

Estudo do comportamento mecânico de modelos biológicos

Isadora U. d'Abril^{1,2}, Pedro Y. Noritomi², Leonardo M. R. Machado²
{isadora.abril, pedro.noritomi, leonardo.machado}@cti.gov.br

¹Faculdade de Engenharia Mecânica
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

²Laboratório Aberto de Impressão 3D – LaPrint
CTI/MCTI Renato Archer – Campinas/SP

Abstract. *This paper aims to apply bioengineering to support the engineering area for a master's project by master's student Luana Figueiredo, and her supervisor, Prof. Marcelo Mesquita, from “Faculdade de Odontologia de Piracicaba”, “Universidade Estadual de Campinas”, Piracicaba campus, which revolves around the analysis of the use of an infrastructure for mechanical reinforcement in a single-implant overdenture prosthesis*

Resumo. *Este artigo tem como objetivo a aplicação da bioengenharia para o apoio na área da engenharia para um projeto de mestrado da aluna de mestrado Luana Figueiredo, e seu orientador, Prof^o Dr. Marcelo Mesquita, da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, Universidade Estadual de Campinas, campus Piracicaba, que gira em torno da análise da utilização de uma infraestrutura para reforço mecânico em uma prótese overdenture de implante único.*

Palavras chave: *Bioengenharia; Modelagem computacional; Modelagem tridimensional, Reforço mecânico, Prótese overdenture.*

1. Introdução

A área da bioengenharia e biotecnologia tem encontrado muitas aplicações na saúde, além de ser uma das áreas que vem ganhando grande destaque dentro da indústria 4.0. A biotecnologia caracteriza-se a partir da multidisciplinaridade (AMARAL, 2020). Sendo assim, a bioengenharia tem como principal funcionalidade a utilização de ferramentas da engenharia na área biológica, sendo uma das áreas biológicas que mais ganham destaque, a área da saúde.

Dentro da área da saúde conseguimos elencar várias aplicações como ortopédicas, na confecção de órteses e próteses, celular, sendo possível a impressão de aglomerados celulares que podem obter diversas funções, utilizando biotintas, porém o

foco deste trabalho é a aplicação de modelos de elementos finitos para a utilização odontológica.

Em relação a esta área, podemos citar como caso de estudo, a utilização de prótese overdenture, com a finalidade de recuperação e reabilitação, pois são consideradas muito viáveis para o tratamento de pacientes completamente ou parcialmente edêntulos (LORENZI POLUHA et al., 2016), que são os casos de pacientes que possuem uma arcada que já não possui mais os dentes. Devolvendo a esses pacientes uma dieta que inclua alimentos de consistência mais dura, além da questão estética que influencia em áreas psicológicas e até profissionais.

As próteses overdenture passam por estudos in vitro, porém estes protocolos apresentam alguns empecilhos éticos e morais, com este cenário torna-se muito vantajosa a utilização de ferramentas de engenharia, como simulações por métodos de elementos finitos, que nos dizem o comportamento da arcada dentária, ou em pacientes edêntulos o comportamento das próteses e uma estimativa de falha, sendo possível uma estimativa de durabilidade, que está relacionada aos esforços que a prótese e o implante são submetidas.

Sendo assim, neste artigo encontram-se os detalhes do estudo de uma infraestrutura como reforço mecânico de uma prótese overdenture mandibular de implante único com diferentes materiais, entre Cobalto-Cromo e Polietileno de alta densidade (PEEK) e extensões, sendo elas curta, de canino a canino e longa do primeiro molar ao outro primeiro molar, fazendo uso do protocolo BioCAD (KEMMUKO et. al., 2009; MIZIARA et. al., 2020) para a análise de elementos finitos.

Então, para este trabalho, foram utilizadas as ferramentas de modelagem computacional, que já vêm sendo amplamente utilizadas na indústria de bens de consumo, foram utilizadas como apoio e validação para estudos odontológicos, a exemplo, para analisar a resposta de estruturas biológicas e dos componentes à carregamentos mecânicos. O uso desse recurso em estudos na área da saúde cresce à medida que tal conhecimento é difundido e o acesso a recursos computacionais aumenta.

2. Materiais e Métodos

Para a elaboração da metodologia, a mesma foi dividida nas seguintes etapas: elaboração de um modelo virtual em CAD (*Computer Aided Design*), geração de malha de elementos finitos e determinação das condições de contorno.

2.1. Geometria do Modelo Computacional

A estrutura óssea da mandíbula, que foi simplificada em duas densidades ósseas, que abrangem em cortical e trabecular, a mucosa, o implante e o conjunto de fixação, que foi dividido em dois tipos, bola e equador, reforço, que foi modelado em dois tamanhos diferentes e prótese overdenture, onde todos esses componentes foram construídos fazendo uso do protocolo BioCAD que auxilia na construção de geometrias

orgânicas utilizando NURBS (*Non Uniform Rational Basis Spline*) através do *software* Mcneel Rhinoceros® (versão 7.0) (Rhinoceros®, 2020).

Os ossos que compõem a mandíbula que corresponde a um adulto genérico saudável foram construídos a partir da biblioteca de modelos disponível no LaPrint - CTI “Renato Archer”. A partir deste modelo foram excluídos os dentes e ligamentos periodontais e os alvéolos remanescentes foram fechados de maneira a tornar a anatomia semelhante à de um paciente edêntulo. Utilizou-se, em seguida, a parte externa do osso cortical como referência para a construção da mucosa, realizando um *offset* de 1.5 mm nas superfícies desejadas.

Para a elaboração da prótese overdenture, foram utilizados como referências as metodologias encontradas nos artigos (PISANI, 2018; TERCANLI ALKIS, 2019) garantindo a geometria anatômica da prótese. Então, para o sistema de fixação da prótese na mandíbula, os implantes e *abutments* foram selecionados da biblioteca de modelos, os posicionamentos do implante não variam. Na Figura 1, podemos ver os tipos de componente de fixação.

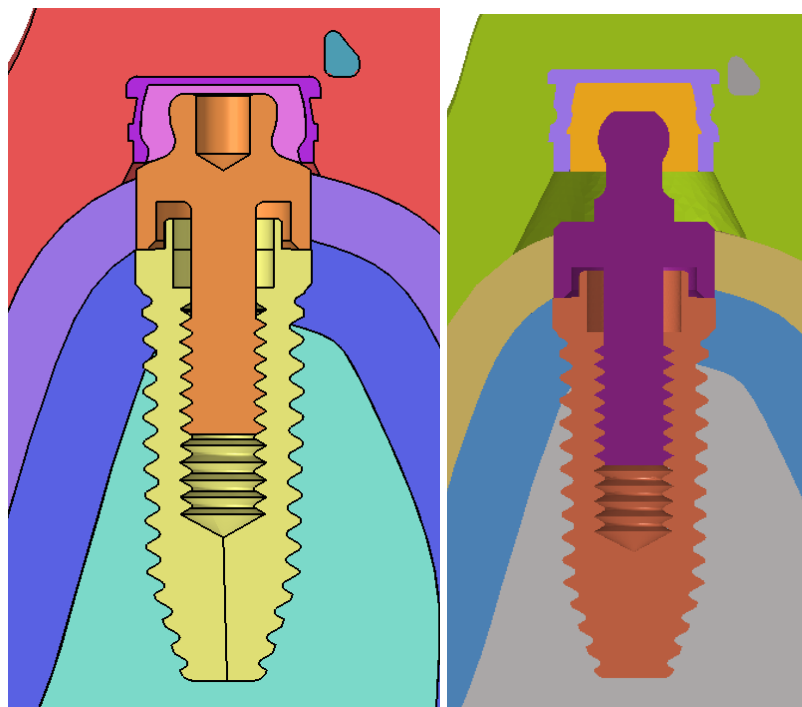


Figura 1. Componentes de fixação, direita do tipo bola e esquerda do tipo equator. Fonte: Autoral

Enquanto na elaboração e posicionamento do reforço, se foi notado que nas próteses com implante único central falhas foram apresentadas na região dos incisivos centrais, sendo assim, o posicionamento do reforço ficaria central e para auxílio em dissipar as forças até as extremidades da prótese. Além disso, a geometria do reforço foi idealizada para que tenha infiltração da resina da prótese. Assim foram subdivididos em 8 grupos, como demonstrado no Tabela 1.

Tabela 1. Classificação dos grupos de estudo

Grupos	Material do Reforço	Extensão do Reforço	Tipo de Fixação
1	Co-Cr	Curto	Bola
2	PEEK	Longo	
3	Co-Cr	Curto	Equator
4	PEEK	Longo	
5	PEEK	Curto	Bola
6	Co-Cr	Longo	
7	PEEK	Curto	Equator
8	Co-Cr	Longo	

2.2. Malha em Elementos Finitos

Nesta etapa, as geometrias geradas na etapa anterior e simplificadas a partir de condições de simetria da mandíbula e foram transformadas em uma malha bidimensional de pequenos elementos triangulares de primeira ordem, onde os nós ficam presentes nos vértices dos triângulos) que recobre as superfícies dos sólidos. Desta vez, importados em formato STEP (*Standard for Exchange of Product model data*) para o *software* Altair Hypermesh (versão 2021) (Hyperworks, 2021).

A malha bidimensional foi criada utilizando duas ferramentas do software utilizado, *edge* e *surface deviation*, sendo um utilizado para superfícies mais regulares, como as das áreas em corte da mandíbula e a outra para as superfícies menos uniformes como partes que precisam de uma superfície com mais detalhes como as coroas dos dentes, que não possuem superfícies planas e regulares. O controle dos elementos também foi determinado nesta etapa, de maneira a obter elementos menores em áreas de interesse e maiores em zonas que não necessitam tamanho detalhamento. Como visto na Figura 2.

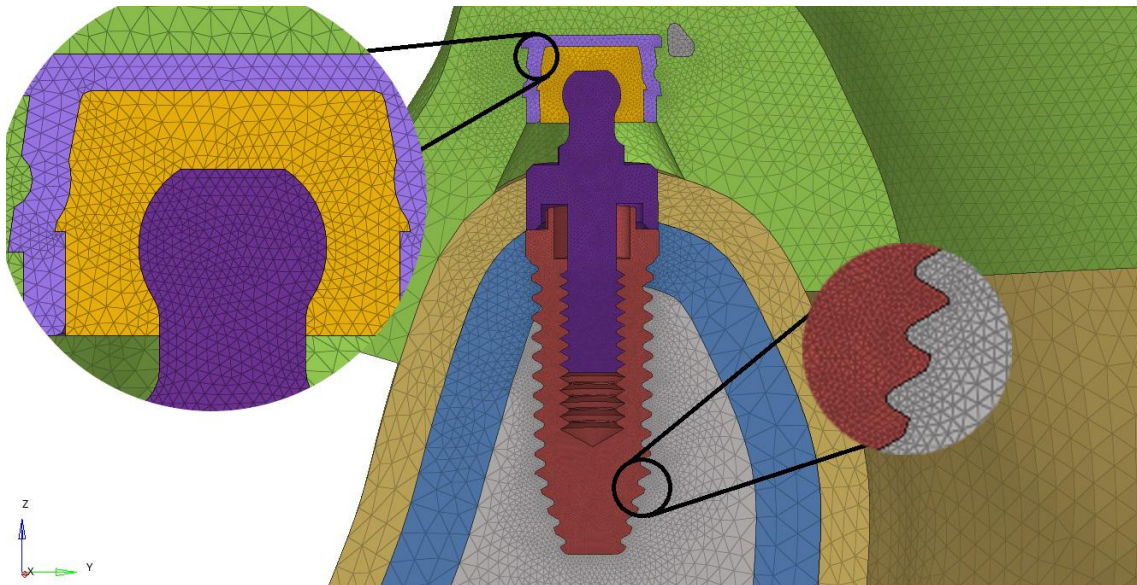


Figura 2. Exemplo de como a malha bidimensional foi elaborada, com destaques na região de interesse. Fonte: Autoral

Para a elaboração da malha tridimensional, com elementos tetraédricos de primeira ordem, foi utilizada a malha bidimensional para que haja o controle de distribuição de elementos, utilizando a ferramenta *tetramesh*. É possível ver os elementos tetraédricos na Figura 3.

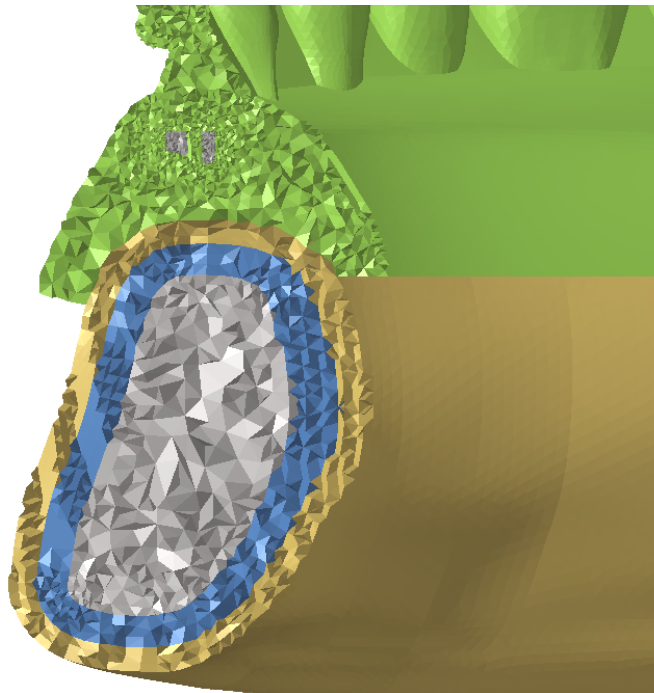


Figura 3: Malha tetraédrica do modelo. Fonte: Autoral

2.3. Condições de Contorno

Ao iniciarmos o setup da análise foi necessário a identificação e simplificação das condições de contorno da prótese, sendo assim, foram aplicados às propriedades dos materiais utilizados, além das restrições de movimentos, simetria e até mesmo contatos deslizantes foram estabelecidos. A fim de se aproximar a realidade de aplicação e ainda assim, economia de recursos computacionais, visto a grande gama de variações de projeto que nos foi proposta.

Os valores utilizados nas condições de contorno foram extraídos através de estudos in vitro. Porém, o desenvolvimento de protocolos para a realização desses estudos enfrenta dificuldades, que se justificam pois tais procedimentos normalmente envolvem questões éticas e morais. Além disso, avaliar teorias que dizem respeito a sistemas anatômicos é complexo, uma vez que implica em experimentos detalhadamente planejados, que apresentam diversas variações de parâmetros no espaço amostral anatômico analisado. Fazendo-se necessária a utilização de diversas simplificações como simetria, além do engaste da mandíbula. Como é possível notar na Figura 4.

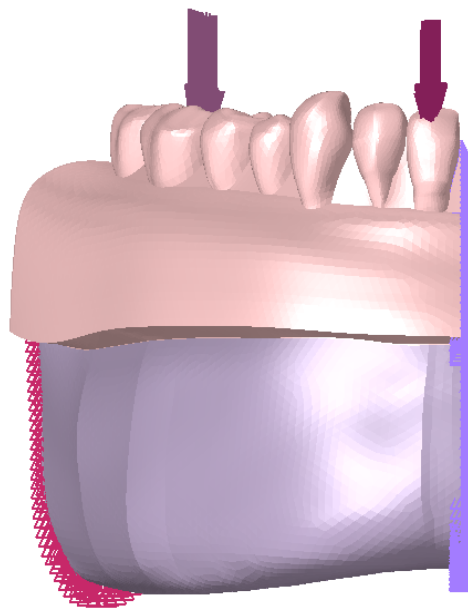


Figura 4. Condições de contorno aplicadas, de lilás a simetria e de fúcsia o engaste, além dos carregamentos agindo nos dentes. Fonte: Autoral

3. Resultados e Discussões

Para análise e comparação, utilizamos o critério de falha de Von Mises (CURY, 2013; MORALES, 2013) para os componentes metálicos, como implante, componente (bola ou equator) e cápsula. Para a infraestrutura de reforço foram utilizados os campos de tensões máximas e mínimas, a fim de parâmetros de comparação, visto que o PEEK é

um polímero e não pode ser aplicado o critério de falha de Von Mises como no Co-Cr. Além disso, a avaliação do tipo de geometria do componente e da extensão da infraestrutura necessita de uma análise mais detalhada que envolve profissionais da área odontológica.

A análise de elementos finitos foi realizada de forma linear estática, dada como coerente, apresentando um campo de tensões comportando-se como o esperado. Na Figura 5, vemos alguns resultados, de deslocamento da prótese e Von Mises do componente.

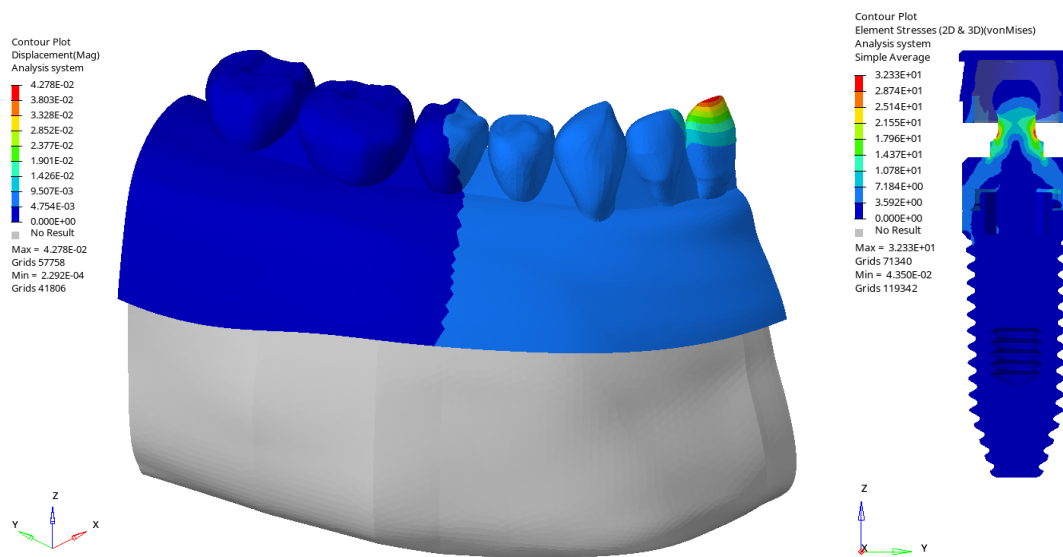


Figura 5. Resultados da análise. Fonte: Autoral.

3.1. Material da infraestrutura

O material da infraestrutura foi avaliado com os campos de tensões máximas e mínimas, visto que a análise de Von Mises não é possível em polímeros, devido a ductilidade baixa. Na Figura 6 temos a comparação entre os campos de tensão máximas.

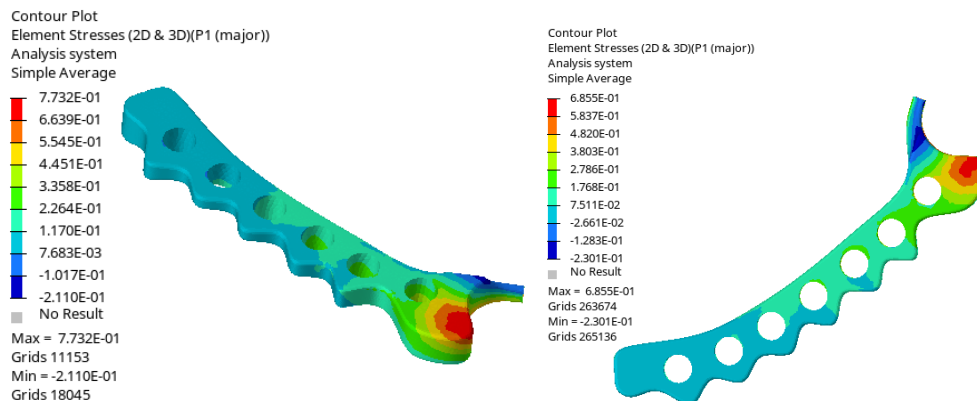


Figura 6. Campos de tensões máximas com a variação do material. Fonte: Autoral

4. Conclusão

Os resultados obtidos mostram que a aplicação de ferramentas da engenharia auxiliam em comparações qualitativas de pesquisas odontológicas. E com isso, se reforça a necessidade da interdisciplinaridade entre as áreas da saúde e exatas para o desenvolvimento de pesquisas e outras mais, visto que cada área tem limitações que devem ser respeitadas para obter resultados representativos e relevantes.

Além disso, conclui-se que a diferença entre os materiais são irrelevantes no quesito distribuição de tensão, porém entre a extensão e tipo de componente variam, sendo necessária uma avaliação da área odontológica necessária, além de uma análise de custos e viabilidade.

5. Agradecimentos

Agradeço ao professor Pedro Y. Noritomi, por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade, além dos ensinamentos que passam tanto pela pesquisa quanto pelas minhas experiências de vida, contribui também para o crescimento pessoal e profissional, sempre confiando e investindo em seus orientados. Também sou grata a ele e ao restante dos colegas de pesquisa e de laboratório, agradeço também o Leonardo M. R. Machado, que desempenhou o papel de coorientador e amigo, pelas discussões de trabalho e aprendizado conjunto, que contribuem para um ambiente de trabalho harmonioso e saudável, por todos os ensinamentos, correções que me permitiram apresentar um melhor desempenho em todo o meu processo. Além dos profissionais já citados, gostaria agradecer em especial aos meus colegas que além de discussões muito construtivas, conselhos profissionais que enriqueceram meu aprendizado, ofereceram-me também muito apoio e amizade incondicional.

Por fim, agradeço ao CTI Renato Archer, à comissão PIBIC e ao CNPq pela oportunidade de bolsa de Iniciação Científica e por toda infraestrutura disponibilizada, com elevada capacidade computacional, sem esses fatores, não seria possível a realização deste trabalho.

6. Referências

AMARAL, Creusa Sayuri Tahara et al. Novos caminhos da biotecnologia: As inovações da indústria 4.0 na saúde humana. *Revista Brasileira Multidisciplinar*, v. 23, n. 3, p. 203-231, 2020.

ABREU, Ricardo T. et al. Influence of material of overdenture-retaining bar with vertical misfit on three-dimensional stress distribution. **Journal of Prosthodontics: Implant, Esthetic and Reconstructive Dentistry**, v. 19, n. 6, p. 425-431, 2010.

CURY, Alexandre A. Critérios de falha. 2016.

GARGALLO-PEIRÓ, Abel et al. Distortion and quality measures for validating and generating high-order tetrahedral meshes. **Engineering with Computers**, v. 31, n. 3, p. 423-437, 2015.

HyperWorks Help 2017, Release 2017.1.0, Altair Engineering, Inc. Hypermesh, User 's Guide, Hypermesh Panels, Joint Panel.

KEMMOKU, D. T. et al. Use of BioCAD in the development of a growth compliant prosthetic device for cranioplasty of growing patients. In: **Innovative Developments in Design and Manufacturing**. CRC Press, 2009. p. 145-148.

LORENZI POLUHA, Rodrigo et al. Overdenture na reabilitação de paciente desdentado. **Revista Estomatológica Herediana**, v. 26, n. 3, p. 151-161, 2016.

MIZIARA, Thanus; MACHADO, Leonardo Mendes R.; NORITOMI, Pedro Y. Estudo e Desenvolvimento de Modelos BioCAD aplicando Elementos Finitos.

MORALES, Eduardo Domingo. **Análise de critérios de falha em materiais dúcteis: um estudo numérico e experimental**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PATIL, Pravinkumar G. et al. Biomechanical behavior of mandibular overdenture retained by two standard implants or 2 mini implants: A 3-dimensional finite element analysis. **The Journal of prosthetic dentistry**, v. 125, n. 1, p. 138. e1-138. e8, 2021.

PISANI, Marina Xavier et al. Biomechanical behavior of 2-implant–and single-implant–retained mandibular overdentures with conventional or mini implants. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 120, n. 3, p. 421-430, 2018.

Rhinoceros 3D. rhinoceros3D, 2020. What are NURBS?. Disponível em: <https://www.rhino3d.com/nurbs>. Acesso em: 23/06/2020.

TERCANLI ALKIS, Humeyra; TURKER, Nurullah. Retrospective evaluation of marginal bone loss around implants in a mandibular locator-retained denture using panoramic radiographic images and finite element analysis: a pilot study. **Clinical implant dentistry and related research**, v. 21, n. 6, p. 1199-1205, 2019.