



ANÁLISE DE DEFORMAÇÕES EM ESTRUTURA CRANIOFACIAL DURANTE O PROCEDIMENTO DE EXPANSÃO RÁPIDA DA MAXILA EM *SUS SCROFA*

Deformation Analysis in craniofacial structure during the rapid maxillary expansion procedure in *Sus scrofa*

Vinícius Campos de Oliveira Batista (1); Kayque Euclides Moreira Soares (1) Pedro Lima Emmerich Oliveira (3); Matheus Melo Python (4); Eduardo F. Sant'Anna (5); Mônica T. Souza Araújo (6); Raphael Milanezi de Andrade (2).

- (1) Estudante de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória - ES, Brasil.
- (2) Dr. Prof., Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória - ES, Brasil.
- (3) Dr. Prof., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, Brasil.
- (4) Dr. Prof., Universidade Federal do Sudoeste da Bahia, Itapetinga - BA, Brasil.
- (5) Dr. Prof., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, Brasil.
- (6) Dra. Profa., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, Brasil.

Email para Correspondência: viniciuscob@hotmail.com; (P) Vinícius Campos de Oliveira Batista

Resumo: A necessidade de desenvolvimento de ferramentas que auxiliem no diagnóstico e planejamento dos pacientes faz da odontologia um grande campo de aplicações das ferramentas desenvolvidas na engenharia, criando grandes oportunidades de desenvolvimento de novas pesquisas e inovações tecnológicas em ambas as áreas. Por exemplo, a principal terapia para correção das atresias maxilares é pela expansão rápida da maxila (ERM), visando a abertura da sutura palatina mediana. Porém, os efeitos do tratamento permanecem questionados e ainda carecem de evidências experimentais, principalmente quando aplicado a indivíduos maduros. Nessas condições, entender a distribuição de deformações resultantes do tratamento ortodôntico na estrutura craniofacial representa um ponto chave para aprimoramento da técnica aplicada. Contudo, antes de se analisar tais deformações é preciso realizar um estudo elaborado para localizar os principais pontos onde elas atuam e quais efeitos geram na estrutura de uma forma geral. Este trabalho tem como objetivo realizar uma simulação pelo método de elementos finitos, utilizando o software ANSYS, em um modelo digital de uma estrutura craniofacial de um suíno submetida a forças semelhantes às geradas durante uma expansão rápida da maxila, com o intuito de determinar os pontos de principais deformações. Foram previamente determinados oito pontos de máxima deformação que serão usados em uma análise experimental futura com base na técnica de extensometria.

Palavras chaves: *Análise de deformação; Estrutura craniofacial; Expansão rápida da maxila; Método de elementos finitos;*



Abstract: The necessity of developing tools which assist in the diagnosis and planning of patients makes odontology a great field for application of tools developed in engineering, generating great opportunities for the development of new researches and technological innovations for both areas of expertise. For instance, the main therapy for the correction of maxillary atresias is done through rapid maxillary expansion (RME), aiming at the median palatine suture opening. However, the treatment effects remain questioned and still lack experimental evidence, mainly when applied in mature individuals. Under these conditions, understanding the distribution of deformities resulting from orthodontic treatment in the craniofacial structure represents a key point for the improvement of the applied technique. Nevertheless, before analyzing these deformities it is necessary to carry out an elaborate study to locate the most important points: where they act and what effects they have on the structure in a general way. Therefore, this article has the objective to perform a simulation by the finite element method, using ANSYS software in a swine craniofacial structure digital model, submitted against forces similar to those applied during the rapid maxillary expansion, with the purpose of determining the major deformity points. It was determined eight points of maximum deformity that will be used in a future experimental analysis based on the extensometry technique.

Keywords: *Deformation Analysis; Craniofacial Structure; Rapid Maxillary Expansion; Finite Element Method;*



1 INTRODUÇÃO

A deficiência maxilar transversa é uma deformidade maxilar frequente e, usualmente, acompanhada por mordida cruzada, estreitamento da cavidade nasal e apinhamento dentário (BARONE et al., 2016). A prevalência da mordida cruzada ocorre entre 8% e 22% dos pacientes e requer intervenção precoce para sua correção (MOSLEH et al., 2015; PETRÉN et al., 2003).

A principal terapia para correção das atresias maxilares, e a mais frequentemente utilizada, é expansão rápida da maxila (ERM) (MOSLEH et al., 2015; GARRETT et al., 2008). Vários aparelhos e protocolos de tratamentos foram desenvolvidos e utilizados para pacientes com constrição do arco maxilar. Entre os aparelhos mais conhecidos, estão os dentossuportados (do tipo hyrax) (WEISSHEIMER et al., 2011). Trata-se de um dispositivo de tratamento com efeitos esqueléticos verdadeiros para o tratamento das atresias maxilares graças à abertura da sutura palatina mediana (GARRETT et al., 2008; HAAS, 1961).

A medida em que o paciente amadurece e se torna adulto ocorre calcificação e embricamento mecânico (interdigitação) progressivos das suturas craniofaciais, incluindo a sutura palatina mediana (KNAUP et al., 2004). Por isso, a execução da ERM torna-se cada vez mais difícil a medida em que o crescimento facial aproxima-se do seu fim, uma vez que ocorre grande aumento na resistência mecânica e rigidez dessas estruturas (SUN et al., 2011; ISAACSON; INGRAM, 1964).

Uma alternativa para reduzir tais efeitos colaterais é a expansão rápida maxilar associada a ancoragem ossossuportada (mini-implant anchored palatal expander - MARPE). Esses tipos de disjuntores são suportados pelos mini-implantes ortodônticos que transmitem as forças do disjuntor diretamente ao osso basal (LEE et al., 2010; BRUNETTO et al., 2017). Estudo clínico recente utilizando a técnica demonstrou taxa de sucesso de 86.96% em pacientes adultos jovens (média de idade 20.9 ± 2.9 anos), com resultados estáveis em 30 meses de acompanhamento (LEE et al., 2010, CHOI et al., 2016). Entretanto, os efeitos puramente esqueléticos do MARPE ossossuportado ainda são questionados e ainda carecem de evidências experimentais (WINSAUER et al., 2017).

Para se compreender as mudanças biológicas do osso alveolar e das suturas maxilares frente à expansão rápida da maxila, é necessário caracterizar o comportamento das forças mecânicas recebidas por essas estruturas durante a expansão. Apesar das tomografias computadorizadas por feixe cônico (cone beam) representarem um avanço no acompanhamento de pacientes com atresia maxilar, elas ainda são limitadas e não permitem avaliações das deformações causadas pelo processo de ERM.

Os estudos pelo método de elementos finitos do *crânio humano* simulando a expansão maxilar, apontam as zonas de stress de compressão e os deslocamentos exercidos (LEE et al., 2017). Dessa forma, torna-se possível identificar deformações pontuais computacionalmente e elaborar uma análise sobre os supostos efeitos desse tipo de tratamento na estrutura craniofacial.

2 OBJETIVO

Esse artigo tem como objetivo principal simular as forças atuantes numa estrutura crânio-facial submetida ao tratamento de expansão rápida da maxila no crânio de um *Sus scrofa* durante o período de ativação de expansores ossossuportados do tipo Hyrax, utilizando o software ANSYS para identificar os pontos de principais tensões e deformações desenvolvidas durante esse processo ortodôntico.

3 METODOLOGIA

3.1 Modelo *cranio-facial de um Sus scrofa*

A estrutura cranio-facial utilizada para a geração da malha foi a de um porco doméstico (*Sus scrofa*) (Figura 1). O porco possui uma pré-maxila distinta que está ligada à maxila pela sutura incisiva. Dessa forma, se diferem da estrutura cranio-facial humana que possui a sutura incisiva completamente conectada em aspectos faciais entre 3 e 5 anos de idade e parcialmente fundida em aspectos internos e palatais até o período da adolescência (SUN et al., 2011). Apesar dessas diferenças, tratando-se de anatomia e funções biológicas, ainda assim o porco se assemelha ao ser humano, pelo menos quanto aos músculos mastigatórios e regiões maxilar, molar e zigomática (STRÖM et al., 1986).

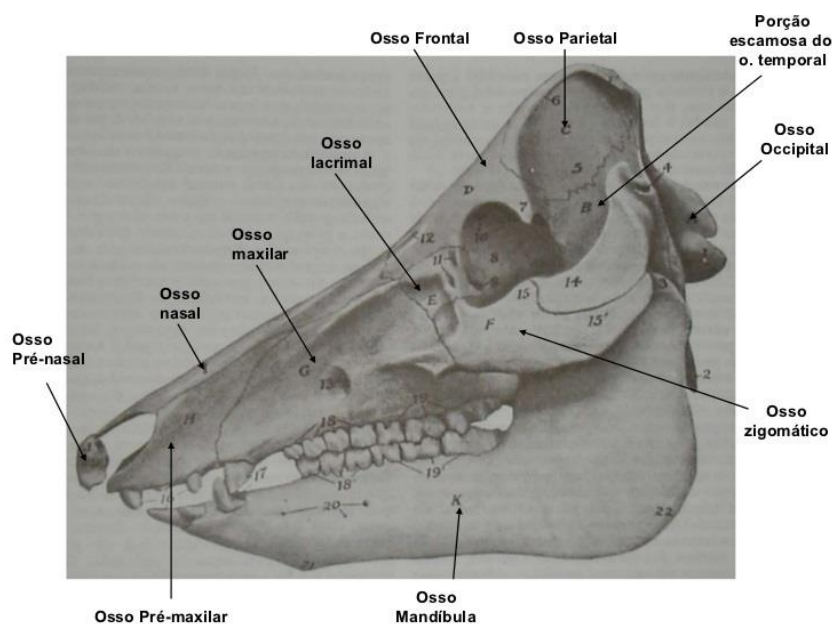


Figura 1 – Estrutura anatômica do modelo *sus scrofa* com detalhe para os ossos cranio-facias. Fonte: Anatomia dos animais domésticos; Sisson/Grossman, 1986.



Em diversos estudos relacionados a expansão rápida da palatina utilizam-se a estrutura mandibular do porco doméstico principalmente, além dos fatores citados, por sua semelhança anatômica da sutura média palatina com a dos seres humanos (HAAS, 1961; SAVOLDI et al, 2017; SUN et al, 2011). Dessa forma, o porco torna-se um modelo extremamente adequado para realização de estudos relacionados a área da ortodontia. Em projetos futuros pretende-se verificar experimentalmente, pela utilização de extensômetros, os resultados obtidos aqui através das simulações no ANSYS. Tal verificação experimental seria completamente inviável caso fosse preciso efetivá-las realizada em uma estrutura cranio-facial humana.

No intuito de obter o modelo tridimensional inicial, onde toda a simulação foi baseada, foram utilizadas imagens no formato Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM, Imageamento e Comunicações Digitais em Medicina) que foram extraídas da tomografia computadorizada realizada. Após esta etapa os arquivos foram submetidos ao software InVesalius que possui licença General Public License (GNU, Licença Pública Geral) para a conversão das imagens para o formato Standard Triangle Language (STL, Linguagem Triangular Padrão) com o objetivo de permitir que o arquivo pudesse ser manipulado no software ANSYS.

3.2 Expansor Hyrax

O melhor desempenho ortopédico e menor desconforto para o paciente são os parâmetros levados em consideração no momento da escolha do aparelho. Para isso, existem os que defendem o expansor dentossuportado (Hyrax), descrito por BIEDERMAN (BIEDERMAN, 1968), apoiado unicamente nos dentes, por ser considerado um aparelho mais higiênico, devido à ausência da resina apoiada no palato.

Os expansores dentomucossuportados, por outro lado, podem levar ao aparecimento de lesões no tecido mole, decorrentes da difícil higienização. Contudo, eles oferecem uma melhor ancoragem e maior rigidez do aparelho, levando a um desempenho melhor na transferência das forças de ativação para às bases ósseas e permitindo maior estabilidade na expansão. Por fim, existem autores (ALPERN; YUOSKO, 1987; ASANZA; CISNEROS; NIEBERG, 1997; JR; MOSCATIELLO; JR, 1999) que recomendam o expansor com cobertura de acrílico, dentossuportado, devido à facilidade de produção, instalação e ao maior controle vertical durante a ERM.

Os disjuntores apresentam um parafuso expansor (Figura 2), localizado paralelamente à sutura palatina mediana, que é ativado de forma a acumular uma quantidade significativa de forças com o objetivo de romper a resistência oferecida pela referida sutura e pelas suturas pterigopalatina, frontomaxilar, nasomaxilar e zigomático-maxilar. Devido ao caráter ortopédico do procedimento, apresenta limitação de idade para sua realização.

Após o final do crescimento ativo, a quantidade de força necessária para o rompimento da sutura fica significativamente alta, o que resulta em dor, possibilidade de fenestração radicular nos aparelhos dentossuportados ou de necrose da mucosa palatina nos aparelhos dentomucossuportados. Nesses casos, a disjunção é associada a um procedimento cirúrgico, denominado expansão cirurgicamente assistida, que rompe a resistência sutural e permite a disjunção sem os efeitos colaterais já relatados.

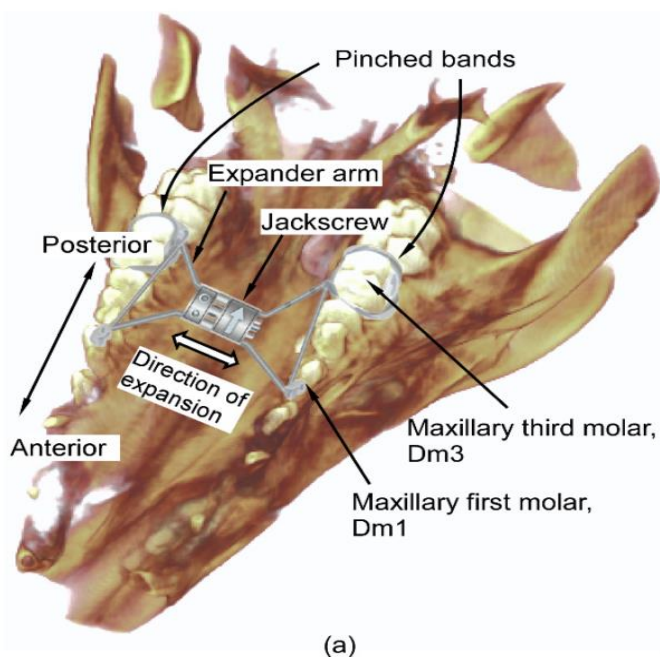


Figura 2 – Disjuntor Hyrax na estrutura cranio facial de um modelo sus scrofa. Fonte: Goeckner et al., 2016.

O disjuntor tipo Hyrax, sem a presença da porção acrílica apoiada no palato, contém somente um parafuso expansor e extensões metálicas soldadas às bandas dos primeiros molares permanentes e primeiros molares decíduos ou primeiros pré-molares e barra vestibular de aço inoxidável, conduzindo a força à maxila somente por meio dos dentes.

3.3 Análise por Elementos Finitos

Para simular as forças resultantes durante o processo de Expansão Rápida da Maxila (ERM) usando o aparelho tipo Hyrax, foram colocadas quatro (4) cargas distribuídas na região dos dentes onde o aparelho será ancorado. A Figura 3 apresenta o modelo tridimensional da estrutura crânio facial de Sus scrofa usado na simulação e a figura 4 fornece uma vista do “céu da boca”. As cargas (I e J) foram adicionadas como pontos concentrados de pressão com magnitude de 100 Pa. A simulação é do tipo estática, como condições para a fixação do modelo tridimensional para evitar o giro no momento da aplicação das cargas foi necessário fixar oito

elementos ao longo da estrutura da malha (de A a H, como indica a figura). As propriedades mecânicas adotadas para a simulação seguem conforme Tabela 1.

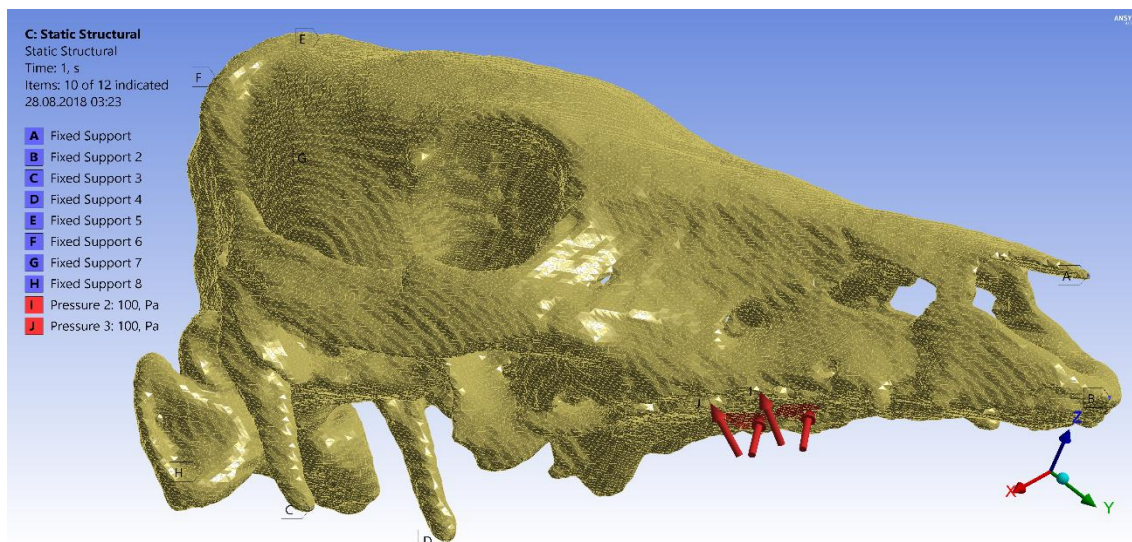


Figura 3 – Modelo Tridimensional Sus scrofa com detalhe para a região das cargas aplicadas. Fonte: Produção dos autores, 2018.

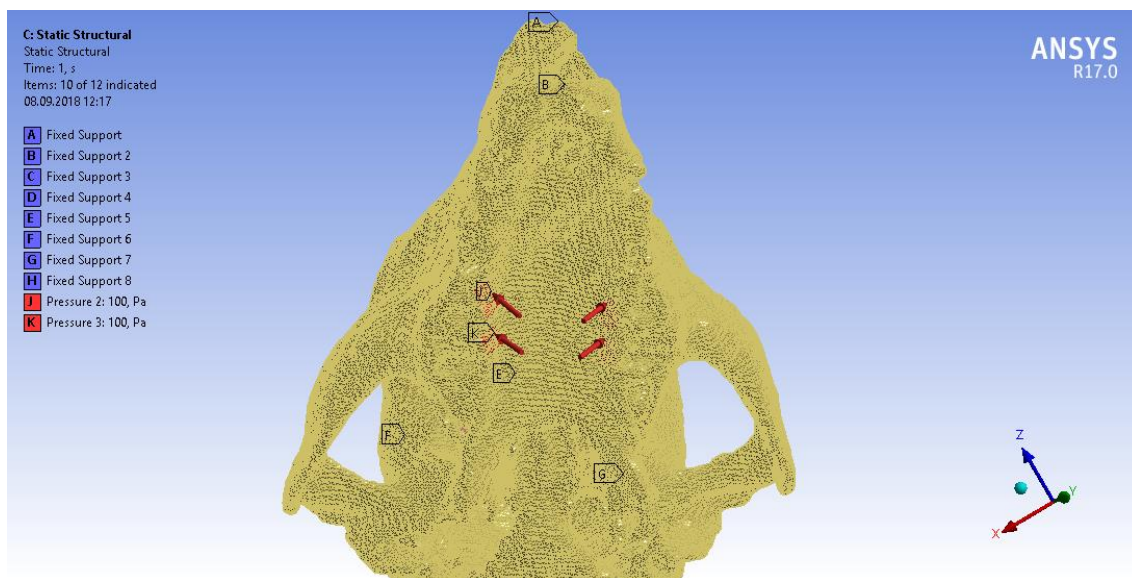


Figura 4 – Vista inferior do modelo tridimensional Sus scrofa com detalhe para a região das cargas aplicadas. Fonte: Produção dos autores, 2018.

Tabela 1 – Propriedades mecânicas adotadas

Material	Tipo de Elementos	Módulo de Young (Mpa)	Coefficiente de Poisson
Estrutura óssea	Tetraédrico 3D	345	0,300

A simulação na malha desenvolvida (Figura 5) foi realizada no laboratório de fenômenos de transporte computacional, localizado na Universidade Federal do Espírito Santo. Foi considerado que toda a estrutura que compõe o modelo está submetida à um comportamento isotrópico linear elástico. Ao final da discretização, obteve-se um modelo com 1.414.277 elementos tetraédricos e 2.373.970 nós.

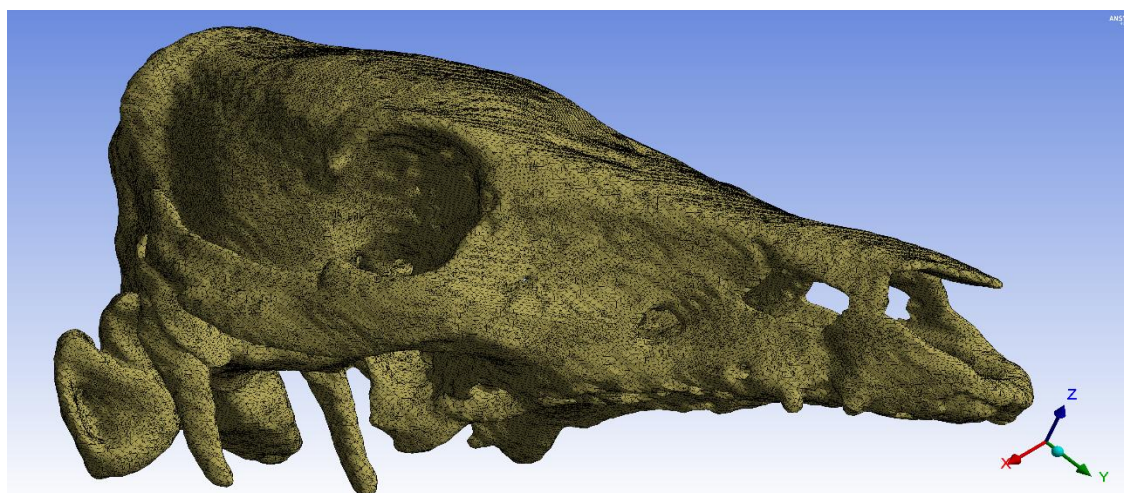


Figura 5 – Malha do modelo tridimensional gerada pelo software ANSYS. Fonte: Produção dos autores, 2018.

4 RESULTADOS

As figuras 6 e 7 apresentam as deformações na estrutura crânio-facial de *Sus Scrofa* após a simulação da aplicação das forças, pelo método de elementos finitos. Com base no resultado obtido através da análise estrutural realizada, os pontos de maior deformação estão localizados na região da sutura palatina, onde os deslocamentos são da ordem de $8,8E-05$ m. Por proximidade aos pontos de aplicação da carga e devido à transferência dos esforços, as regiões da estrutura óssea onde encontram-se o osso nasal e lacrimal são pontos que sofrem também considerável deslocamento, na ordem de $7,5E-05$ m.

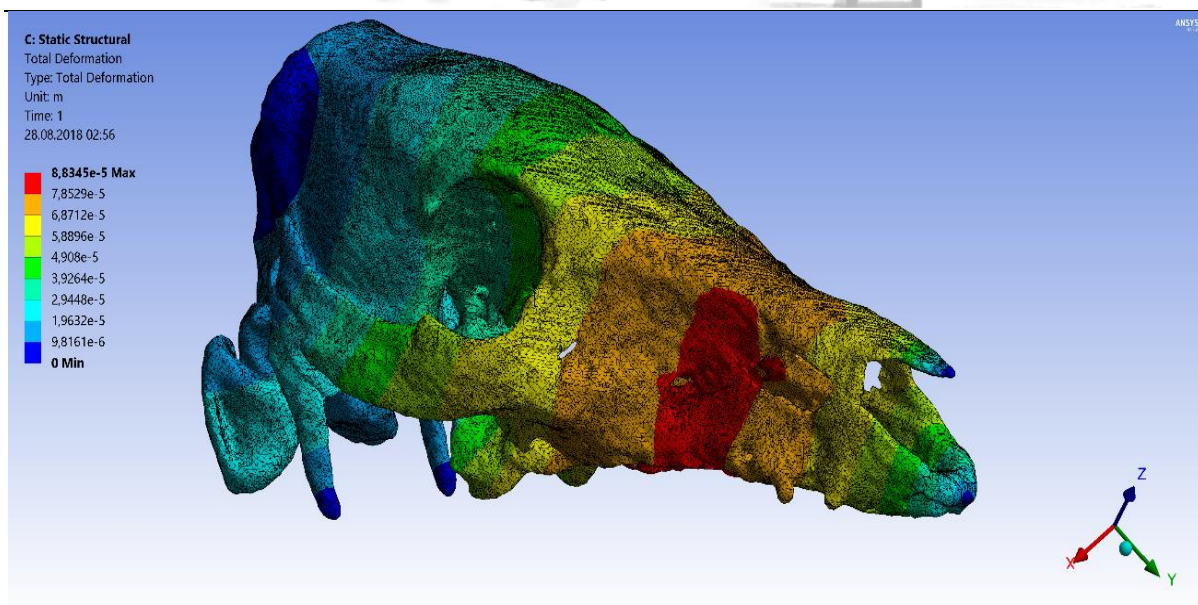


Figura 6 – Análise estrutural do modelo com detalhe para as regiões de deformação. Fonte: Produção dos autores, 2018.

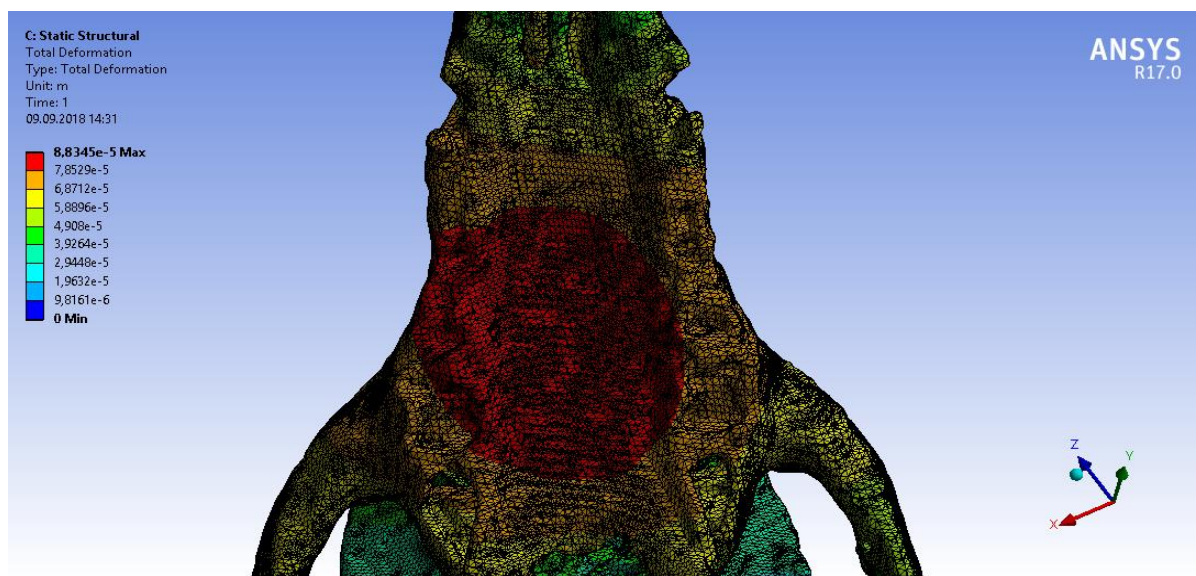


Figura 7 – Análise estrutural do modelo com detalhe para as regiões da sutura palatina. Fonte: Produção dos autores, 2018.

5 CONCLUSÃO E DISCUSSÃO

Com base nos resultados apresentados, é possível identificar os principais pontos de deformação na estrutura crânio-facial do porco após a aplicação do carregamento causado pelo aparelho disjuntor tipo Hyrax. Foram definidos oito pontos de interesse para desenvolvimento do estudo experimental, os quais são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Região de estudo e quantidade de pontos

Região de estudo	Quantidade de pontos
Osso Maxilar	2
Osso Lacrimal	2
Osso Nasal	2
Osso Frontal	2

Neste trabalho foram avaliados os principais pontos de deformações durante a expansão rápida da maxila na estrutura cranio-facial do *Sus scrofa*. Conhecer os efeitos das tensões que os implantes aplicam na estrutura como um todo é fundamental para aumentar o conforto do paciente e melhorar os resultados obtidos para aprimoramento da técnica utilizada. Os pontos mais importantes de deformação, definidos anteriormente, serão analisados experimentalmente em trabalhos futuros através da técnica de extensometria. Vale ressaltar que os resultados obtidos não consideram a abertura da sutura palatina mediana (SPM) que segundo Romanyket et al. (2013), tem influência significativa nas deformações e tensões nas estruturas adjacentes.

6 REFERÊNCIAS

- Alpern MC, Yurosko JJ. Rapid palatal expansion in adults: with and without surgery. *The Angle Orthodontist*, v. 57 (3), p. 245–263, 1987.
- Asanza S, Cinseros GJ, Nieberg LG. Comparison of hyrax and bonded expansion appliances. *The Angle orthodontist*, v. 67 (1), p. 15–22, 1997.
- Barone S, Paoli A, Razionale A V, Savignano R. Computational design and engineering of polymeric orthodontic aligners. *Int. j. numer. Method. Biomed. eng.*, v. 33 (8), 2016.
- Biederman W. A hygienic appliance for rapid expansion. *JPO: the journal of practical orthodontics*, v. 2 (2), p. 67–70, 1968.
- Brunetto DP, Sant’anna EF, Machado AW, Moon W. Non-surgical treatment of transverse deficiency in adults using Microimplant-assisted Rapid Palatal Expansion (MARPE). *Dental Press J. Orthod.* v. 22(1), p.115–30, 2017.



Choi SH, Shi KK, Cha JY, Park YC, Lee KJ. Nonsurgical miniscrew-Assisted rapid maxillary expansion results in acceptable stability in young adults. *Angle Orthod.*, v. 86(5), p. 713–20, 2016.

Garrett BJ, Caruso JM, Rungcharassaeng K, Farrage Jr, Kim JS, Taylor GD. Skeletal effects to the maxilla after rapid maxillary expansion assessed with cone-beam computed tomography. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* v.134 (1), p.16–21, 2008.

Getty R, Sisson S, Grossman JD. Sisson/Grossman anatomia dos animais domésticos, 5 ed.; Rio de Janeiro, RJ (Brasil): *Guanabara Koogan*, 1986. v. 2, 2095 p.

Goeckner K, Pepakayala V, Nervina J, Gianchandani Y, Kapila S. Three-Dimensional Force Measurement During Rapid Palatal Expansion in Sus Scrofa. *Micromachines.* v. 7 (4), p. 64-75, 2016.

Haas AJ. Rapid Expansion of the Maxillary Dental Arch and Nasal Cavity By Opening the Midpalatal Suture. *Angle Orthod.*, v. 31, p. 73–90, 1961.

Isaacson RJ, Ingram AH. Forces Produced By Rapid Maxillary Expansion II. Forces Present During Treatment. *Angle Orthod.*, v. 34(4), p. 261–70, 1964.

JR KF, Moscatiello V, JR EB. Disjuntor palatino faltin jr: alterações dentofaciais decorrentes da disjunção da sutura palatina mediana. *Rev Dental Press Ortod Ortop Facial*, v. 4 (4), p. 5–13, 1999.

Knaup B, Yildizhan F, Wehrbein H. Age-Related Changes in the Midpalatal Suture. *J. Orofac. Orthop.*, v. 65(6), p. 467–74, 2004.

Lee K, Park Y, Park J, Hwang W. Miniscrew-assisted nonsurgical palatal expansion before orthognathic surgery for a patient with severe mandibular prognathism. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, v.137(6), p. 830–9, 2010.

Lee RJ, Moon W, Hong C. Effects of monocortical and bicortical mini-implant anchorage on bone-borne palatal expansion using finite element analysis. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, v. 151(5), p. 887–97, 2017.

Mosleh MI, Kaddah MA, Abd Elsayed FA, Elsayed HS. Comparison of transverse changes during maxillary expansion with 4-point bone-borne and tooth-borne maxillary expanders. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*; v.148(4), p. 599–607, 2015.

Petrén S, Bondemark L, Soderfeldt B. A systematic review concerning early orthodontic treatment of unilateral posterior crossbite. *Angle Orthod.*, v. 73(5), p. 588–96, 2003.



Romanyk DL, Collins CR, Lagraverre MO, Toogood RW, Major PW, Carey JP. Role of the midpalatal suture in FEA simulations of maxillary expansion treatment for adolescents: A review. *International Orthodontics*, v. 11 (2), p. 119-138, 2013.

Savoldi F, Tsoi JKH, Paganelli C, Matinlinna JP. Evaluation of rapid maxillary expansion through acoustic emission technique and relative soft tissue attenuation. *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.* v. 65, p. 513-21, 2017.

Ström D, Holm S, Clemensson E, Haraldson T, Carlsson GE. Gross anatomy of the mandibular joint and masticatory muscles in the domestic pig (*Sus scrofa*). *Arch Oral Biol*, v. 31(11), p. 763-768, 1986.

Sun Z, Hueni S, Tee BC, Kim H. Mechanical strain at alveolar bone and circummaxillary sutures during acute rapid palatal expansion. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, v. 139(3), p. 219–28, 2011.

Weissheimer A, De Menezes LM, Mezomo M, Dias DM, De Lima EMS, Rizzato SMD. Immediate effects of rapid maxillary expansion with Haas-type and hyrax-type expanders: A randomized clinical trial. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, v.140(3), p. 366–76, 2011.

Winsauer H, Walter A, Scherfler M, Ploder O. What are the limits of microimplant-assisted palatal expanders? *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, v. 151(1), p. 3–4, 2017.