

Estudo e Desenvolvimento de Modelos BioCAD aplicando Elementos Finitos

Thanus Miziara, Leonardo Mendes R. Machado, Pedro Y. Noritomi

{thanus.miziara, leonardo.machado, pedro.noritomi}@cti.gov.br

**Núcleo de Tecnologias Tridimensionais – NT3D
CTI/MCTI Renato Archer - Campinas/SP**

Abstract. Article describing activities carried out by the fellow over the duration of the scholarship. These are characterized by training in modeling, creation and manipulation of finite element meshes in NT3D laboratory activities.

Keywords: BioCAD, Finite Element Analysis, Virtual Modeling.

Resumo. Artigo descrevendo atividades realizadas pelo bolsista ao longo da vigência da bolsa. Sendo estas caracterizadas pelo treinamento em softwares de modelagem, criação e manipulação de malhas de elementos finitos em atividades do laboratório NT3D.

Palavras chave: BioCAD, Análise de Elementos Finitos, modelagem virtual.

1. Introdução

A modelagem BioCAD, junção de técnicas de engenharia e medicina ao modelar utilizando marcos anatômicos, é capaz de criar modelos preditivos e qualitativos sobre esforços e distribuições de tensões quando aliada com a criação de malha e análise de Elementos Finitos - Ref. [1]. A interdisciplinaridade entre engenharia e área da saúde vem trazendo resultados satisfatórios quando se trata de redução de custos de pesquisa, acurácia, respeito à interpessoalidade e aprovação em comitês de ética. Neste artigo são discutidas as atividades desenvolvidas baseadas na bioengenharia utilizando os softwares de apoio Rhinoceros® 5, para criar geometrias complexas e orgânicas sem parametrização e Hypermesh (Altair Inc., solver optistruct), para criar malhas e realizar as análises de Elementos Finitos (EF) obtendo como resultado mapas de tensão, Ref. [2]. O caso estudado se ocupa de avaliar as tensões geradas pelo uso de chupetas em crianças de 1 a 4 anos e como o palato se comporta frente a estes esforços. Foram utilizadas três diferentes chupetas comerciais para criar um caráter comparativo.

2. Metodologia

O uso da modelagem CAD (Computer Aided Design) não é suficiente quando utilizado para estudos envolvendo estruturas orgânicas, afinal, estas são estruturas não lineares e de curvatura acentuada. Faz-se então necessário o uso do protocolo BioCAD, desenvolvido no NT3D, divisão de tecnologias tridimensionais do Centro de Tecnologia da Informação - Renato Archer, Ref. [3]. O protocolo consiste no uso de marcos anatômicos, regiões comuns a todos os seres humanos apesar de pequenas variações devido à interpessoalidade, e técnicas de construção de NURBS (Non Uniform Rational B-Splines), Ref. [4], manipulação não parametrizada de superfícies que facilitam a construção de modelos complexos e não lineares, Ref. [5]. Aliando o protocolo a instruções do profissional da saúde assistido, tem-se uma versátil ferramenta de CAD capaz de criar uma geometria simples e eficiente para posterior geração de malha e análises de confiabilidade preservadas.

Após concretização da geometria, a geração de malha é realizada através de um processo controlado procurando adensar regiões de interesse e concentração de tensão para um resultado mais preciso e mapas mais caracterizados. As simulações serão realizadas utilizando esta malha, que é um conjunto de múltiplos elementos de geometria simplificada e passível de equacionamento matemático, afinal, o modelo como um todo possui uma geometria impassível de equacionamento.

O resultado da análise é obtido ao submeter os elementos a aplicação de um esforço e propagação do mesmo ao longo da malha por todo o corpo, elemento a elemento utilizando-se do contato entre os vértices, Ref. [6]. As condições de contorno tem papel fundamental para acurácia do modelo ao estabelecer limites, fronteiras e valores de constantes à equação. O problema proposto é solucionado através do solver do software adequado que irá, após otimizada a malha, contabilizar e calcular os esforços e condições de contorno, trazendo os resultados na forma de mapas de tensão, Ref. [7].

3. Implementação

As técnicas abordadas foram utilizadas para auxiliar no estudo de esforços provocados pelo uso de chupeta por crianças. Três diferentes tipos de chupetas foram utilizado visando compará-las e analisar suas consequências sobre o palato do usuário. A construção do modelo seguiu o passo a passo descrito pela figura 1.



Figura 1 - Fluxograma do plano de trabalho. Fonte: Autor

O modelo base do crânio, ilustrado pela figura 2, foi obtido através de uma radiografia fornecida pelo assistido, que posteriormente sofreu manipulação com auxílio do software Rhinoceros® 5 para que o modelo apresentasse todos os elementos necessários para construção do estudo, como língua, palato e chupetas.

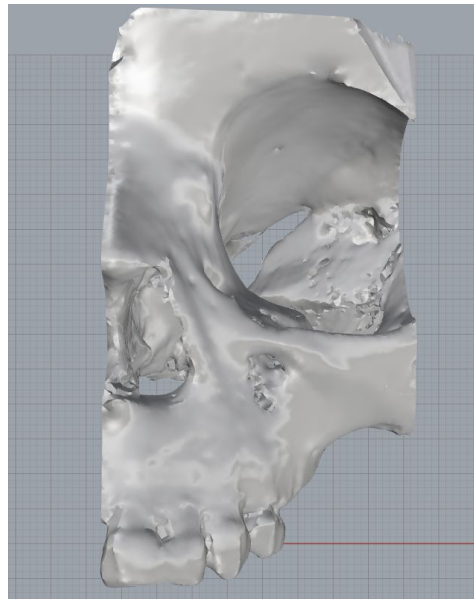


Figura 2 - Modelo base crânio. Fonte: Autor

Depois de construídos os modelos foi utilizado o software Hypermesh (Altair Inc.) para construção da malha nos três modelos, como mostrado na figura 3.

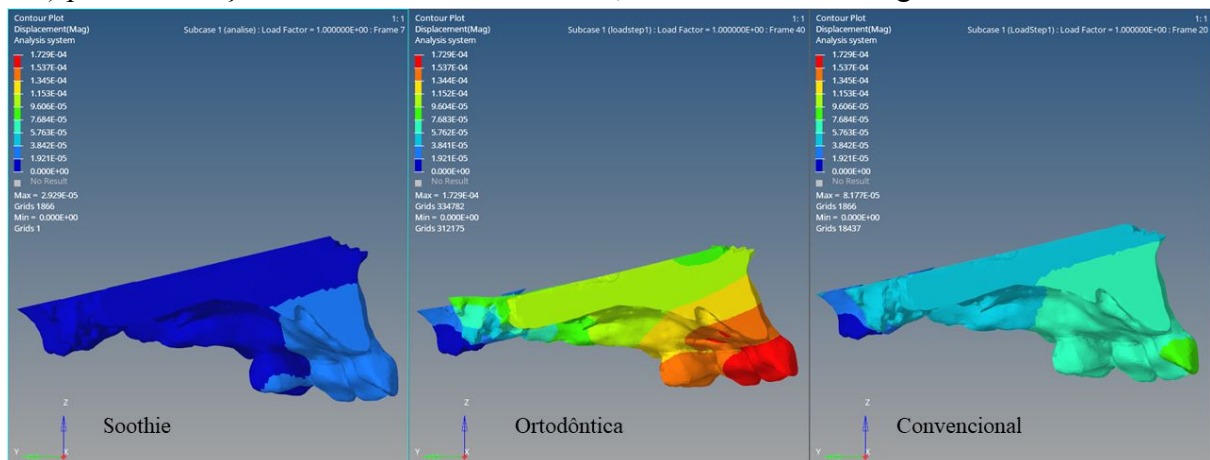


Figura 3 - Modelo base crânio. Fonte: Autor

Foram aplicadas as condições de contorno do modelo de acordo com a hipótese para que sejam colhidos os resultados com maior acurácia possível, bem como o refinamento seletivo da malha em zonas de interesse como pontos de aplicação de força e regiões de estudo. Na figura 4 é possível observar os pontos de aplicação de cargas do modelo.

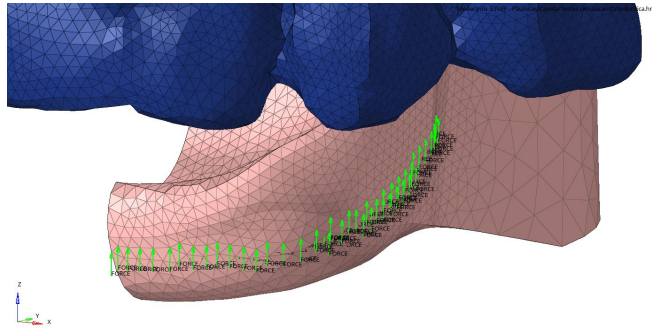


Figura 4 - Cargas aplicadas ao modelo. Fonte: Autor

Na figura 5 as condições de simetria, para que possa ser modelado apenas metade do corpo de estudo e por espelhamento matemático os resultados sejam obtidos.

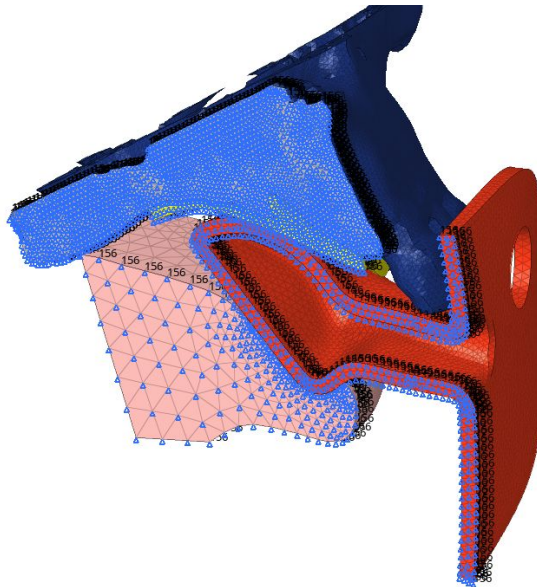


Figura 5 - Condição de simetria. Fonte: Autor

As condições de fixação do modelo foram aplicadas ao topo do crânio, restringindo os graus de liberdade para que exista estabilidade do modelo e o equacionamento possua as constantes necessárias solução.

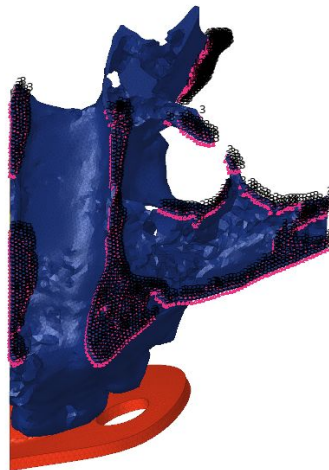


Figura 6 - Condição de fixação. Fonte: Autor

Unindo todas as condições descritas, foi realizada a simulação utilizando as propriedades de materiais descritas pela tabela 1

Material	Módulo de elasticidade (MPa)	Poisson (ν)
Língua	5	0.45
Osso	100000	0.3
Sutura Palatina	1	0.49
Mucosa	10	0.4

Tabela 1 - Propriedades mecânicas dos materiais. Fonte: Profissional da saúde assistido.

5. Resultados e discussão

Os modelos analisados fornecem resultados comparativos sobre as tensões resultantes do uso de chupeta. Os valores de deslocamento obtidos mostraram ser coerentes e dentro do esperado quando estudado de acordo com a ordem de grandeza e região, como é possível analisar na figura 7.

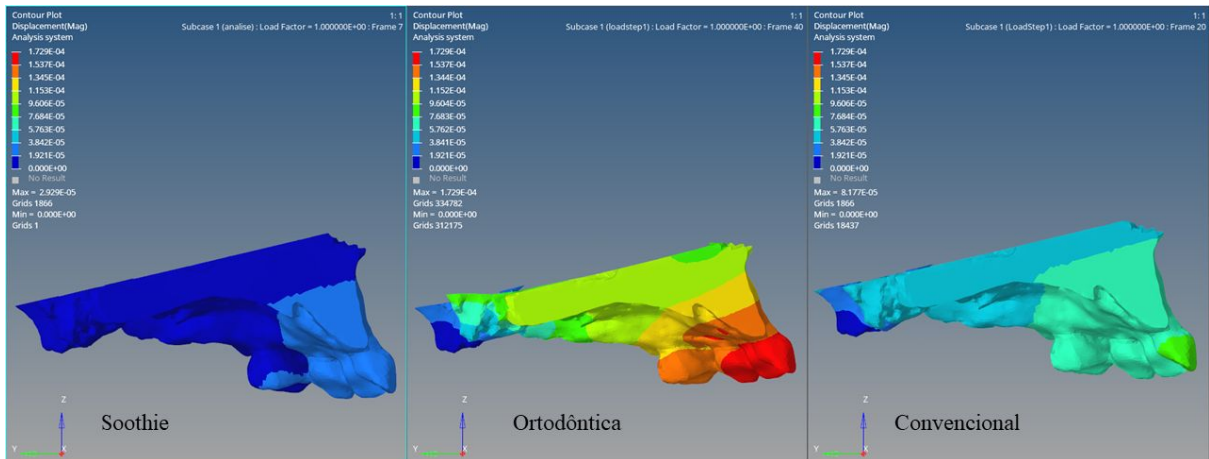


Figura 7 - Deslocamentos totais. Fonte: Autor

Já o mapa de tensão obtido para o modelo pode ser observado na figura 8, demonstrando concentrações de tensão em locais previamente estipulados, como regiões de curvatura acentuada e nos pontos colineares com a aplicação de força.

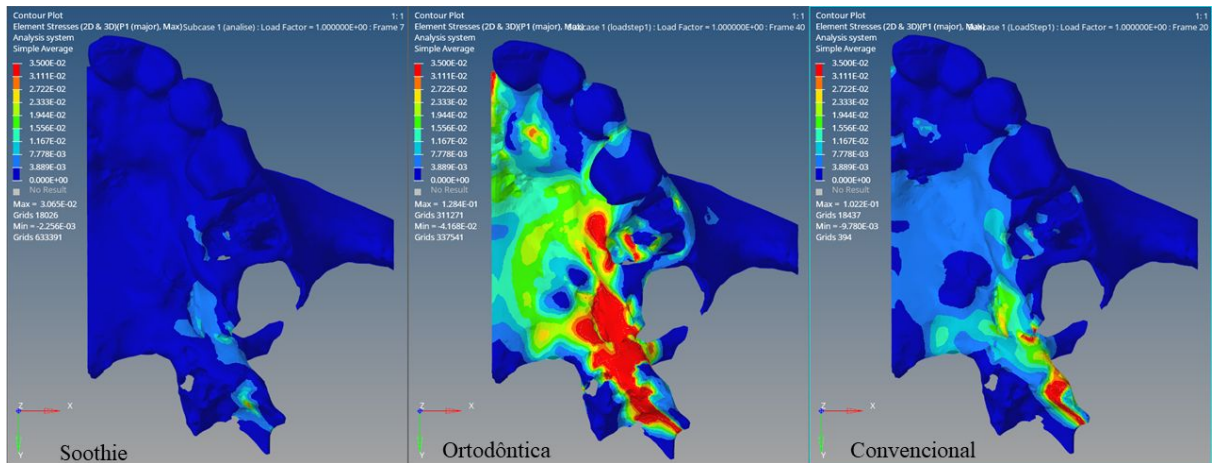


Figura 8 - Mapa de tensão P1 (Maior). Fonte: Autor

Os resultados obtidos trazem uma análise coerente e condizem com o esperado, passando então a ser válidos para que seja feita a análise biomecânica deste corpo.

6. Conclusão

O objeto de estudo modelado, bem como as malhas de Elementos Finitos mostraram-se um eficiente método de estudo para que seja feita a análise biomecânica. Utilizando os resultados, pode-se notar a importância da interdisciplinaridade entre saúde e engenharia para criar modelos precisos e de análise eficiente. A partir do modelo criado, pode-se estudar com coerência os mapas de tensão e deslocamentos obtidos que serão de ajuda fundamental na tomada de decisões clínicas e contribuirão para o conhecimento da ortodontia bem como engenharia.

7. Agradecimentos

Agradeço ao coordenador Pedro Y. Noritomi pela oportunidade e estímulo de pesquisa além de todo o suporte dado ao longo do estudo. Agradeço também a equipe do NT3D pelo ambiente de trabalho agradável e acolhimento. À Júlia A. Nogueira e Leonardo M. R. Machado pelo acompanhamento. À PIBIC/CNPq pela bolsa e fomento à pesquisa.

8. Referências

1. Noritomi, P.Y. Introdução ao Método dos Elementos Finitos para Aplicação em Bioengenharia. Campinas, 2005. 30 slides. Documento Eletrônico.
2. HyperWorks Help 2017, Release 2017.1.0, Altair Engineering, Inc. Hypermesh, User's Guide, Hypermesh Panels, Joint Panel.
3. Kemmoku, D.T.; Laureti, C.A.R.; Noritomi, P.Y.; Silva, J.V.L. BioCAD techniques: example of maxilla for rapid expansion simulation. In: Bartolo P. et al. (Org.). Innovative developments in virtual and physical prototyping, vol. 1, Abingdon, UK: Taylor & Francis Group; p. 715–718, 2012.
4. Rhinoceros 3D. rhinoceros3D, 2019. What are NURBS?. Disponível em: <https://www.rhino3d.com/nurbs>. Acesso em: 24/07/2019.
5. Kemmoku, D.T.; Noritomi, P.Y.; Roland, F.G.; Silva, J.V.L. Use of BioCAD in the development of a growth compliant prosthetic device for cranioplasty of growing patients. In: Bartolo P. et al. editors. Innovative developments in design and manufacturing - advanced research in virtual and rapid prototyping, vol. 1. Abingdon, UK: Taylor & Francis Group; p. 127–130, 2010.
6. Zienkiewicz, O.C.; Taylor, R.L.; Fox, D.D. The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics. Elsevier, 2014.
7. Zienkiewicz, O.C.; Taylor, R.L.;; Zhu, J.Z. The finite element method: its basis and fundamentals. Elsevier, 2005. Innovative developments in virtual and physical prototyping, vol. 1, Abingdon, UK: Taylor & Francis Group; p. 715–718, 2012
8. Levrini L, Merlo P, Paracchini L. Different geometric patterns of pacifiers compared on the basis of finite element analysis. European Journal of Paediatric Dentistry. 2007; Dec;8(4):173-8.