

Modelagem 3D de prótese dentária em software CAD a partir de um modelo base para análise computacional

Vitor C. Monzillo, Marcelo F. de Oliveira, Júlia A. Nogueira

{vitor.monzillo, marcelo.oliveira, jnogueir}@cti.gov.br

**Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM)
Universidade de Campinas (UNICAMP) – Campinas/SP**

Núcleo de Tecnologias Tridimensionais – NT3D

CTI/MCTI Renato Archer - Campinas/SP

***Abstract.** This article involves the process of modeling a metallic dental prosthesis starting from a base model using a CAD software for further analysis by finite elements.*

***Resumo.** Este artigo envolve o processo de modelagem de uma prótese dentária metálica a partir de um modelo base através de um software CAD para a posterior análise de elementos finitos.*

1. Introdução

Na mecânica dos sólidos, quando se trata da análise de objetos materiais, são apresentados alguns métodos como ensaios mecânicos (tração e compressão) e análise computacional pelo método de elementos finitos. No caso de análises de estruturas ósseas e outros elementos anatômicos, a análise computacional é preferível no que se diz à ética e confiabilidade[1]. Para isso, existem softwares CAE (Computer Aided Engineering) que usam modelos tridimensionais feitos em softwares CAD (Computer Aided Design) para então inferir dados sobre a condição aplicada à esse modelo.

Mas, como entrada para a análise de elementos finitos para a bioengenharia[2], o software CAE requer uma geometria, não podendo usar simplesmente modelos tridimensionais advindo de escaneamentos 3D, pois além de apresentar falhas do próprio escaneamento, pode também trazer descontinuidades e assim o estudo dos elementos anatômicos se tornaria inviável e apresentaria erros, o que é delicado no caso do estudo do corpo[3].

Para que seja possível realizar uma análise computacional de elementos anatômicos, é preciso que seja construído um modelo tridimensional que represente o caso para que análises biomecânicas tenham resultados mais fiéis ao que seria um caso real[4]. E para a elaboração de modelos que se assemelha ao real, pode-se utilizar de modelos base - os escaneados - e com isso refinar as características geométricas e subsequentemente poder isolar o elemento de análise. Isto é, a partir de um modelo tridimensional, alguns procedimentos são realizados para que o objeto de análise se

aproxime à geometria da anatomia humana. Procedimentos tais que são feitos através do protocolo BioCAD[5], que viabiliza a análise da geometria anatômica.

Neste caso, o modelo e sua análise foram necessários para uma análise de comportamento a tensão de restauração de um incisivo frontal superior com pino metálico. Assim foi feito um modelo de prótese dentária metálica para sua análise de esforços.

2. Metodologia

A construção do modelo foi feita a partir de um software CAD, o *Rhinoceros*® 5, que proporciona ferramentas específicas para o recorte e tratamento do modelo base até chegar na geometria final. Ao se tratar de uma estrutura anatômica e orgânica como o dente, que apresenta muitas curvaturas e poucas linearidades, é necessário adotar o protocolo BioCAD. O protocolo reside em produzir superfícies não lineares com o uso de NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines)[6], partindo de marcos anatômicos, que são características comuns à anatomia humana mesmo existindo diferenças em cada corpo humano, a fim de produzir um sólido com menos áreas.

O procedimento da modelagem começa a partir da obtenção da geometria utilizada como base, em que são adicionadas linhas de referência a partir das quais foram feitas as superfícies, e com a união dessas superfícies é obtido um sólido em questão:

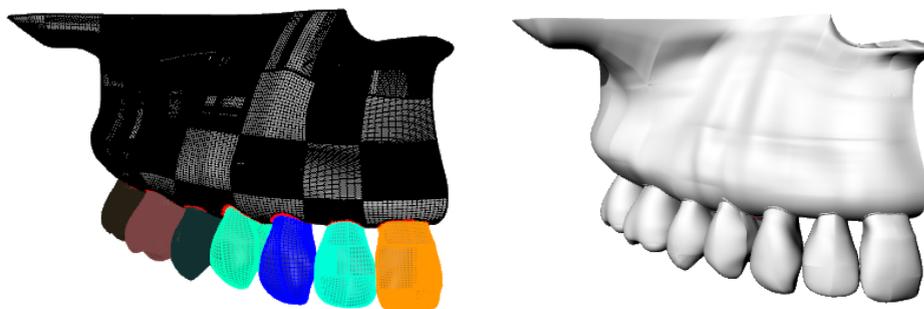


Figura 1. Maxíla. Fonte: autoral

As linhas vistas no modelo da maxila (Figura 1) são linhas de superfície. Essas que foram feitas a partir das linhas NURBS [referência] feitas através do software. Um ponto importante a ser considerado quando se interliga as superfícies é a garantia de que as mesmas possuem tangência entre elas, para que a continuidade da superfície total do elemento seja garantida para a análise ser coerente.

Após a obtenção da maxila como um sólido na geometria desejada, o incisivo superior é isolado para que o estudo seja mais preciso, pois se trata do elemento de análise em questão. Para isso, foi feito um recorte radial como uma fatia da maxila.

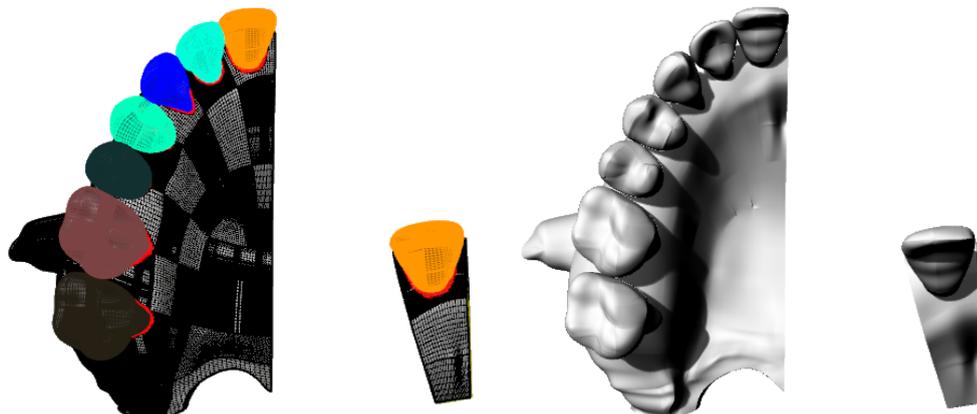


Figura 2. Recorte da maxila. Fonte: autoral

Com isso, a partir da geometria do próprio dente incisivo superior (Figura 2 em laranja), foi possível gerar um sólido interno para obtenção de um núcleo (Figura 3 em vermelho) com a redução de escala e recorte da geometria.

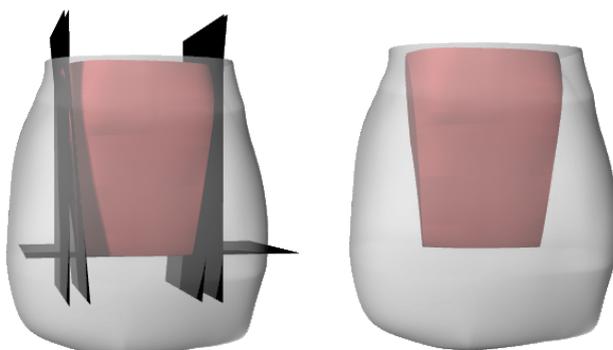


Figura 3. Núcleo rígido a partir do dente. Fonte: autoral

Também foi colocada a inserção dos pinos de cada caso (Figura 4), seguindo medidas de conhecimento prévio à pesquisa (Figura 5).

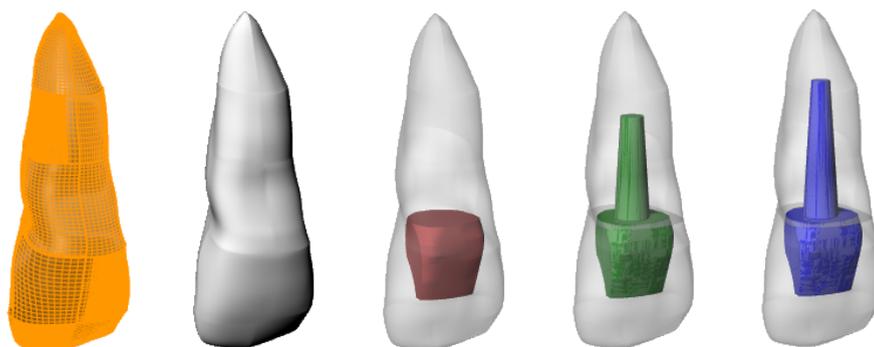


Figura 4. Montagem dos pinos e núcleos rígidos. Fonte: autoral

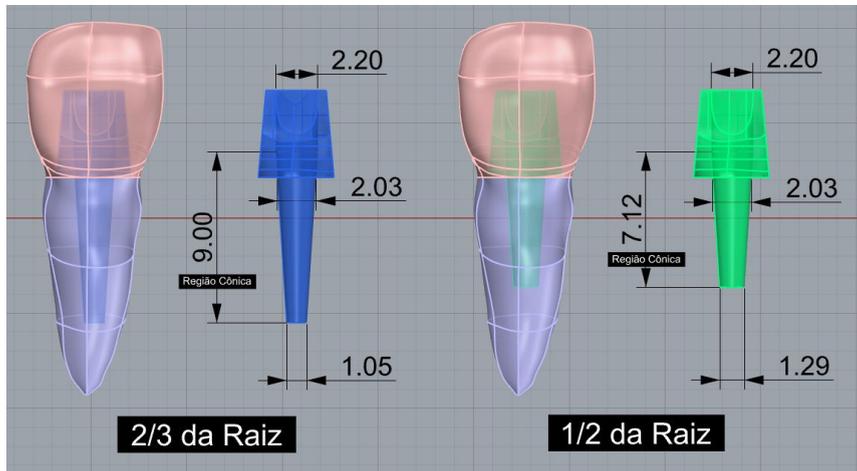


Figura 5. Medidas dos pinos. Fonte: autoral

Feitos os pinos e o núcleo metálicos no interior do dente, é adicionado um braquete (com medidas previamente conhecidas) onde as condições de tensão serão colocadas, são elas: tensão normal no braquete e engastamento da base mostrados na Figura 6. Assim, a geometria do recorte (Figura 2) é levado ao software de análise computacional, onde são geradas as malhas de elementos.

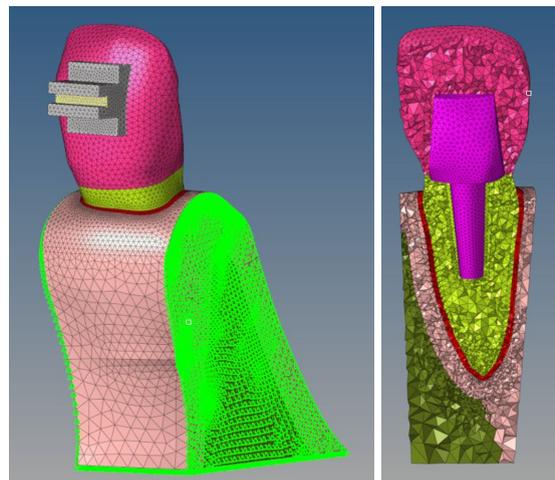


Figura 6. Condições de tensão (a esquerda) e malhas internas (a direita)

As malhas de elementos subdivide o modelo em vários elementos interligados por vértices, primeiro ao longo de sua superfície e posteriormente em seu interior uma vez que é considerado um sólido. Cada elemento do modelo pode ser estudado e equacionado matematicamente em relação à tensões aplicadas e descolamento. Assim, em razão de estarem interligados, o software de análise Hypermesh (Altair Inc., solver optistruct) traz graficamente os efeitos da propagação das tensões e deslocamentos de cada elemento.

3. Resultados

Então, como finalidade, a geometria do modelo final foi gerada para ser utilizada como objeto de análise, que por não apresentar grandes disparidades geométricas em relação ao modelo real, se torna um processo mais simples para análise.

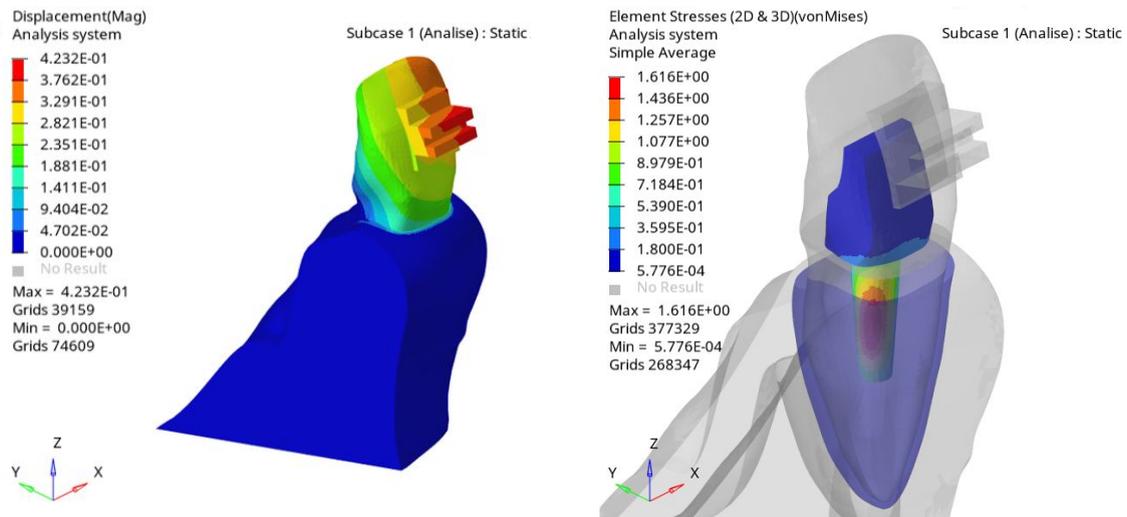


Figura 7. Análise de deslocamento do recorte (a esquerda) e do pino metálico (a direita)

E com as malhas tridimensionais foi possível, através do software, visualizar os efeitos das tensões aplicadas no modelo (Figura 7).

4. Conclusão

Portanto, o protocolo BioCAD se mostra eficaz no processo de análise, visto que em casos como este da área da saúde sempre procura-se diminuir o erro presente.

Assim, com um modelo final consistente, é possível aplicar a análise por elementos finitos de forma mais fiel, uma vez que auxilia no processo de gerar malhas de elementos. Isso se deve a grande semelhança geométrica do modelo base e do modelo final, que se torna possível através do protocolo BioCAD, que descreve as geometrias complexas e curvas acentuadas de forma eficiente, como visto anteriormente.

5. Agradecimentos

Agradeço a todos orientadores e coorientadores que estiveram presentes neste processo.

Ao coordenador Pedro Y. Noritomi por todo conhecimento e experiências passadas, sejam por conversas ou ensinamentos. Grato também pela oportunidade de fazer parte de uma equipe capacitada e colaboradora, além de serem ótimas companhias.

Em especial, agradeço ao co orientador Leonardo M. R. Machado por todo suporte, dedicação e ensino. À co orientadora Júlia A. Nogueira, por todo auxílio provido. Além do incentivo à geração de conhecimento científico. Agradeço ao CTI Renato Archer por toda infraestrutura e todos que de alguma forma colaboram para seu funcionamento.

Também agradeço à comissão PIBIC e ao CNPq por toda oportunidade e recursos gerados, que possibilitaram a realização desta pesquisa.

6. Referências

- [1] Borie, E., Orsi, I. A., Yoshito Noritomi, P., & Takanori Kemmoku, D. (2016). Three-Dimensional Finite Element Analysis of the Biomechanical Behaviors of Implants with Different Connections, Lengths, and Diameters Placed in the Maxillary Anterior Region. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 31
- [2] Noritomi, P.Y. Introdução ao Método dos Elementos Finitos para Aplicação em Bioengenharia. Campinas, 2005. 30 slides. Documento Eletrônico.
- [3] C. Boehnen and P. Flynn, "Accuracy of 3D scanning technologies in a face scanning scenario," Fifth International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM'05), Ottawa, Ontario, Canada, 2005, pp. 310-317, doi: 10.1109/3DIM.2005.13.
- [4] Verri, F. R., Santiago Júnior, J. F., Almeida, D. A. D. F., Verri, A. C. G., de Souza Batista, V. E., Lemos, C. A. A., ... & Pellizzer, E. P. (2015). Three-dimensional finite element analysis of anterior single implant-supported prostheses with different bone anchorages. *The Scientific World Journal*, 2015.
- [5] 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.
- [6] Rhinoceros 3D. rhinoceros3D, 2019. What are NURBS?. Disponível em: <https://www.rhino3d.com/nurbs>. Acesso em: 24/07/2019.