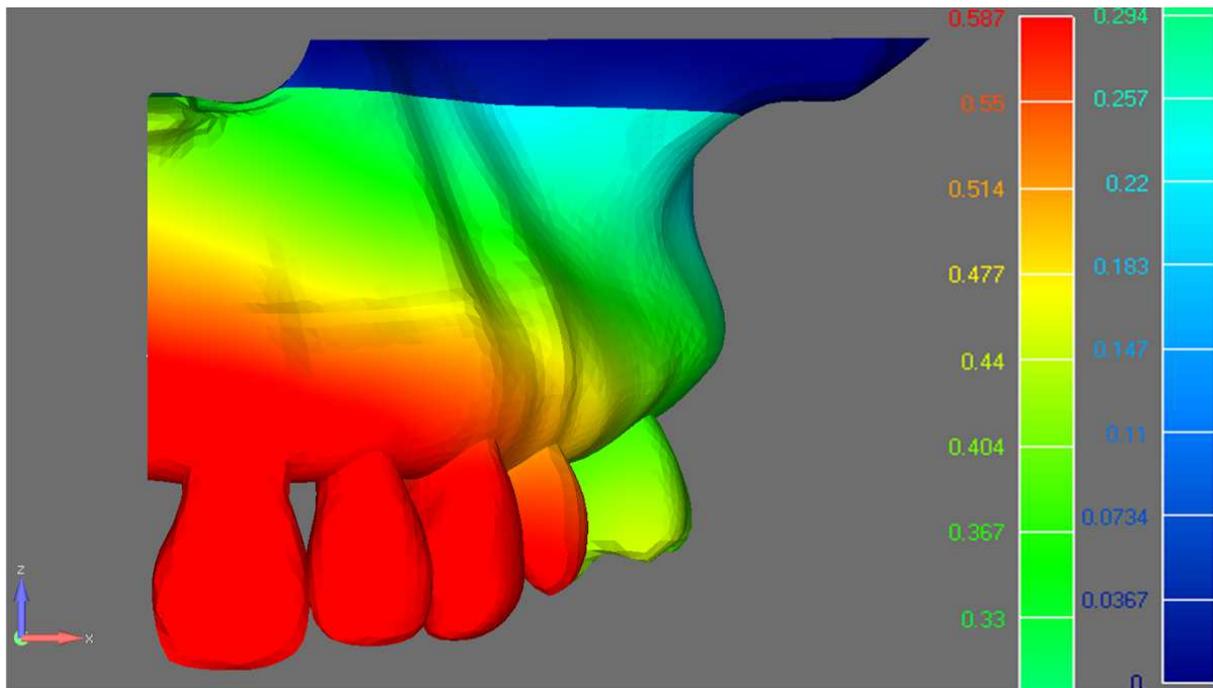


Figura 4: Vista frontal do modelo da análise de deslocamento no eixo X (mm). Escala de 0 a 0,58mm.

5.2 Padrão de distribuição de tensão

5.2.1 Tensão Máxima Principal – T_{MXP}

Para a avaliação da T_{MXP} foi utilizada graduação do mapa de cor, em que valores positivos correspondem à tensão de tração e valores negativos à tensão de compressão. A unidade de mensuração da escala foi MegaPascal (MPa).

As tensões máximas principais evidenciaram as maiores tensões de tração em osso alveolar vestibular, na região de rebordo de pré-molares e molares, correspondente à região de apoio do aparelho expansor. Também foi evidenciada concentração T_{MXP} nas pequenas regiões adjacentes à osteotomia, nas áreas próximas de reforços ósseos como pilar canino, pilar zigomático e sutura pterigomaxilar (Figura 5).

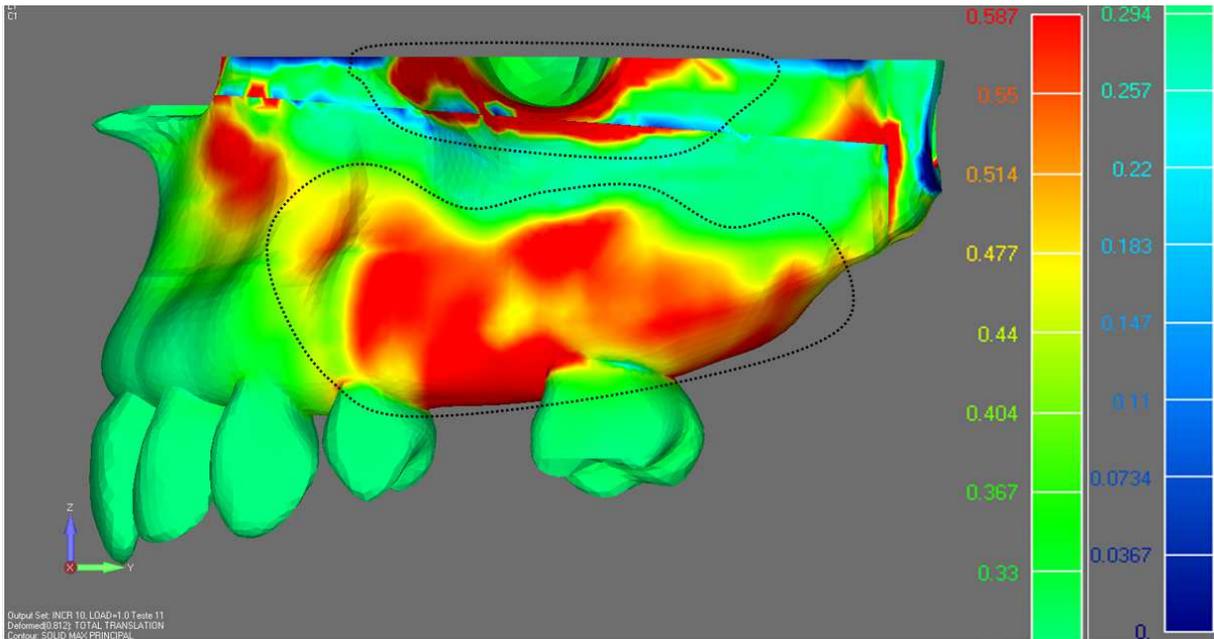


Figura 5: Vista lateral do modelo da Tensão Máxima Principal observada na região de osso alveolar e ao redor do processo zigomático, em destaque. Escala de -20 a 20 MPa.

Na região palatina nota-se uma distribuição das tensões de tração distribuída por todo o osso alveolar e processo palatino, desde a região de pré-molares até a região mais posterior, exceto na região que corresponde ao apoio do aparelho expansor, em que houve uma concentração maior de tensões de compressão. (Figura 6).

Segundo valores negativos da escala do mapa de cores, foi possível observar maior concentração de compressão nas regiões acima do osso alveolar, principalmente na região de pilar zigomático, no segmento móvel da maxila, tangenciando também a área da osteotomia (Figura 6).

Na região palatina foi observada uma concentração de tensões de compressão no local de apoio do aparelho distrator, entre as perfurações dos parafusos, mais especificamente em direção a perfuração posterior. Essas forças parecem se dissipar a medida que se afastam do local de inserção do aparelho (Figura 6).

Ainda por vista palatina, foi observada uma concentração dessas tensões na parte fixa do modelo, ao longo da linha da osteotomia, evidenciando os possíveis pontos de contato entre as partes. (Figura 6)

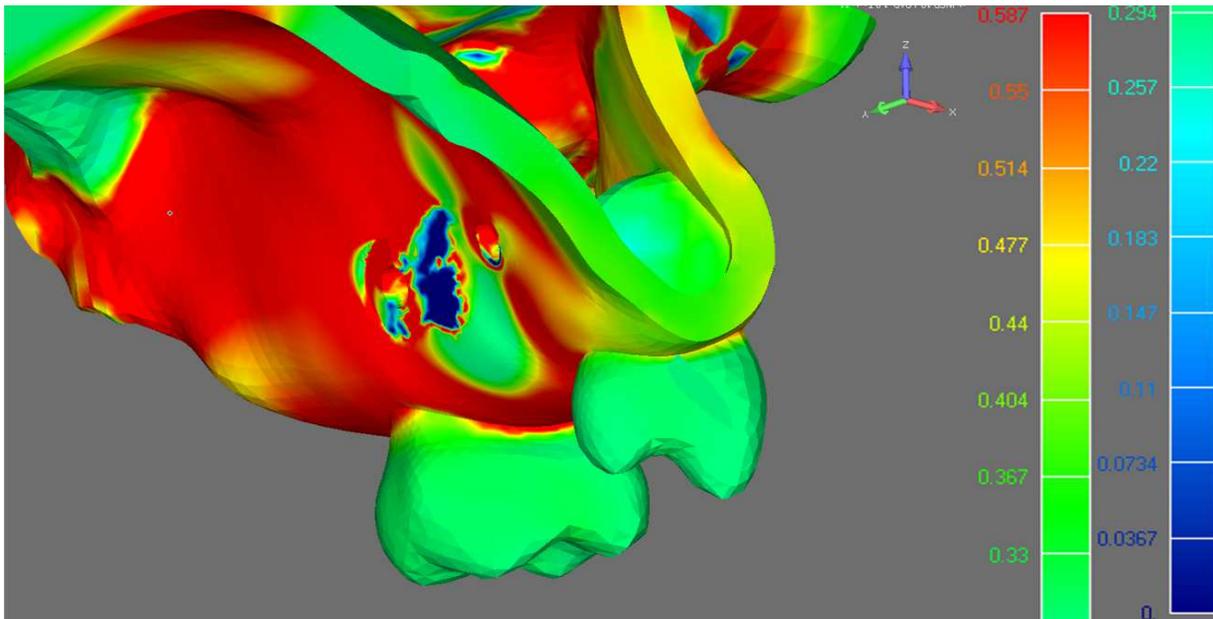


Figura 6: Vista palatina anteroposterior do modelo da Tensão Máxima Principal observada na região de processo palatino posterior ao 1º PM. Escala de -20 a 20 MPa.

Em uma vista transversal, observando a relação do osso alveolar com as raízes dos dentes do modelo, podemos observar uma maior concentração de tensões de tração se dissipando do lado palatino para o lado vestibular através do rebordo alveolar transmitidas, principalmente para raiz palatina do 1º molar e para pequena porção da região cervical dos dentes (Figura 7).

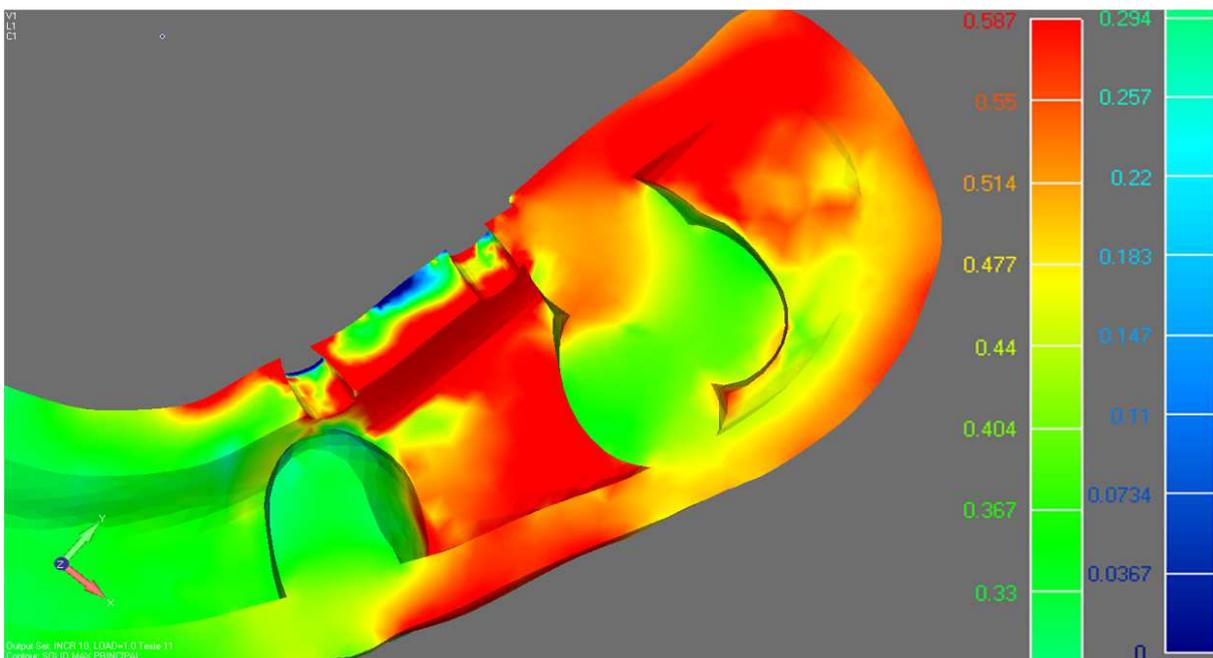


Figura 7: Vista transversal do modelo da Tensão Máxima Principal mostrando a dissipação das tensões através do rebordo alveolar na região posterior. Escala de -20 a 20 MPa.

5.2.2 Tensão Mínima Principal

A tensão mínima principal (tensão que evidencia as áreas de compressão) está caracterizada pela cor mais azulada, segundo valores negativos da escala do mapa de cores. Foi possível observar maior concentração nas regiões acima do osso alveolar, principalmente na região de pilar zigomático, tanto no segmento móvel da maxila quanto no segmento fixo, tangenciando a área da osteotomia (Figura 8).

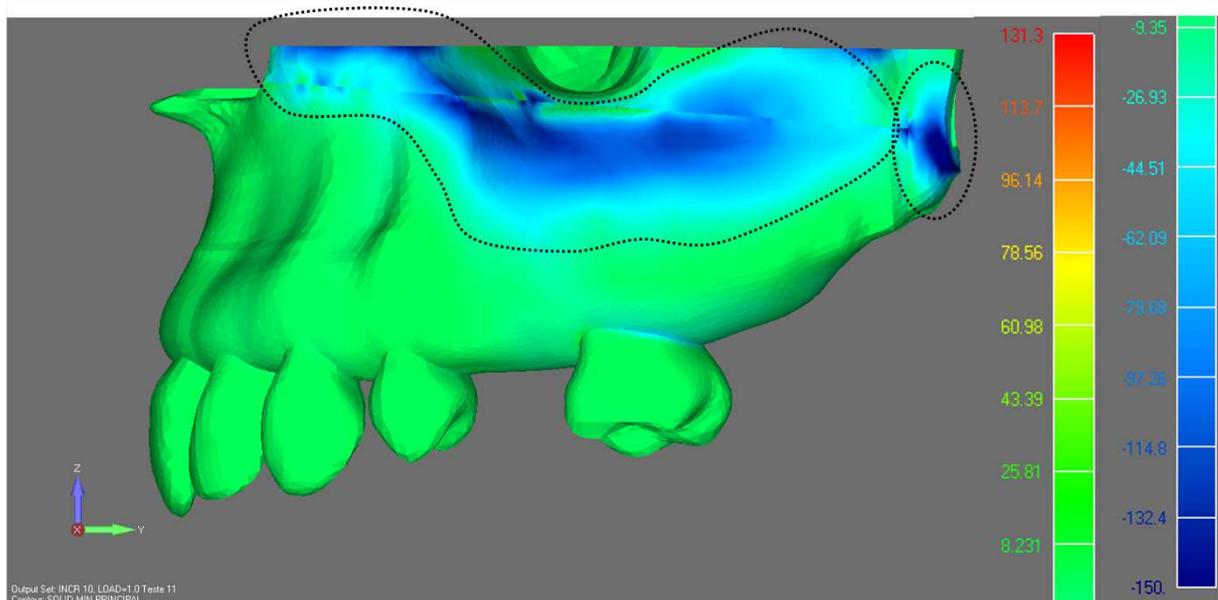


Figura 8: Vista lateral do modelo da Tensão Mínima Principal observada na região superior ao osso alveolar adjacente ao processo zigomático. Escala de -150 a 131 MPa.

Na região palatina foi observada uma concentração da TMP no local de apoio do aparelho distrator, entre as perfurações dos parafusos, mais especificamente em direção a perfuração posterior. Essas forças parecem se dissipar à medida que se afastam do local de inserção do aparelho (Figura 9).

Ainda por vista palatina, foi observada uma concentração dessas forças na parte fixa do modelo, ao longo da linha da osteotomia, evidenciando os possíveis pontos de contato entre as partes. (Figura 9)

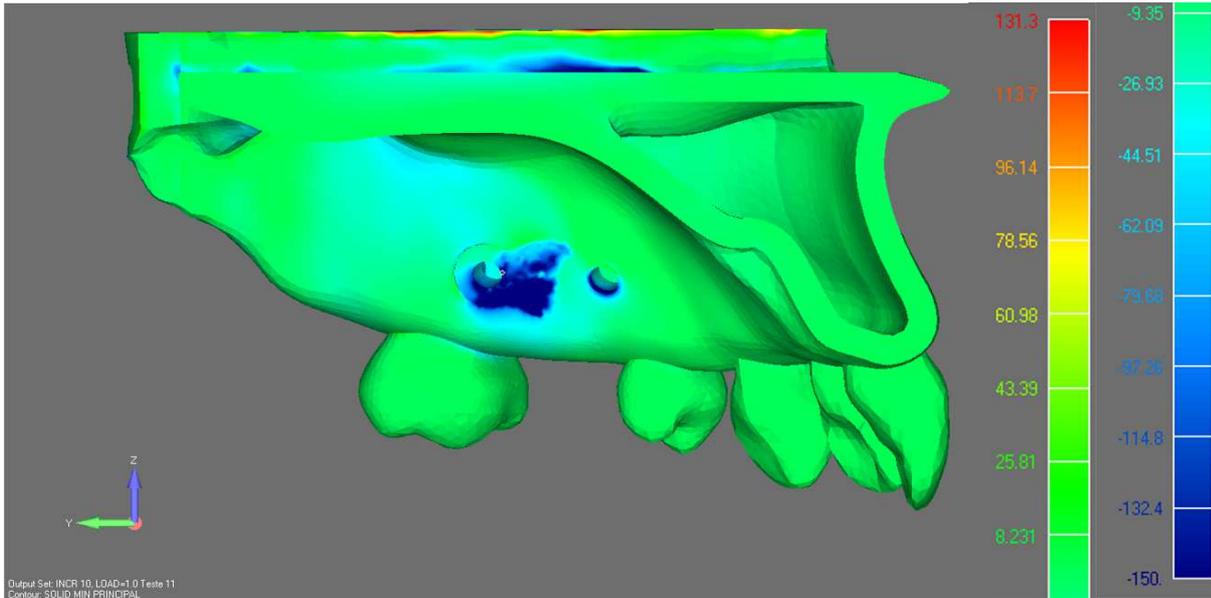


Figura 9: Vista palatina da Tensão Mínima Principal observada na região de apoio do aparelho distrator e ao longo das estruturas ósseas adjacentes a osteotomia. Escala de -150 a 131 MPa.

5.2.3 Tensão de Von Mises

De forma geral observa-se uma maior tensão na haste do aparelho expansor que faz a conexão do corpo com a parte articular da extremidade (Figura 10). Com menor intensidade, foi evidenciada tensão na superfície do dispositivo que fica em contato com a maxila, mais especificamente na região central (Figura 11).

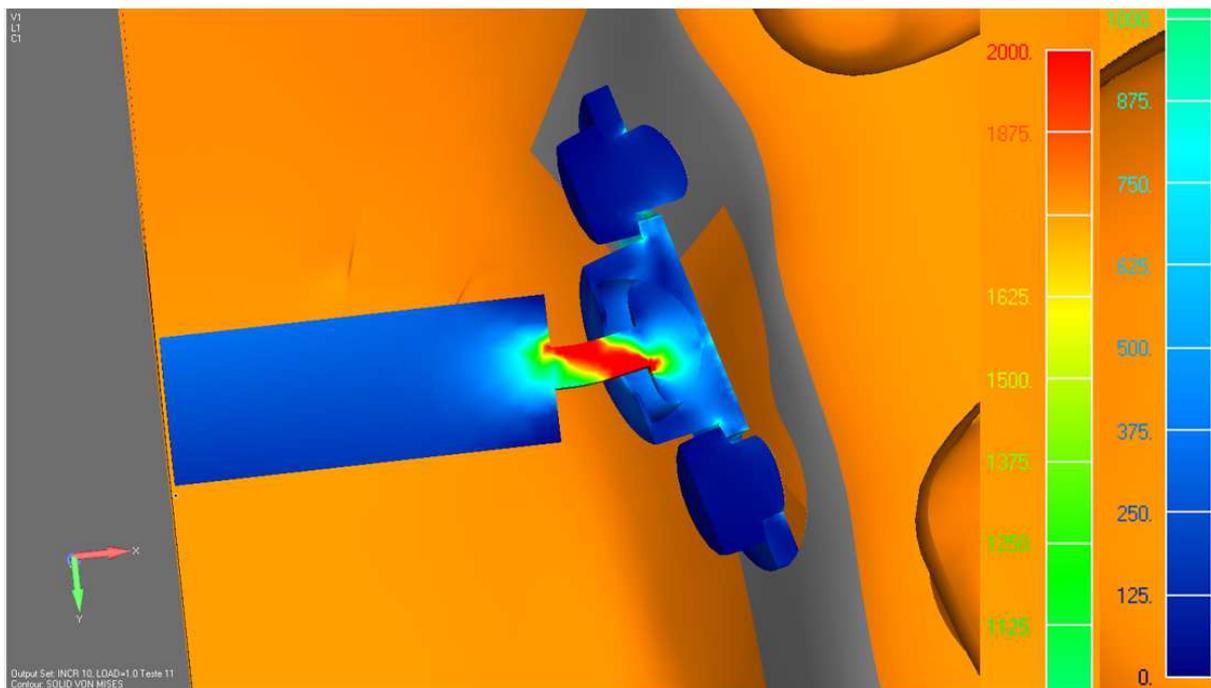


Figura 10: Tensão de Von Mises observada na haste do aparelho expansor. Escala de 0 a 2000 MPa.

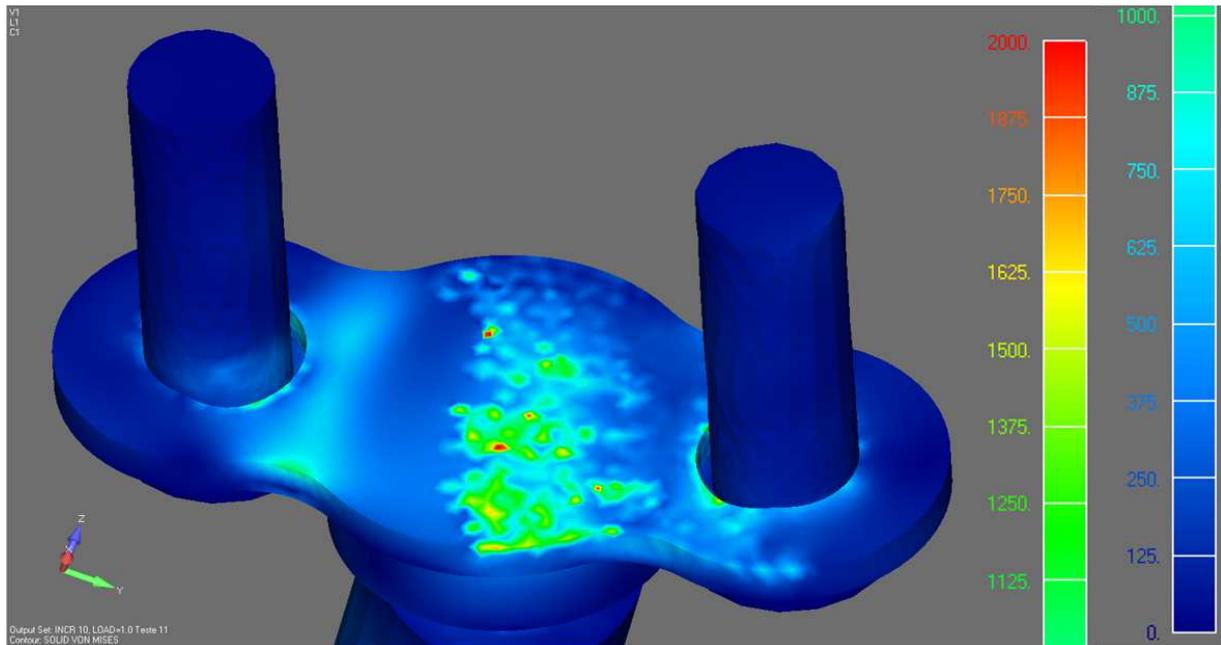


Figura 11: Tensão de Von Mises observada na superfície do componente de apoio em contato com a maxila. Escala de 0 a 2000 MPa.

6 *Discussão*

6 DISCUSSÃO

As deformidades podem ser definidas como defeito na forma de um órgão ou em partes do corpo. Nos ossos da face, chamam-se deformidades faciais-esqueléticas que resultam de alterações do crescimento e desenvolvimento dos ossos (especialmente na maxila e na mandíbula) e podem alterar, além desses ossos propriamente ditos, outras estruturas, órgãos e sistemas relacionados aos ossos envolvidos, causando problemas no posicionamento de dentes, relação entre os arcos dentários, função mastigatória, deglutição, fonação, articulações têmporo-mandibulares, respiração, harmonia e estética facial (GONÇALES, 2010).

A expansão de maxila cirurgicamente assistida é um procedimento cirúrgico cuja finalidade é romper os pontos de reforço da maxila representadas pelos pilares. Tais efeitos se refletem em todo complexo maxilofacial e assim como alterações dentárias. (BISHARA, STALEY, 1984; BAYS, GRECO, 1992; BABACAN, SOKUCU, DORUK, 2006; GONÇALES et al. 2007; ASSIS et al. 2010; ASSIS, DUARTE; GONÇALES, 2010; SALGUEIRO et al. 2015)

As osteotomias laterais da maxila, estendendo-se a partir da linha mediana abaixo da abertura nasal em direção posterior, são amplamente utilizadas, e consideradas necessárias para o sucesso do procedimento, de modo a romper os pilares de resistência à expansão. As divergências mais comuns referentes a técnica cirúrgica utilizada na EMCA envolvem a necessidade da osteotomia da Sutura Palatina Mediana (SPM), da Disjunção da Sutura Pterigomaxilar (DPM) e do septo nasal (KOUDESTAAL et al. 2005; OLIVEIRA 2014).

Glassman et al. (1984) difundiram a técnica da osteotomia Le Fort I sub total, e preconizaram osteotomias bilaterais da parede anterior da maxila, estendendo-se da abertura piriforme até a sutura ptérigo-maxilar, associada à disjunção da sutura ptérigo-maxilar, osteotomia da sutura intermaxilar e osteotomias nas porções iniciais das paredes laterais nasais e do septo nasal. Difundiram ainda que a osteotomia da parede anterior da maxila deveria ser paralela ao plano oclusal maxilar.

Várias combinações de osteotomias maxilares foram propostas com o objetivo de promover maior liberação maxilar e redução da inclinação dos segmentos observadas em alguns estudos. (BELL & EPKER, 1976; SCHWARZ et al. 1985; BAYS & GRECO, 1992; BASDRA, ZOLLER & KOMPOSH, 1995). Nesse contexto, alguns estudos mostram que a execução de um maior número de osteotomias, incluindo a disjunção da sutura pterigomaxilar, pode ser considerada a melhor opção para a realização da expansão de maxila cirurgicamente assistida em indivíduos que já tenham atingido a maturidade óssea, especialmente aqueles com idades mais avançadas. As osteotomias permitem uma movimentação mais uniforme dos segmentos da maxila com menor distribuição de estresse. (BELL & EPKER, 1976; BELL & JACOBS, 1979; GLASSMAN et al. 1984; LEHMAN, HASS & HASS, 1984; SCHWARZ et al. 1985; BAYS & GRECO, 1992; BETTS et al. 1995; BASDRA, ZOLLER & KOMPOSH, 1995; LAUDEMANN et al. 2009; SALGUEIRO et al 2015;). Outros autores relacionam a não separação das placas pterigoides na sutura pterigomaxilar com o aumento da resistência à expansão maxilar (JAFARI; SHETTY; KUMAR et al., 2003; HOLBERG; STEINHÄUSER; RUDZKI-JANS, 2007)

Avaliando os efeitos de dois tipos de osteotomia dos maxilares utilizada nas expansões de maxila cirurgicamente assistida, Oliveira et al. em 2016, compararam osteotomias do tipo Le Fort I subtotal reta (grupo 1) e com degrau no pilar zigomático (grupo 2), ambas associadas com a disjunção do processo pterigoide, concluíram que os efeitos dos dois desenhos das osteotomias possuem eficácia semelhante, sem diferenças significantes.

Han et al. 2009 sugerem que a combinação da osteotomia Le Fort I e osteotomias paramedianas com separação pterigomaxilar, pode ser um procedimento eficaz para aumentar a expansão da maxila, diminuindo os efeitos colaterais causados pelo excessivo stress transmitido para os dentes de ancoragem do aparelho

Entretanto, Zandi et al. (2016), ao compararem as alterações dentais e esqueléticas após a EMCA a curto prazo, com ou sem Disjunção da Sutura Pterigomaxilar (DPM), concluíram que não há diferença estatisticamente significativa na quantidade e padrão de expansão maxilar entre dois grupos. Considerando os desfechos cirúrgicos favoráveis e o menor risco de possíveis complicações

transoperatórias, recomenda-se a EMCA sem DPM para o tratamento de deficiências transversas da maxila. Kilic et al. obtiveram resultados e conclusões semelhantes em seu estudo retrospectivo da análise de modelos de 18 indivíduos.

Sangsari, et al (2016) realizaram uma revisão sistemática e metanálise com o principal objetivo de avaliar os procedimentos de expansão de maxila cirurgicamente assistida com e sem disjunção pterigomaxilar e atingiram um montante de apenas 3 artigos com relevância para a análise. Chegaram à conclusão de que a literatura é inconclusiva para avaliar os efeitos da EMCA relacionada a disjunção pterigomaxilar

Para a confecção do modelo desse trabalho optamos por simular a osteotomia Le Fort I, descendente, com disjunção pterigomaxilar, pois acreditamos que o maior número de osteotomias podem acarretar uma movimentação maxilar com menor interferência e assim menor dissipação de forças entre as estruturas (LIMA JÚNIOR, MORAES & ASPRINO, 2011; LANIGAN & MINTZ, 2002; HOLBERG STEINHÄUSER e RUDZKI, 2007). Tal fato pôde ser constatado com os estudos de Assis (2014) e Gonçalves et al. (2013) os quais mostraram que o desenho das osteotomias influenciavam na transmissão de esforços ao longo dos dentes e estruturas ósseas.

No presente modelo apenas uma parte do processo pterigóide foi modelada. Nessa parte podemos visualizar concentrações de tensão de tração e compressão. Apesar da limitação do método, acreditamos que essas tensões poderiam continuar se dissipando ao longo do osso esfenoide levando a complicações graves, como as descritas por Lanigan e Mintz e (2002) Carneiro Junior et al. (2013)

Seeberger et al. (2010) observaram movimento em forma de “V” dos segmentos, havendo maior expansão na região anterior da maxila, estudando modelos de gesso de indivíduos submetidos a EMCA sem a disjunção da sutura pterigomaxilar. Apesar de nosso modelo de estudo ter simulado as disjunções pterigomaxilares também pudemos observar um padrão de abertura inicial semelhante, com movimentação transversal maior na região anterior (aproximadamente 1 mm) quando comparada a região de molares (aproximadamente 0,6 mm). Corroborando com a revisão sistemática realizada por Verstraaren et al. em 2010, que observaram uma tendência de a maxila sofrer maior

expansão na parte anterior, ocorrendo uma abertura em “v”, quando ancorado o aparelho na região de segundos pré-molares e sem a disjunção cirúrgica do processo pterigoide.

Os estudos realizados por Shetty et al. (2009) e Shetty et al. (1994), utilizando o MEF mostraram que a concentração de tensão principal máximo distribuídos sobre o tecido ósseo se encontra na região palatina dos incisivos centrais. Tais dados podem justificar o padrão de abertura observado no presente estudo.

O padrão de abertura da maxila no plano transversal, mostra maior quantidade de expansão nas áreas dos dentes posteriores quando não submetidos às osteotomias, o que faz com que haja uma maior concentração de tensão nas estruturas relacionadas. Porém, com a realização das osteotomias a maior quantidade de expansão acontece na região dos dentes anteriores. (LEE et al. 2014)

Outros autores consideram que o sucesso obtido com técnicas mais conservadoras traz um perfil de risco e benefício que deve ser considerado (GLASSMAN et al., 1974; SEEBERGER et al., 2010). A ampla variabilidade dos resultados pode ser associada a grande variedade de técnicas e protocolos utilizados, bem como a escassez de estudos randomizados, com método e protocolos de avaliação padronizados (BUCK et al., 2016).

Mesmo com a realização da disjunção pterigomaxilar, os resultados imediatos da expansão da maxila, quando utilizado o aparelho dento-muco-suportado, são na sua maioria decorrentes de movimentações dentárias. (CHAMBERLAND, PROFFIT 2008). Assim, Ferreira et al. (2010) ressaltaram a importância da avaliação das espessuras das tábuas ósseas que recobrem os dentes, previamente a qualquer tipo de movimentação dentária.

Comparando nossos resultados aos dos estudos de Assis (2011), considerando-se a análise de deslocamento, verificamos que em ambos os modelos, onde houve a separação entre a maxila e o processo pterigóide, há uma mudança brusca na tonalidade de cores, caracterizando uma maior liberdade de movimentação posterior da maxila quando realizada a disjunção pterigomaxilar.

Além das técnicas cirúrgicas, outro fator importante a ser considerado no tratamento da deficiência transversal de maxila é a seleção do tipo de aparelho distrator, uma vez que estão ligados a alguns dos efeitos indesejados que ocorrem no tratamento de expansão de maxila cirurgicamente assistida. Esses efeitos são representados, principalmente por alterações dentárias causadas pela compressão do aparelho sobre o dente. (OLIVEIRA, 2000; CHAMBERLAND E PROFFIT, 2008)

Segundo Haas (1961), a dissipação das forças geradas quando usado um aparelho dento-muco-suportado é feita de uma forma mais uniforme, distribuída pelo osso alveolar, fibras do ligamento periodontal e palato. Sendo assim, é um aparelho de ancoragem máxima, o que gera menos danos aos dentes de suporte do que quando comparado ao aparelho dento-suportado no processo de expansão maxilar.

A literatura mostra que os efeitos indesejados relacionados a EMCA estão diretamente ligados ao padrão de distribuição de forças de tensão exercidas através dos diferentes tipos de aparelhos de distração, para as estruturas maxilofaciais. Essa transmissão de forças geradas pela expansão, quando dissipada através de aparelhos com apoio dentário, pode gerar movimentações indesejadas dos mesmos. (VERSTRAATEN et al. 2010, KOUDSTAAL et al. 2009).

Desde a introdução do aparelho ósseo-suportado na EMCA em 1999, por Mommaerts, tanto os distratores quanto as técnicas cirúrgicas vem sendo constantemente estudados e desenvolvidos, com o principal objetivo de buscar minimizar os efeitos indesejáveis observados na EMCA. (VERSTRAATEN et al. 2010)

Alguns desses modelos de aparelhos ósseo-suportados, foram desenvolvidos e aplicados em estudos clínicos e puderam demonstrar eficiência em seu tratamento, não apresentando as principais complicações observadas nos outros tipos e aparelho. (GERLACH & ZALH, 2005; FERNÁNDEZ-SANROMÁN et al, 2010; KOUDSTAAL ET AL. 2009)

Em contrapartida, outros autores não constataram diferenças significantes entre os aparelhos de ancoragens dentárias quando comparados ao aparelho ósseo-suportado. Os estudos mostraram efeitos semelhantes, produzidos a longo

prazo, tanto no esqueleto facial como em deslocamentos dentários e em taxas de recidivas do tratamento. (KOUDESTAAL et al. 2009b; NADA et al 2012)

Como constatado por Sangsari e colaboradores, (2016) a maior parte das pesquisas realizadas para avaliar os efeitos da EMCA nos últimos anos são baseadas, principalmente, nos estudos de tomografias computadorizadas, modelos de estudo, radiografias convencionais e cefalometrias. Portanto ressalta-se a importância de trabalhos como este baseados em modelos de elementos finitos.

Han, Kim e Park (2009) utilizando o método de análise de elementos finitos, encontraram que a separação do processo pterigoide é um procedimento eficaz para aumentar a expansão da maxila, com menores efeitos colaterais para os dentes de apoio do aparelho distrator. Já no estudo de Marchetti et al. (2009), mesmo com a separação das placas pterigoides, mostrou um índice de recidiva de 28% na distância entre caninos e, de 36% na distância entre molares após a EMCA. Esses achados divergentes levaram Koudstaal et al. (2005) a afirmar que as considerações de risco e benefício, associada à presença de recidiva em todas as técnicas, indicam que é possível optar pela não separação das placas pterigoides (GLASSMAN et al., 1984; KOUDESTALL et al., 2005; SANT'ANA et al., 2016; ARAS et al., 2010; DEEB et al., 2010; SEEBERGER et al., 2010; ZAMBON et al., 2012).

Shetty et al (1994) utilizaram testes biomecânicos com modelos fotoelásticos, para mostrar a distribuição das forças de stress durante a EMCA, utilizando aparelho dento-suportado. Concluíram que as suturas pterigomaxilar e intermaxilar, formam os sítios anatômicos primários de resistência às forças de expansão, assim como os pilares de reforços da face que representam os principais impedimentos para a expansão da maxila e que o padrão de distribuição das tensões tornou-se mais superior, após osteotomia pterigomaxilar.

Assis et al. (2011), avaliaram modelos virtuais de 4 variações de osteotomia por meio do método de análise dos elementos finitos, simulando 1 mm de ativação do aparelho. Os autores afirmaram que tanto a liberação da sutura pterigomaxilar, quanto a confecção do degrau no pilar zigomático, atenuam a dissipação de esforço nocivo durante a EMCA quando utilizado aparelho dento-muco-suportado, assim como descrito por Betts et al. (1994). Entretanto, foram avaliadas as tensões

produzidas no início da EMCA em simulação digital, mas não os resultados em situações clínicas, que exigem maior expansão.

Mais recentemente, Assis et al. (2014) realizaram um estudo utilizando o método de análise de elementos finitos para avaliar a distribuição das tensões nos dentes de apoio do distrator palatino dento-muco-suportado, produzidas durante a EMCA, variando a técnica de osteotomia em 5 modelos virtuais. Em todos os modelos analisados, ocorreu a concentração de tensões, traduzidas por compressão e tração, nos dentes pilares do aparelho. Esta concentração foi dissipada de maneiras distintas pelos ossos da face de acordo com a técnica utilizada. De maneira geral, essas tensões tendem a pressionar os dentes em direção méso-vestibular (pré-molares) e disto-vestibular (molares). Nos modelos onde a simulação da cirurgia não envolvia a disjunção do processo pterigoide, observou-se maior concentração de tensões nos dentes de apoio, deslocando-os em direção vestibular. Da mesma forma, observaram que a osteotomia com degrau produziu maior distribuição de tensões aos dentes, em comparação com a osteotomia linear.

O achado possivelmente é resultado dos contatos entre as paredes ósseas do degrau, simuladas nos modelos gerados após o deslocamento, uma vez que não foram observados no modelo sem degrau. O estudo mostrou que a osteotomia Le Fort I subtotal com osteotomia da sutura intermaxilar e da sutura pterigomaxilar bilateralmente, deve ser a técnica de escolha quando busca-se reduzir tensões aos dentes. Portanto, a osteotomia subtotal Le Fort I linear, combinada com a osteotomia da sutura intermaxilar e disjunção pterigomaxilar parece ser a técnica de escolha para reduzir tensões nos dentes de suporte (ASSIS et al. 2014). O presente estudo procurou então avaliar a mesma dissipação de tensão em um modelo adaptado de Assis et al 2011 relacionando o aparelho ósseo-suportado a osteotomia reta, descendente e disjunção da sutura pterigomaxilar. Diferentemente desses autores o modelo utilizado demonstrou uma maior concentração de tensões na região de osso alveolar principalmente na região posterior ao pré-molar até a região de tuberosidade, contudo, com menor distribuição de forças aos dentes adjacentes.

Assim, sugere-se a vantagem na escolha do aparelho ósseo-suportado, visto que as forças que se dissipam pelos ossos tendem a afetar pouco os dentes próximos a região de ancoragem do aparelho, o que clinicamente pode significar

menor movimentação dentária. Uma vez que diminui a dissipação das tensões no ligamento periodontal provocadas pelos aparelhos com ancoragem dentária, diminui também a força transmitida ao processo alveolar e conseqüentemente a inclinação dentária. (BISHARA & STALEY, 1987; GAUTHIER et al. 2011)

Tal padrão de dissipação de tensão pode também estar relacionado com a tendência de inclinação dos segmentos ósseos da maxila com maior abertura transversal na região de rebordo comparada à região de soalho da cavidade nasal, como relatado por Zandi et al (2016) e Asscherickx et al (2016).

Bell e Epker (1976), afirmaram que a expansão de maxila exclusivamente ortopédica em adultos é frequentemente associada a efeitos secundários indesejados, como a dificuldade na obtenção da expansão óssea desejada e a movimentação dentária e inclinação do osso alveolar, que mesmo sendo realizada a sobrecorreção compensatória da discrepância, torna a ocorrência de recidivas (dentárias) após a remoção do aparelho expansor um evento imprevisível e incontrolável. A recidiva, por sua vez é relacionada com a rotação e o deslocamento dental. Entretanto, outros autores concordam que essas alterações tornam necessária uma sobrecorreção para compensar a recidiva dentária que provavelmente ocorreria (CHUNG, GOLDMAN, 2004). Tais fatos também foram observados por Chamberland e Proffit (2008) mostrando em sua pesquisa que mais da metade do montante da expansão da maxila está relacionada a movimentações dentárias, quando utilizados aparelhos dento-suportados.

Entende-se que quanto maior a distribuição de forças para os dentes maior será o deslocamento e inclinação dentária e conseqüentemente maior a probabilidade de recidiva da expansão obtida. Considerando essa uma recidiva dentária, não uma recidiva esquelética. Logo, é importante ressaltar, que a escolha do tipo de aparelho utilizado tem grande influência sobre tais efeitos da EMCA. Associado a isso, as técnicas cirúrgicas mais conservadoras, que induzem a maiores tensões dentais, podem estar ligadas a maior taxa de recidiva. Preferencialmente, realiza-se a técnica da osteotomia Le Fort I subtotal, no qual faz-se a osteotomia de todas as suturas da maxila, sem, entretanto, mobilizá-la completamente (BELL; EPKER 1976; GONÇALES, 2011; ASSIS et al., 2014).

Com um modelo de estudo bastante semelhante ao presente trabalho, Gonçalves et al. 2013 puderam mostrar, em um de seus modelos (M5), a distribuição de tensão de tração e compressão se dissipando do aparelho dento-muco-suportado para os dentes de apoio e conseqüentemente para o esqueleto facial. Com esses resultados foi provado que tais forças são capazes de causar movimentações dentárias dos dentes suportes, aumentando assim o risco de complicações dentárias. Em contrapartida nosso estudo utilizando o mesmo modelo de MEF, com a confecção do distrator ósseo palatino, provou que a dissipação das tensões de tração e compressão são distribuídas com maior intensidade do aparelho para os ossos alveolares e de forma mais amena pelos dentes adjacentes aos apoios do aparelho. Portanto, quando se busca reduzir tensões distribuídas aos dentes, o aparelho ósseo-suportado pode ser mais útil na redução das complicações dentárias da EMCA, assim como na taxa de recidiva de ordem dentária. Associado a isso, a combinação da osteotomia Le Fort I subtotal com a osteotomia da sutura intermaxilar e com a disjunção do processo pterigomaxilar, deve ser a osteotomia de escolha objetivando a mesma finalidade.

A dificuldade em se conseguir realizar um estudo reunindo todas as características adequadas para uma profunda avaliação dos efeitos da EMCA comparando técnicas cirúrgicas e os tipos de aparelhos utilizados, fazem do MEF uma ferramenta de simulação viável e acessível ao cirurgião dentista que vem com o tempo se mostrando confiável. Portanto, pode-se enfatizar a dificuldade em compreender as alterações produzidas pela EMCA sem o auxílio de uma avaliação tecnológica associada. (VERSTRAATEN, et al. 2010)

Outro componente avaliado nessa pesquisa foi a distribuição das tensões ao longo do aparelho ósseo-suportado, por meio da tensão de Von Mises. Os resultados mostraram uma grande concentração de tensão na haste do aparelho, entre o corpo e a extremidade, mostrando o local de maior fragilidade desse sistema. Por conta dos parafusos de ancoragem do aparelho estarem posicionados de forma a permanecerem mais neutros não foram observado tensões transmitidas para essa estrutura. Uma vez que o posicionamento desse parafusos em uma situação clínica real aconteça de forma diferente, esses parafusos não atuam de forma neutra como visto em nosso estudo. O que pode justificar as intercorrências relacionadas aos aparelhos vistos por Ramieri et al (2005), representados pelas

perdas dos parafusos de fixação ou do módulo dos aparelhos. Os autores descrevem também complicações como úlceras em mucosa palatina. No presente trabalho observamos, ao avaliar as imagens da tensão mínima principal, áreas de compressão concentradas na região de apoio da plataforma do aparelho. Essa compressão pode justificar a ocorrência dessas complicações.

Uma peculiaridade para a construção virtual do distrator ósseo foi com relação à geometria das estruturas referentes às partes articuladas do aparelho, essas tiveram que ser alteradas para a aplicação desse modelo de EF. Nesse caso, a estrutura do pino de articulação foi considerada com sua superfície arredondada, já que nos modelos reais essa estrutura tem a extremidade com características poligonais. Tais simplificações foram necessárias para que a simulação dos movimentos entre os componentes articulares ficassem livres de interferências indesejadas.

Os estudos de Lee et al. (2014) mostraram a importância da realização das osteotomias para o tratamento com EMCA, pois segundo os autores, existe uma diminuição significativa de tensão nas estruturas craniofaciais. Puderam mostrar também que para o uso dos aparelhos ósseo-suportados, são necessárias as realizações das osteotomias, uma vez que promovem uma dissipação de esforços para as regiões infraorbitárias, toda extensão entre a ENA e ENP e base de crânio. Alguns desses achados puderam ser observados na presente pesquisa, principalmente relacionados a dissipação de tensões na região palatina e região posterior. Mesmo o modelo contendo apenas partes das estruturas craniofaciais modeladas a comparação entre diferentes osteotomias feitas por Gonçalves et al. (2013) evidencia o comportamento das tensões descritas pelos autores.

Esses achados podem explicar a ocorrência de complicações descritas na literatura como fraturas de base de crânio resultando em uma fístula carótido-cavernosa e também fraturas no teto de seio esfenóide, resultando em paralisia parcial do nervo óculomotor. (LANIGAN & MINTZ 2002, CARNEIRO JUNIOR et al. 2013)

Embora os estudos clínicos tenham fornecido resultados úteis, tem sido limitada uma avaliação precisa e a longo prazo dos efeitos biomecânicos das forças

ortopédicas sobre as estruturas ósseas internas, incluindo as suturas do complexo craniofacial. (LEE et al. 2014)

Silva et al. 2009 mostram o crescente uso dos métodos de elementos finitos na odontologia, o qual já faz parte de um modelo de estudo bem estabelecido frente a avaliação da distribuição de tensão nos ossos maxilares na EMCA, porém estudos relacionados aos tipos de aparelhos expansores ósseo-suportados ainda não estão bem delineados. A presente pesquisa procurou entender como são distribuídas as forças de tração e compressão dissipadas pelas estruturas ósseas e pelos dentes apresentando resultados condizentes com outros trabalhos. Além disso, pudemos observar o local de maior tensão relacionado ao próprio aparelho expensor.

O método dos elementos finitos ficou conhecido por este termo em 1960, apesar das origens matemáticas serem do fim do século XVIII (Manda et al. 2009), passou a ser utilizado para análises estruturais nas áreas de bioengenharia, incluindo modelos aplicados na odontologia e medicina. (GONÇALES ET AL., 2007; SHETTY ET AL. 1994; KOUDSTAAL et al. 2009B; GONÇALES 2011; HAN et al. 2009)

De forma geral, o MEF é definido como um método matemático, no qual um meio contínuo é subdividido em elementos que mantêm as propriedades de quem os originou. Esses elementos são descritos por equações diferenciais e resolvidos por modelos matemáticos para que sejam obtidos os resultados desejados. Assim é possível fazer o estudo das cargas aplicadas às estruturas de interesse, podendo indicar aspectos mecânicos de biomateriais e tecidos humanos que dificilmente poderiam ser avaliados clinicamente. (LOTTI et al. 2006, SILVA et al. 2009)

Pela grande inserção do método na área da saúde, Silva et al em 2009 realizaram um levantamento da literatura para investigar a produção científica nacional e internacional da aplicação do MEF na área odontológica. Concluíram que o método de elementos finitos se trata de uma ferramenta consistente na odontologia devido a determinados aspectos em comum entre a mesma e a ciência da engenharia. Dentre essas aplicações, as áreas da implantodontia, ortodontia e prótese ganham destaque em relação as outras.

Algumas das vantagens da utilização do MEF em relação as técnicas experimentais em humanos e/ou animais podem ser decorrentes da variabilidade de fatores que podem conduzir ao erro como, inabilidade de calcular precisamente a distribuição de tensão no ligamento periodontal, ocorrência de falhas durante o controle do tipo de movimento dentário, dificuldade de avaliação de todas as fases do movimento e presença de grandes variações individuais dificultando a análise dos dados. Assim, com a utilização do MEF, torna-se possível a aplicação de um sistema de forças em qualquer ponto ou direção, gerando informações relacionadas aos deslocamentos dentários e a quantidade de tensões aplicadas às estruturas dentárias ou tecidos analisados. (LOTTI et al. 2006)

Por conta dessas características e propriedades, o MEF vem sendo uma das ferramentas utilizadas por alguns autores para auxiliar na análise do comportamento das estruturas craniofaciais de indivíduos com deformidades faciais esqueléticas, quando submetidas a expansão de maxila cirurgicamente assistida, principalmente no que diz respeito à comparação entre as diferentes técnicas cirúrgicas preconizadas e os tipos de aparelhos empregados em cada uma delas. (JAFARI; SHETTY; KUMAR et al., 2003; SHETTY; HEGDE; RAI, 2009; BOYOR; ASSIS et al., 2011; ASSIS et al., 2014; GONÇALES, 2011). A aplicação do método permite determinar os efeitos localizados da concentração de tensões, por meio da representação precisa e controlada de geometrias complexas, considerando as propriedades distintas presentes em materiais diferentes. Dessa forma, a análise dos elementos finitos é um método valioso para estudar as forças resultantes dos vetores de distração osteogênica na maxila (SHETTY et al., 1994; LOTTI et al., 2006).

Contudo ainda se fazem necessários mais estudos que avaliem como poderia ser o comportamento do osso maxilar deslocado diante do constante esforço gerado nos pontos de maior concentração das tensões de tração e compressão, uma vez que o modelo simula a reação dessas estruturas apenas em sua movimentação inicial. Existem dificuldades técnicas em se criar modelos mais complexos que possam contemplar seus efeitos a longo prazo. Assim, fica clara a necessidade de se criar modelos que possam simular os efeitos da EMCA.

As tensões produzidas pelos aparelhos expansores durante a EMCA, são transmitidas aos ossos pelos dentes de apoio dos aparelhos dento-suportados e dento-muco-suportados, (HAAS 1961; GARIB et al. 2006; BRETOS et al. 2007; LODDI et al. 2008; HINO et al. 2008) e diretamente ao osso (nos aparelhos ósseos-suportados) (RAMIERI et al. 2005, GERLACH & ZAHL, 2005; KOUDSTAAL et al. 2006; KOUDSTAAL et al. 2009a; FERNÁNDEZ-SANROMÁN et al. 2010). Starnbach et al. (1966) relataram que o dente de suporte movimenta-se em direção ao movimento expansivo e, segundo Bell & Epker (1976), a expansão de maxila exclusivamente ortopédica em adultos, pode empurrar os dentes lateralmente através do osso, sem abertura da sutura palatina mediana, sendo que movimentação dentária e inclinação do osso alveolar são consequências comuns dessa terapia.

De forma geral, quando analisamos os resultados encontrados na literatura da EMCA com os efeitos dos aparelhos de ancoragem dentária, podemos dizer que as vantagens com relação ao uso dos aparelhos ósseo-suportados puderam ser observadas e ressaltadas pelos resultados desta pesquisa. Contudo, é importante salientar que esses dados são oriundos da análise de uma simulação de modelo virtual, portanto, não devem ser fielmente transportados para as condições clínicas reais. Uma vez que tais resultados também são referentes apenas ao comportamento inicial dos efeitos da EMCA, estudos como estes não deixam muito claro como poderia ser o comportamento dos ossos maxilares deslocados diante do constante esforço gerado nos pontos de maior concentração de tensão de tração e compressão.

Apesar das limitações do método, ocasionadas pela simplificação dos modelos, os resultados apresentados mostraram coerência com os achados na literatura nos diferentes aspectos analisados, mostrando uma tendência de menor transmissão de tensão para os dentes do rebordo alveolar, consequentemente levando a um menor risco de complicações. Mesmo acreditando na diminuição dos efeitos nas inclinações dentárias, mostrados nesse estudo, é importante ressaltar que tais complicações ainda não estão completamente descartadas com a utilização dos aparelhos ósseo-suportados, como salientado por Koudstaal et al. (2006) e Koudstaal et al. (2009b).

7 Conclusões

7 CONCLUSÕES

De acordo com a metodologia utilizada e com base nos resultados apresentados, podemos concluir que:

- A transmissão das tensões resultantes da utilização do aparelho expensor ósseo-suportado, parece não ser suficientes para causar deslocamento dentário significativo.
 - A utilização do expensor ósseo-suportado pode ser considerado como uma opção viável em casos extremos onde a movimentação dentária causada pela expansão seja mais crítica.
 - Levando em consideração o posicionamento ideal dos parafusos de ancoragem do aparelho, a parte mais frágil e mais suscetível à falha do sistema fica relacionada a haste que conecta o corpo com a extremidade do distrator.
-

Referências

REFERÊNCIAS

Alpern MC, Yurosko JJ. Rapid palatal expansion in adults: with and without surgery. *Angle Orthod.* 1987; 57(3): 245-263.

Aras A, Akay MC, Cukurova I, et al: Dimensional changes of the nasal cavity after transpalatal distraction using bone-borne distractor: An acoustic rhinometry and computed tomography evaluation. *J Oral Maxillofac Surg* 68:1487, 2010

Araugio RMS, Landre, Jr, Silva DLA, Pacheco W, Pithon MM, Oliveira, DD. Influence of the expansion screw height on the dental effects of the hyrax expander: A study with finite elements. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 2013; 143 (2): 221-227

Asscherickx K, Govaerts E, Aerts J, Vannetd BV. Maxillary changes with bone borne surgically assisted rapid palatal expansion: A prospective study. *Am J of Orthod and Dentofacial Orthopedics.* 2016; 149(3); 374-383.

Assis DS , Xavier TA , Noritomi PY, Gonçalves ES. Finite element analysis of bone stress after SARPE. *J Oral Maxillofac Surg.* Jan; 72(1):167.e1-7. 2014.

Assis DS, Duarte MA, Gonçalves ES. Clinical evaluation of the alar base width of patients submitted to surgically assisted maxillary expansion. *Oral Maxillofac Surg.* 2010;14(3):149-54.

Assis DS, Ribeiro PD Jr, Duarte MA, Gonçalves ES. Evaluation of the mesio-buccal gingival sulcus depth of the upper central incisors in patients submitted to surgically assisted maxillary expansion. *Oral Maxillofac Surg.* 2010.

Assis DSFR. Análise de elementos finitos da distribuição das tensões em maxila submetida à expansão de maxila cirurgicamente assistida. [Tese]. Bauru (SP): Universidade do Sagrado Coração; 2011.

Babacan H, Sokucu O, Doruk C, Ay S. Rapid maxillary expansion and surgically assisted rapid maxillary expansion effects on nasal volume. *Angle Orthod.* 2006; 76(1): 66–71.

Basdra EK, Zoller JE, Komposh G. Surgically assisted rapid palatal expansion. *J Clin Prthod.* 1995; 29(12):762-766.

Bays RA, Greco JM. Surgically assisted rapid palatal expansion: an outpatient technique with long-term stability. *J Oral Maxillofac Surg.* 1992; 50(2):110-113.

Bell RA. A review of maxillary expansion in relation to rate of expansion and patient's age. *Am J Orthod.* 1982; 81(1): 32-37.

Bell WH, Epker BN. Surgical-orthodontic expansion of the maxilla. *Am J of Orthod.* 1976; 70(5): 517-528.

Bell WH, Jacobs JD. Surgical-orthodontic correction of horizontal maxillary deficiency. *J Oral Surg.* 1979;37:897-902.

Betts NJ, Vanarsdall RL, Barber HD, Higgins-Barber K, Fonseca RJ. Diagnosis and treatment of transverse maxillary deficiency. *Int J Adult Orthod Orthogath Surg.* 1995; 10(2): 75-96.

Bishara SE, Staley RN. Maxillary expansion: clinical implications. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1987; 91(1): 3-14.

Boyor A, Hohmann A, Wunderlich A, Geiger M, Kilic F, Sander M, et al. In-vitro results of rapid maxillary expansion on adults compared with finite element simulations. *J Biomech.* 2010; 43:1237-1242.

Buck LM, Dalci O, Darendeliler MA, Papadopoulou AK. Effect of Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion on Upper Airway Volume: A Systematic Review. *J Oral Maxillofac Surg.* 2016; 74(5):1025-43.

Byloff FK, Mossaz CF. Skeletal and dental changes following surgically assisted rapid palatal expansion. *European J Orthod.* 2004; 26(4): 403-409.

Callister Júnior WD. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 5ª ed. São Paulo: LTC; 2002.

Capelozza Filho L.; Silva Filho, O. G. Expansão rápida da maxila: considerações gerais e aplicação clínica - Parte I. *Rev Dent Press Ortodon Ortoped Facial.* 1997; 2: 88-104.

Carneiro-Junior JT, Paschoal EHA, Carreira ASD, Real RPV. Carotid cavernous fistula after surgically assisted rapid maxillary expansion with a bone anchored appliance. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2013; 42: 326–328

Catteneo PM, Dalstra M, Melsen B. Strains in periodontal ligament and alveolar bone associated with orthodontic tooth movement analysed by finite element. *Orthod Craniofac Res.* 2009; 12:120-128.

Chamberland S, Proffit WR. Closer look at the stability of surgically assisted rapid palatal expansion. *J Oral Maxillofac Surg.* 2008; 66:1895-1900.

Chuah C, Mehra P. Bilateral Lingual anesthesia following surgically assisted rapid palatal expansion: report of a case. *J Oral Maxillofac Surg.* 2005; 63:416–418.

Chung CH, Goldman AM. Dental tipping and rotation immediately after surgically assisted rapid palatal expansion. *Eur J Orthod.* 2004; 25(4):353-358.

Deeb W, Hansen L, Hotan L, Hietschold V, Harzer W, Tausche E. Changes in nasal volume after surgically assisted bone-borne rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 137:782-9.

Fernández-Sanromán J, Nascimento MG, López AC, Ferro MF, Berrondo IA. Transverse maxillary distraction in patients with periodontal pathology or insufficient tooth anchorage using custom-made devices. *J Oral Maxillofac Surg.* 2010; 68:1530-1536.

Garib DG, Henriques JFC, Janson G, Freitas MR, Fernandes AY. Periodontal effects of rapid maxillary expansion with tooth-tissue-borne and tooth-borne expanders: A computed tomography evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006; 129:749-758.

Gautam P, Valiathan A, Adhikaric R. Craniofacial displacement in response to varying headgear forces evaluated biomechanically with finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009a; 135:507-15.

Gautam P, Zhaob L, Patelc P. Determining the osteotomy pattern in surgically assisted rapid maxillary expansion in a unilateral palatal cleft. A finite element model approach. *Angle Orthod.* 2011; 81:410–419.

Gauthier C, Voyer R, Paquette M, Rompré P, Papadakis A. Periodontal effects of surgically assisted rapid palatal expansion evaluated clinically and with cone-beam computerized tomography: 6-month preliminary results. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011; 139:117-128.

Gerlach KL, Zahl C. Surgically assisted rapid palatal expansion using a new distraction device: report of a case with an epimucosal fixation. *J Oral Maxillofac Surg.* 2005; 63:711-713.

Glassman AS. Conservative surgical orthodontic adult rapid palatal expansion: sixteen cases. *Am J Orthod.* 1984;86:207-213.

Gonçales E; Ferreira - Junior O; Carvalho PSP. Finite element analysis of stress distribution in anchor teeth in surgically assisted rapid palatal expansion. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, v. 42, p. 1093-1099, 2013.

Gonçales ES, Assis DSFR, Capelozza ALA, Alvares LC. Estudo radiográfico digital indireto do efeito da expansão de maxila cirurgicamente assistida (EMCA) sobre o septo nasal. *R Dental Press Ortodon Ortop Facial.* 2007; 12(5):85-91.

Gonçales ES. Análise da distribuição das tensões dentárias em maxila submetida a expansão cirurgicamente assistida [Livre Docência]. Faculdade de Odontologia de Bauru – USP. 2011.

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 Craniomaxillofac Surg.* 2009; 37:145-154.

Hass AJ. Rapid expansion of the maxillary dental arch and nasal cavity by opening the midpalatal suture. *Angle Orthod.* 1961;31(2):73-90.

Hino CT, Pereira MD, Sobral CS, Kreniski TM, Ferreira LM. Transverse effects of surgically assisted rapid maxillary expansion: a comparative study using Haas and Hyrax. *J Craniofac Surg.* 2008; 19(3): 718-725.

Holberg C, Steinhäuser S, Rudzki I. Surgically assisted rapid maxillary expansion: midfacial and cranial stress distribution. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007; 132:776-82.

Holberg C, Steinhäuser S, Rudzik-Janson I. Rapid maxillary expansion in adults: cranial stress reduction depending on the extend of surgery. *European J Orthod.* 2007; 29:31-36.

Jafari A, Shetty KS, Kumar M. Study of stress distribution and displacement of various craniofacial structures following application of transverse orthopedic forces: a three-dimensional FEM study. *Angle Orthod* 2003; 73:12–20.

Julio PF. Comparação da distribuição de tensão de três modelos de tratamento de mandíbulas edêntulas através do método de elementos finitos [tese]. Bauru (SP): Faculdade de Odontologia, Universidade do Sagrado Coração; 2011.

Karan LZ. Caracterização de um fêmur sintético empregando o método dos elementos finitos e validação por extensometria óptica [dissertação]. Curitiba (PR): Faculdade de Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná; 2009.

Kilic E, Kilic B, Kurt G, Sakin C, Alkan A. Effects of surgically assisted rapid palatal expansion with and without pterygomaxillary disjunction on dental and skeletal structures: a retrospective review. *Oral and Maxillofacial Surgery*. 2013; 155(2); 167-174

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

Koudstaal MJ, van der Wal KGH, Wolvius EB, Schulten AJM. The Rotterdam palatal distractor: introduction of the new bone-borne device and report of the pilot study. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg*. 2006; 35: 31–35.

Koudstaal MJ, Wolvius EB, Schulten AJM, Hop WCJ, van der Wal KGH. Stability, tipping and relapse of bone-borne versus tooth-borne surgically assisted rapid maxillary expansion; a prospective randomized patient trial. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg*. 2009b; 38: 308–315.

Lai KP. Análise das tensões resultantes da disjunção rápida de maxila em estruturas esqueléticas e dentais utilizando um disjuntor modificado para mordidas cruzadas unilaterais posteriores verdadeiras pelo método de elementos finitos. [tese]. Campinas (SP): São Leopoldo Mandic; 2010.

Lanigan DT, Mintz SM. Complications of surgically assisted rapid palatal expansion: review of the literature and report of a case. *J Oral Maxillofac Surg*. 2002; 60:104-110.

Laudemann K, Petruchin O, Mack MG, Kopp S, Sader R, Landes CA. Evaluation of surgically assisted rapid maxillary expansion with or without pterygomaxillary disjunction based upon preoperative and post-expansion 3D computed tomography data. *Oral Maxillofac Surg*. 2009; 13:159–169.

Lee H, Ting K, Nelson M, Sun N, Sungc SJ. Maxillary expansion in customized finite element method models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 136:367-74.

Lee SC, Park JH, Bayome M, Kim KB, Araujo EA, Kook Y. Effect of bone-borne rapid maxillary expanders with and without surgical assistance on the craniofacial structures using finite element analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2014; 145(5); 638–648

Lehman JA, Hass AJ, Hass DG. Surgical Orthodontic correction of transverse maxillary deficiency: a simplified approach. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 1984; 73(1):62-66. Cattaneo et al 2009

Lima SM Júnior, Moraes M, Asprino L. Photoelastic analysis of stress distribution of surgically assisted rapid maxillary expansion with and without separation of the pterygomaxillary suture *J Oral Maxillofac Surg*. 2011; 69:1771-1775.

Loddi P, Pereira MD, Wolosker AB, Hino CT, Kreniski TM, Ferreira LM. Transverse effects after surgically assisted rapid maxillary expansion in the midpalatal suture using computed tomography. *J Craniofacial Surg*. 2008;19(2):433-438.

Lotti RS, Machado AW, Mazzeiro ET, Landre Júnior J. Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos. *Rev Dental Press Ortod Ortop Facial*. 2006; 11(2):35-43

Manda M, Galanis C, Georgiopoulos V, Provatidis C, Koidis P. Effect of severely reduced bone support on the stress field developed within the connectors of three types of cross-arch fixed partial dentures. *J Prosthet Dent*. 2009; 101(1):54-65.

Marchetti C, Pironi M, Bianchi A, Musci A. Surgically assisted rapid palatal expansion vs. segmental Le Fort I osteotomy: transverse stability over a 2-year period. *J Cranio-Maxillofacial Surg*. 2009; 37:74-78.

Nada, RM; Fudalej, PS; Maal, TJJ; Bergé, SJ; Mostafa, YA; Kuijpers-Jagtman AM. Three-dimensional prospective evaluation of tooth-borne and bone-borne surgically assisted rapid maxillary expansion. *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery* .40, 757-762, 2012

Nary H Filho, Gonçalves ES, Ribeiro Junior, PD. Abordagem cirúrgica voltada para a estética. *Rev Biodonto*. 2004; 1(1):2-11.

Oliveira EJ. *Biomecânica básica para ortodontistas*. Belo Horizonte: UFMG, 2000.

Oliveira TFL. Avaliação da influência do septo nasal na expansão de maxila cirurgicamente assistida por meio de tomografia computadorizada de feixe cônico. [Tese de Doutorado]. Faculdade de Odontologia de Bauru – USP. 2014

Oliveira TFM, Pereira Filho VA, Gabrielli MAC, Gonçalves ES, Santos-Pinto A. Effects of lateral osteotomy on surgically assisted rapid maxillary expansion. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg*. 2016; 45: 490–496

Phillips C, Medland WH, Fields HW, Proffit WR, White RP. Stability of surgical maxillary expansion. *Int J Adult Orthognath Surg.*1992; 7:139 - 146.

Ramieri GA, Spada MC, Austa M, Bianchi SD, Berrone S. Transverse maxillary distraction with a bone-anchored appliance: dento-periodontal effects and clinica and radiological results. *Int. J. Oral Maxillofac.Surg.* 2005; 34: 357–363.

Ribeiro PD Jr, Gonçalves ES, Souza PCU, Nary H Filho, Luz JGC. Avaliação clínica dos procedimentos de expansão cirurgicamente assistida de maxila (ECAM). *R Dental Press Ortodon Ortop Facial.* 2006; 11(1):44-49.

Salgueiro DG, Rodrigues VHLO, Tieghi Neto V, Menezes CC, Gonçalves ES, Ferreira Júnior O. Evaluation of opening pattern and bone neoformation at median palatal suture area in patients submitted to surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME) through cone beam computed tomography. *J Appl Oral Sci.* 2015; 23(4):397-404

Sangsari AH, Sadr-Eshkevari P, Al-Dam A, Friedrich RE, Freymiller E, Rashad A. Surgically Assisted Rapid Palatomaxillary Expansion With or Without Pterygomaxillary Disjunction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Oral Maxillofac Surg* 74:338-348, 2016

Sant'Ana LF, Pinzan-Vercelino CR, Gurgel JA, Carvalho PSP. Evaluation of surgically assisted rapid maxillary expansion with and without midpalatal split. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2016 Aug; 45 (8): 997-1001.

Santiago-Junior JF, Verri FR, Almeida DAF, Batista VES, Lemos CAA, Pellizzer EP. Finite element analysis on influence of implant surface treatments, connection and bone types. *Materials Science and Engineering C.* 2016; 63; 292–300

Schwarz GM, Trash, WJ, Byrd DL, Jacobs, JD. Tomographic assessment of nasal septal changes following surgical-orthodontic rapid maxillary expansion. *Amer J Orthod,* 1985; 87(1)39-45.

Seeberger R, Kater W, Davids R, Thiele O. Long term effects of surgically assisted rapid maxillary expansion without performing osteotomy of the pterygoid plates. *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery.* 2010; 38, 175-178.

Shetty P, Hegde AM, Rai K. Study of stress distribution and displacement of the maxillary complex following application of forces using jackscrew and nitanium palatal expander 2 – a finite element study. *J Clin Pediatr Dent.* 2009; 34(1):87-94.

Shetty V, Caridad JM, Caputo AA, Chaconas SJ. Biomechanical rationale for surgical-orthodontic expansion of the adult maxilla. *J Oral Maxillofac Surg.* 1994;52(7):742-749.

Silva BR, Silva Júnior FI, Moreira Neto JJS, Aguiar ASW. Aplicação do Método de Elementos Finitos em Odontologia: análise das publicações científicas de 1999 a 2008. *Int J Dent, Recife,* 2009; 8(4):197-201.

Starnbach H, Bayne D, Cleall J, Subtelny JD. Facioskeletal and dental changes resulting from rapid maxillary expansion. *Ang Orthod v.* 36, p.152-164, 1966.

Verstraaten J, Kuijpers-Jagtman AM, Mommaerts MY, Berge SJ, Nada RM, Schols JGJH. A systematic review of the effects of bone-borne surgical assisted rapid maxillary expansion. *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery.* 2010; 38, 166-174.

Yokoyama K, Ichikawa T, Murakami H, Miyamoto Y, Asaoka K. Fracture mechanisms of retrieved titanium screw thread in dental implant. *Biomaterials.* 2002 Jun;23(12):2459-65.

Zambon CE, Ceccheti MM, Utumi ER, Pinna FR, Machado GG, Peres MP, Voegels RL. Orthodontic measurements and nasal respiratory function after surgically assisted rapid maxillary expansion: an acoustic rhinometry and rhinomanometry study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2012; 41: 1120–6.

Zandi M, Miresmaeili A, Heidari A, Lamei A. The necessity of pterygomaxillary disjunction in surgically assisted rapid maxillary expansion: A short-term, double-blind, historical controlled clinical trial. *J Craniomaxillofac Surg.* 2016 Sep;44(9):1181-6.
