

Estudo de metodologia para otimização de uma prótese parcial removível em PEEK

Eloísa Frigo de Campos¹, Pedro Y. Norotomi², Leonardo Mendes Machado Ribeiro²

{eloisa.campos, pedro.noritomi, leonardo.machado}@cti.gov.br

¹Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas – Campinas/SP

²Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer - CTI Divisão de Tecnologias para Produção e Saúde – DITPS

***Abstract.** This paper describes the use of the BioCAD protocol for optimizing the geometry of a removable partial prosthesis and evaluating the applicability of PEEK material, a biocompatible polymer with properties similar to human bone. The CAD tools and procedures used in Rhinoceros 7 software for biomodel optimization are discussed and detailed, as well as their functionality for the desired functions.*

***Resumo.** Este artigo descreve o uso do protocolo BioCAD para otimização da geometria de uma prótese parcial removível e avaliação da aplicabilidade do material PEEK, polímero biocompatível com propriedades próximas à do osso humano. As ferramentas e procedimentos CAD utilizados no software Rhinoceros 7 para otimização do biomodelo são discutidas e detalhadas, assim como sua funcionalidade para as funções desejadas.*

1. Introdução

O termo CAD significa Computer Aided Design, traduzido livremente para “Desenho Assistido por Computador”, método computacional que utiliza um software com ferramentas de desenho técnico 2D e 3D, amplamente utilizado em projetos de Engenharia (CARLOS; FILHO, 2010). Algumas ferramentas CAD são utilizadas a partir do uso de objetos paramétricos enquanto outras usam objetos gráficos primitivos como linhas, arcos e formas, como exemplo as ferramentas Revit e AutoCAD, respectivamente. Embora as linhas de desenvolvimento sejam diferentes, a reflexão é a mesma: o conceito da orientação a objetos (RODRIGUES, 2008).

Entre todas as ferramentas CAD disponíveis no mercado, são claras as vantagens: melhor apresentação do projeto, melhor documentação, melhora no gerenciamento de projeto, diminuição do tempo de desenho e conseqüentemente: aumento da produtividade (COSTA et al. 2015). As aplicações dessas ferramentas são variadas, incluindo arquitetura, sistemas robóticos, projetos mecânicos, e a área biológica, como odontologia, veterinária e medicina (ROCHA et al. 2019) sendo esta área biológica o foco deste estudo, a bioengenharia.

Dentro da bioengenharia, área com forte caráter multidisciplinar (MARIA ANTONIO et al.2004) a representação de estruturas anatômicas através de ferramentas

avançadas de CAD é limitada em razão da complexidade geométrica dos modelos biológicos, sendo necessário o uso do protocolo BioCAD, que consiste em criar biomodelos baseados em marcos anatômicos, garantindo uma reprodução de anatomia mais precisa e controlada (KEMMOKU, et al. 2009), através de geometrias orgânicas em NURBS (do inglês *Non Uniform Rational Basis Spline*) aplicando o software Mcneel Rhinoceros®(versão 7.0)

Na odontologia, os biomodelos oferecem uma vantagem substancial em termos de tempo, aprovação em comitês de ética por não precisar de testes em paciente, e planejamento cirúrgico, permitindo a aprimoração de próteses a partir das geometrias, simulações e dados obtidos através do protocolo BioCAD (PAULO, 2012). Este artigo descreve o uso do protocolo BioCAD para estudar e desenvolver uma prótese parcial removível (PPR) em um novo material chamado PEEK - Poli(éter-éter-cetona) - um polímero biocompatível com propriedades semelhantes às do osso humano (PAGLIA et al., 2022). A PPR avaliada e modificada foi criada por Mariana Pordeus, aluna da Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia de Bauru. Essa prótese é amplamente utilizada no tratamento de pacientes desdentados bilaterais, que têm ausência de dentes pilares posteriores em ambos os lados da arcada (PORDEUS, 2020). O objetivo principal é procurar manter o formato da estrutura protética, enquanto se explora o potencial do material PEEK.

2. Metodologia

A metodologia para desenvolvimento do modelo foi organizada em um fluxograma (Figura 1), iniciando com uma simulação utilizando o software Hyperview 2022 para visualização e o software Hypermesh 2022 com o solver Optistruct para simulação.



Figura 1: Fluxograma de metodologia da pesquisa Fonte: Autoral

Com os dados da simulação foram identificadas as regiões prioritárias de reforço, dividindo o modelo em cores para fácil visualização para que após a estimativa do reforço estrutural a geometria fosse interpolada e modificada usando o protocolo BioCAD no software Rhinoceros 7. Na primeira etapa, foi feita uma comparação entre materiais metálicos utilizados na produção de próteses - liga Cromo-Cobalto e Titânio - e o PEEK (poliéter-éter-cetona), material polimérico de alta performance que pode vir a substituí-los. relacionando-os com as propriedades do polímero com a intenção de reduzir a tendência de movimentação ortodôntica. Embora o material metálico apresente uma boa resistência para uso na prótese, seu alto módulo de elasticidade promove um

deslocamento ortodôntico dos dentes restantes prejudicando o paciente a longo prazo, característica não apresentada pelo PEEK, que possui propriedades mecânicas próximas aos materiais biológicos, como ossos e ligamentos periodontais (BENLI et al., 2020).

Em seguida, utilizando o software Hypermesh 2022 foi feita uma simulação para identificar as regiões que apresentavam os principais pontos de concentração de tensão, seguindo o critério de Von Mises que considera a máxima energia de distorção acompanhada de deslocamento antes da deformação plástica durante um carregamento, este tipo de critério de falha, é importante para definição de regiões de acúmulo de tensão, para materiais isotrópicos e com características dúcteis, como polímeros e metais (LUCENA, 2016). Com o software Hyperview 2022 foi possível visualizar essas áreas e defini-las como regiões prioritárias de reforço (Figura 2a), codificando as áreas por cores no software Rhinoceros 7 e as dividindo em *layers*, ferramenta usada para separar o modelo em camadas de acordo com a necessidade para separar detalhes (Figura 2b).

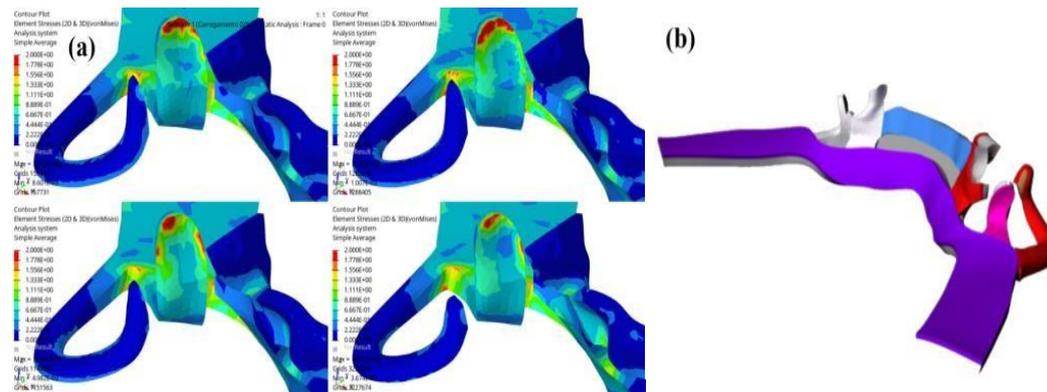


Figura 2: (a) Regiões de tensão obtidas no software Hiperview 2022 (b) Regiões prioritárias de reforço no software Rhinoceros 7 Fonte: Autoral

Como o biomodelo apresentava simetria bilateral, com o plano de simetria vertical, foi possível trabalhar em uma das metades e usar o método de espelhamento - ferramenta *Mirror* - para replicar as mudanças feitas, assim poupando tempo da modelagem. Inicialmente a parte da prótese que promove a fixação nos dentes anteriores (incisivos e caninos) foi isolada para ser otimizada separadamente como modelo, no software Rhinoceros 7 foram construídas linhas de nivelamento - usando a ferramenta *Interpolated Curve*, ou *InterpCrv* - para otimização do modelo, recriando superfícies quando necessário de forma a criar uma polisuperfície fechada (*closed polysurface*), ou seja, definir o modelo como um sólido no software. As superfícies que precisaram ser refeitas foram realizadas a partir das *edges* (termo usado para se referir às bordas) do biomodelo, utilizando os comandos *DupEdge*, que duplica as bordas já existentes e *NetworkSrf*, que cria uma superfície a partir de uma rede de curvas, neste caso as bordas duplicadas no comando anterior. Com essas modificações, o modelo de fixação já estava otimizado, como retratado na Figura 3.

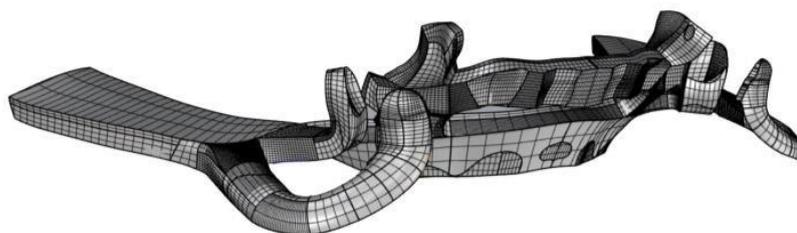


Figura 3: Modelo de fixação otimizado no software Rhinoceros 7 Fonte: Autoral

Após espelhar as mudanças feitas para que ambos os lados do modelo estivessem otimizados, foi necessário modificar o segundo modelo, que consiste nos dentes posteriores protéticos (molares e pré-molares), fabricados em resina. Inicialmente o modelo foi isolado em uma nova layer para facilitar as modificações e uma série de ferramentas foi utilizada para otimizar a estrutura e criar os espaços internos para encaixe do modelo de fixação na prótese completa. Para otimização das bordas, foram usadas as ferramentas *DupEdge*, *InterpCrv* e *NetworkSrf*, assim como no modelo 1. A primeira ferramenta a ser avaliada para a criação dos espaços internos e união dos dois modelos foi a *BooleanUnion*, que une áreas não compartilhadas em uma única polysurface, porém foi observado que no caso da junção dos dois modelos (duas *closed polysurfaces*) a funcionalidade booleana não era ideal. O método usado seguiu dois passos: cópia do modelo de fixação para uma layer nova e uso da ferramenta *Intersect*, que cria pontos na intersecção de curvas ou superfícies, para unir a parte interior do modelo dos dentes posteriores com a fixação de PEEK. Com os dois modelos modificados e otimizados, a última ferramenta usada para junção de ambos no biomodelo da prótese completa foi a *Join*, que conecta componentes em um único objeto.

3. Resultados e Discussão

A união dos dois modelos que foram isolados inicialmente foi bem-sucedida, gerando um biomodelo de PPR otimizado para uso do material PEEK na fixação dos dentes anteriores. O biomodelo pode ser reconhecido como uma *closed polysurface* no software Rhinoceros 7, possibilitando a fabricação pelo método de impressão 3D. Na figura 4 está explicitado o resultado da otimização do modelo de fixação seguindo os procedimentos descritos anteriormente, identificado como V0 para a versão inicial sem modificações e V1 para a versão otimizada. O biomodelo da prótese completo e otimizado está representado na Figura 5.

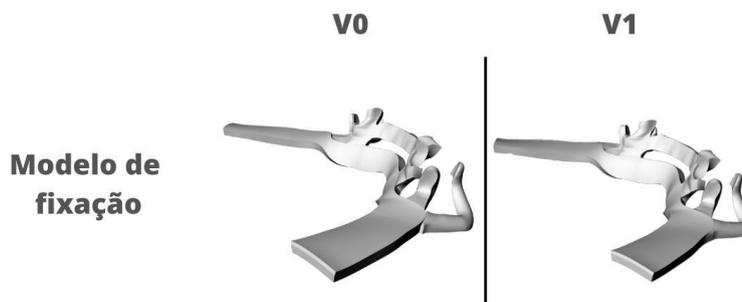


Figura 4: Comparação estrutura de fixação protética Fonte: Autoral

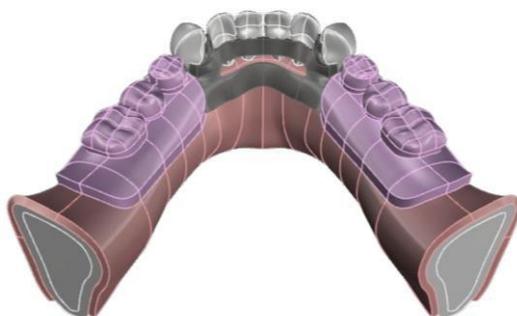


Figura 5: Biomodelo da prótese completo e otimizado gerado no software Rhinoceros 7 Fonte: Autoral

4. Conclusão

A metodologia efetiva empregada na otimização possibilitou a validação do protocolo BioCAD ao manipular e modificar estruturas anatômicas, gerando uma reprodução de anatomia mais precisa e controlada na prótese desejada. O objetivo principal de manter o formato da estrutura protética otimizando áreas de interesse para explorar o uso do material PEEK foi atingido com sucesso, gerando um biomodelo próximo ao modelo base com maior compatibilidade anatômica para que o novo material possa ser introduzido. Para continuidade deste trabalho é necessário dar seguimento ao ciclo de otimização, sendo o próximo passo a simulação do biomodelo aqui obtido, definição de áreas de interesse e nova otimização.

5. Agradecimentos

Agradeço ao orientador Pedro Y. Norotomi e ao coorientador Leonardo Machado por seu apoio no ano de pesquisa, assim como a orientação atenciosa e correções durante a bolsa. Agradeço à comissão PIBIC e ao CNPQ pela oportunidade de trabalhar no laboratório do CTI e produzir este artigo.

6. Referências

- CARLOS, A.; FILHO, P. A Evolução do CAD e sua Aplicação em Projetos de Engenharia New Technologies in Urban Automation View project. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/267251565>>.
- RODRIGUES, G. The generation of systems CAD. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~parc>>.
- COSTA, G. C. L. R.; FIGUEIREDO, S. H.; RIBEIRO, S. E. C. Estudo Comparativo da Tecnologia CAD com a Tecnologia BIM. Revista de Ensino de Engenharia, v. 34, n. 2, p. 11–18, 3 dez. 2015.
- ROCHA, G. L. P.; ABREU, C. W. DE. Tecnologia CAD/CAM (Desenho Assistido por Computador/Manufatura assistida por computador) aplicada à prótese dentária: estado atual. Revista Eletrônica Acervo Saúde, n. 22, p. e577, 7 abr. 2019.
- MARIA ANTONIO, A.; MANUEL DOMINGOS DE ALMEIDA ROLLO, J. A bioengenharia no brasil, século xx: estado da arte. [s.l: s.n.].

KEMMOKU, D.T.; NORITOMI, P.Y.; ROLAND, F.G.; DA SILVA, J.V.L. 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: Boca Raton, FL, USA, 2009; pp. 145–148, ISBN 9780429206498

PAULO, S. ANDRÉA ALVES DE SOUSA Avaliação das tensões geradas por prótese obturadora maxilar implanto-retida por meio da análise de elementos finitos. [s.l: s.n.].

PAGLIA, M. et al. PEEK polymer in orthodontics: a scoping review. *European Journal of Paediatric Dentistry*, v. 23, n. 2, p. 137–139, 2022.

PORDEUS, M. D. Universidade de São Paulo Faculdade de Odontologia de Bauru. [s.l: s.n.].

BENLI, M., EKER GÜMÜŞ, B., KAHRAMAN, Y. *et al.* Surface characterization and bonding properties of milled polyetheretherketone dental posts. *Odontology* **108**, 596–606 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10266-020-00484-1>

LUCENA MEDEIROS ANDRADE, F. DE; GRANDE, C. Avaliação dos estresses mecânicos nos enrolamentos de transformadores. [s.l: s.n.]. 6