

Metodologia da engenharia em desenvolvimento de prótese utilizando simulação de métodos de elementos finitos

**Amanda Nicole de Oliveira(CTI), Jorge Vicente Lopes(CTI), Leonardo M. R.
Machado(CTI)**

**Laboratório aberto de impressão 3D– LAPRINT
CTI/MCTI Renato Archer – Campinas/SP**

**Faculdade de Engenharia Biomédica
Pontifícia Universidade Católica – Campinas/SP**

{anoliveira,jvlsilva, leonardo.machado}@cti.gov.br

***Abstract.** This article explores the continuation of the work carried out in my previous article on finite element methods (FEM), using HyperMesh software. The study focuses on the development and simulation of a personalized maxillary prosthesis model that can significantly improve patient comfort and quality of life. Additionally, it aims to demonstrate techniques for conducting simulations to show how the prosthesis will behave in the patient, considering factors such as chewing force, contact pressures, or mandibular displacement. The process of creating and simulating the prosthesis in HyperMesh software is detailed, and it is based on the patient's clinical data. A maxilla model was generated from CAD data. With the purpose of generating a prosthesis that was designed in a software called Rhinoceros, it was then sent to HyperMesh to apply the finite element method (FEM). In the software, the projection of the force to be exerted on the prosthesis during use was made, thus obtaining the material's resistance and allowing the analysis of prosthesis deformation in a lot of scenarios. The simulation was conducted to evaluate the physical conditions of the prosthesis structure.*

Keywords: BioCAD, Finite Elements, Simulation.

Resumo. Este artigo explora a continuidade do trabalho realizado do meu artigo anterior sobre métodos de elementos finitos (FEM), utilizando o *software HyperMesh*, o estudo foca no desenvolvimento e na simulação de um modelo de prótese maxilar personalizada que pode melhorar significativamente o conforto e a qualidade de vida do paciente. Além disso, busca mostrar técnicas para realização de simulações, com o intuito de demonstrar como a prótese irá se comportar no paciente, levando em conta, a força de mastigação, pressões de contato, ou deslocamento mandibular. A parte do processo de criação e simulação da prótese no *software HyperMesh* é detalhada e realizada a partir de dados clínicos do paciente, e a maxila modelo, foi gerado um CAD da maxila, com a finalidade de gerar uma prótese que foi projetada no *software Rhinoceros*, para dessa forma ser encaminhada para o *HyperMesh* e assim podendo se aplicar o método de elementos

finitos (FEM). No *software* foi realizada a projeção da força que será feita sobre a prótese durante o uso, com isso obtendo a resistência do material permitindo a análise de deformação da prótese em vários cenários. A simulação foi criada para avaliar as condições físicas da estrutura da prótese antes de ser implantada no paciente a fim de evitar danos à prótese e ao paciente após ser implantada.
Palavras-chave: *BioCAD, Elementos finitos, Simulação.*

1. Introdução

O processo de modelagem computacional BioCAD, sendo uma junção das competências das áreas de engenharia e biológicas, tem como objetivo desenvolver biomodelos para análise biomecânica, sendo uma importante ferramenta principalmente utilizada na área odontológica para avaliar a eficácia e a segurança da prótese dentária na cavidade oral de pacientes (Noritomi, P.Y(2005)). Com o uso das ferramentas CAD (*Computer-Aided Design*), associadas ao CAE (*Computer-Aided Engineering*), *softwares* como o *HyperMesh* conseguem modelar virtualmente as próteses e assim, realizar simulação replicando as condições físicas aplicadas sobre a dentição (RIVERA, Andrea Del Pilar Fabra et al(2020)).

Para geração de grampos de prótese odontológica, pelo método do BioCAD que desempenha um papel fundamental em relação à estabilidade e retenção da prótese parcial removível (PPR), de modo a proporcionar suporte e retenção adequada aos dentes adjacentes, permitindo a ela ser fixada de forma segura na cavidade oral do paciente (FUZER, Thais Ustulin(2019)). Com os métodos de simulação computacional temos uma ferramenta valiosa para o projeto e análise de dispositivos médicos e odontológicos, sendo a análise de elementos finitos (FEA), um recurso avançado para avaliar a performance desses dispositivos.

Com essas análises biomecânicas do projeto de próteses parciais, busca-se avaliar adaptação desta ao tecido bucal do paciente, bem como a análise da oclusão e da distribuição de forças durante a mastigação realizada através da simulação do método de elementos finitos (FEA). A análise da distribuição de forças é importante para garantir que a prótese não causa desconforto bucal, ou se rompa, essas análises são feitas antes do paciente utilizar a prótese (Vojdani, M., & Emami, E. (2018)).

Cada elemento distribui propriedades de materiais que são determinadas por uma situação clínica ou destinações do modelo, neste caso relata um câncer oral na maxila, as forças são aplicadas para simular cargas clínicas sendo definidas por escala de cores, permitindo uma visualização detalhada da força e rigidez, enquanto

indicam a distribuição de deslocamento e tensões (BAUTISTA PATIÑO, Angela Maria et al(2020)).

Nesse contexto, a pesquisa realizada leva em conta a análise de elementos finitos (FEA) de um CAD gerado da maxila, o método de simulação computacional que permite avaliar o desempenho biomecânico da mesma por meio de aplicação de uma força de mordida

2. Metodologia

Para o desenvolvimento do modelo, foi aplicado o protocolo BioCAD, tendo como função preparar o modelo desenvolvido para aplicação em um estudo biomecânico, onde obteve-se as seguintes etapas.

2.1. Modelagem computacional

Para a construção da geometria identificada na (Figura 1) foi utilizado o *software Rhinoceros 7*® desenhando o CAD que foi construído por meio do STL adquirido como base, utilizando ferramentas de contorno *InterpCrv* para a construção da geometria seguindo as referências anatômicas, e para o recobrimento da estrutura foi utilizado o comando *Network Spf*, sendo possível dar sua forma 3D.

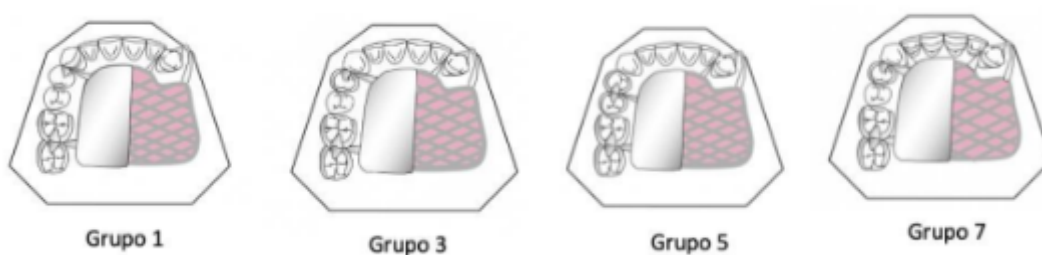


Figura 1: imagem dos grupos com vista oclusal das variações de planejamento para infraestrutura do modelo. Fonte:Autoral

Ao finalizar a estrutura CAD, da parte metálica (Figura 2), e da parte de plástico, unidos pelo comando *Boolean Union*, tendo ambas suas estruturas abertas como mostra na (Figura 3).



Figura 2: Prótese metálica. Fonte: Autoral

Ao unir ambos modelos da prótese, se fez uma verificação dos dados pedidos com os realizados, após certificar que a prótese está pronta conforme o pedido, podendo então levá-la para simulação.

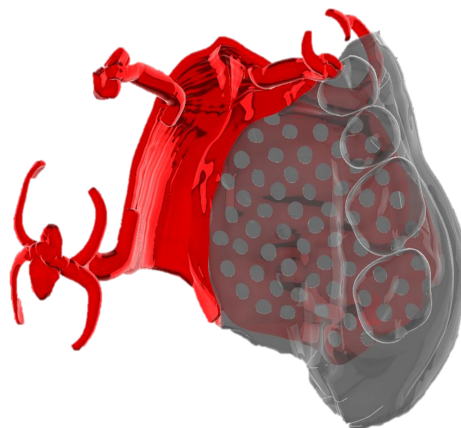


Figura 3: Prótese completa, parte de metal e plástico unidas. Fonte: autoral

2.2. Simulação (elementos finitos)

Para realizar a malha no *software HyperMesh2022*, deve-se selecionar a área desejada para construir a malha, para assim obter o melhor preenchimento utilizando a geometria triangular (trias), e estruturá-lo em *surface derivation*, utilizando as medidas que mais se encaixa com a malha para obter a construção automática.

Após a construção da malha automática, foi realizado os triângulos manualmente para obter uma continuidade de malha em toda a peça, para então poder gerar as definições dos materiais para a prótese como, módulo de

elasticidade, coeficiente de Poisson e densidade, tendo então a prótese completa (Figura 3).

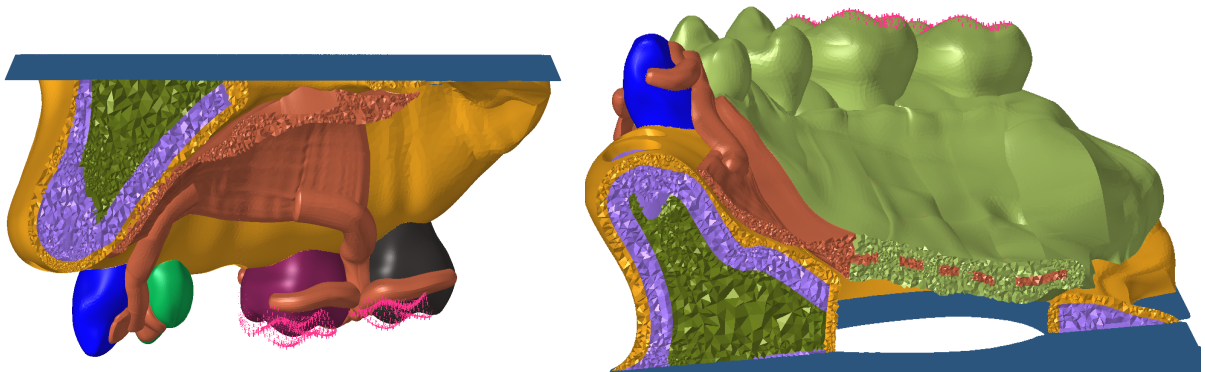


Figura 4: (A) Vista lateral interna da prótese. (B) Vista da prótese lateral interna. Fonte: autoral

Para a configuração das condições de contorno foi determinada as linhas de contorno para poder gerar a simulação, como a fixação de determinadas regiões, aplicação de força. A distribuição de cargas (força), foi definida com um valor de 175 N, com sentido normal a oclusal do dente protético, representando o caso mais danoso para a fixação da prótese.

Nos pontos de distribuição de carga representado pela Figura 5, relata as forças que serão aplicadas na maxila, especificando magnitude e a direção da carga na região aplicada.

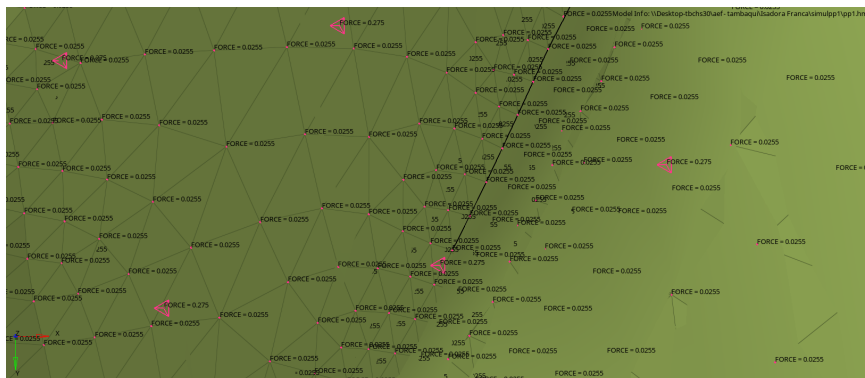


Figura 5: Zoom dos resultados da força aplicada. Fonte: autoral

5.Resultados

Foi possível através das análises da simulação linear estática identificar o comportamento de uma mordida assimétrica em próteses parciais, sendo evidente a sobrecarga que ocorre principalmente no dente canino da região lesionada, sendo o mesmo responsável pela fixação principal da prótese a anatomia. Na (Figura 6) é possível evidenciar a tendência de deslocamento principalmente no canino como na gengiva, tendo parte do apoio na parte plástica do modelo, porém é notável a influência dos grampos na fixação ao avaliarmos o campo de tensão principal máxima(Figura 7), tendo pontos de tração e compressão no canino do lado direito e nos dentes da bateria posterior do lado esquerdo.

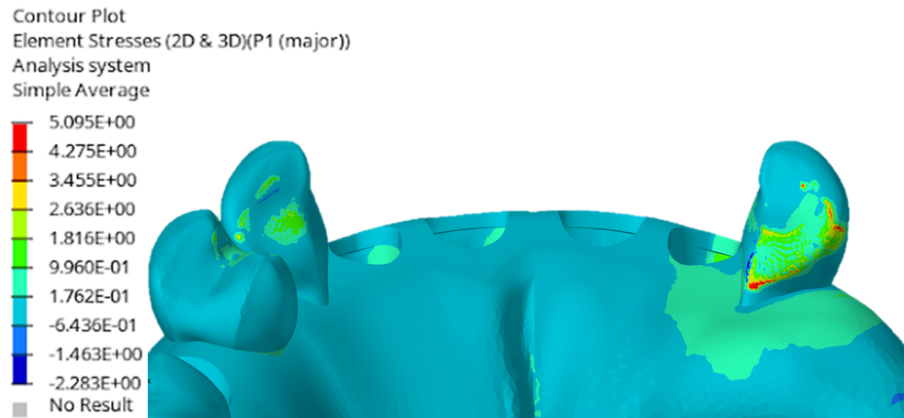


Figura 6: Deslocamentos totais do modelo anatômico.Fonte: autoral

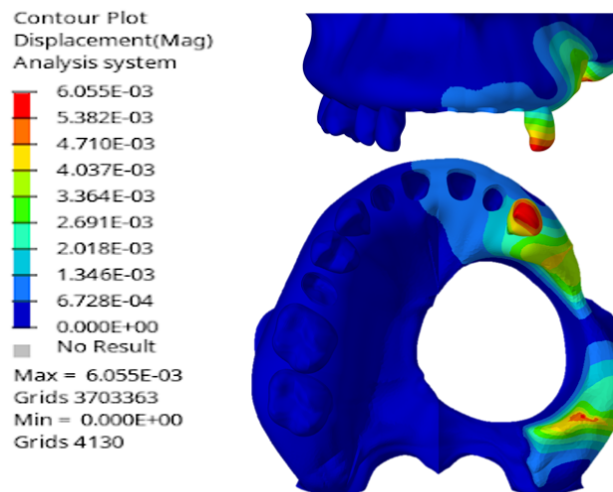


Figura 7: Deslocamentos totais do modelo anatômico.Fonte: autoral

MATERIAIS	MÓDULO DE ELASTICIDADE	COEFICIENTE DE POISSON (ν)	REFERÊNCIAS
Osso cortical	14,7	0,3	(MOROI et al., 1993)
Osso medular	0,5	0,3	(MOROI et al., 1993)
Dentina	13,7	0,31	(SANO; CIUCCHI; MATTHEWS, 1994)
Mucosa gengival	1,8	0,3	(HOLBERG, 2005)
Ligamento periodontal	7,0	0,45	(MOROI et al., 1993)
Resina acrílica	2,38	0,45	(MOROI et al., 1993)
Liga de cromo-cobalto	149	0,35	(MOROI et al., 1993)

4. Conclusão

O método de simulação por elementos finitos oferece uma abordagem eficaz sobre o desempenho biomecânico da prótese, permitindo que seja considerado diversos fatores, obtendo resultados que podem ser aplicados para avaliar a eficiência de próteses em diversas áreas. Além disso, é possível especular o seu uso como parte de um protocolo para soluções personalizadas e adaptar as necessidades do paciente, podendo também ajudar a prever possíveis complicações que possam surgir com o uso da prótese em longo prazo.

O *software HyperMesh* é uma ferramenta versátil para a simulação por elementos finitos, fornecendo recursos avançados para modelagem, análise e visualização dos resultados. Sua interface intuitiva e capacidade de lidar com modelos complexos, no entanto é importante ressaltar que essa técnica é complementar e não substitui a experimentação clínica.

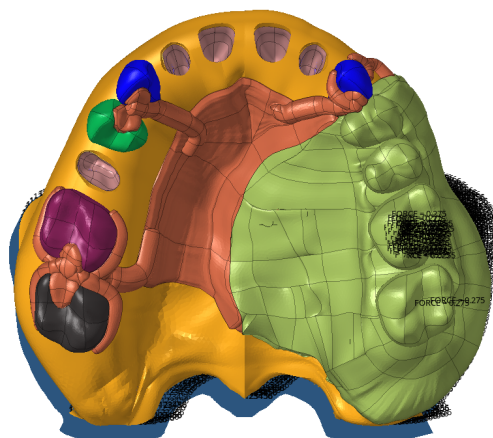


Figura 8: Visualização total da prótese. Fonte: autoral

5. Agradecimentos

Agradeço ao orientador Jorge Vicente Lopes da Silva pelas oportunidades de trabalho e discussões, mostrando-se sempre solícito e compreensivo. Agradeço também ao, Leonardo M. R. Machado pela atenção e paciência, e dedicação para orientar neste período de aperfeiçoamento técnico que estão contribuindo para a minha formação profissional e pessoal. Reconheço a dedicação da Marcília Guimarães, que mesmo não sendo minha coordenadora, me auxiliou em momentos cruciais que garantiram bons resultados em minha pesquisa e ao restante da equipe pelos auxílios na pesquisa e troca de experiências. Sou grata ao CNPQ e ao CTI pela oportunidade da bolsa de IC e a infraestrutura disponível.

6. Referências

Noritomi, P.Y. Introdução ao Método dos Elementos Finitos para Aplicação em Bioengenharia. Campinas, 2005. 30 slides. Documento Eletrônico.

RIVERA, Andrea Del Pilar Fabra et al. Aplicação das tecnologias CAD/CAE e de manufatura aditiva (MA) na avaliação de um sistema de retenção intramucos utilizado em odontologia. 2020.

FUZER, Thais Ustulin. Avaliação clínica dos dentes pilares e não pilares de prótese parcial removível. 2019. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

Vojdani, M., & Emami, E. (2018). Biomechanical considerations in dental implant design. *Journal of Dentistry*, 15(1), 1-12.

BAUTISTA PATIÑO, Angela Maria et al. Comportamento de três expansores maxilares em fissuras labiopalatinas: um estudo de elementos finitos. 2020