

Operações Booleanas em Simulação de Elementos Finitos: Desafios e Estratégias de resolução

**Ana Maria Rennó Pocai², Marcília Valéria Guimarães¹, Leonardo Mendes Ribeiro
Machado¹, Jorge Vicente Lopes da Silva¹**

amrpocai@cti.gov.br, mvguimaraes@cti.gov.br , lmmachado@cti.gov.br,
jorge.silva@cti.gov.br

**¹Divisão de LAPRINT – Laboratório Aberto de Impressão 3D
CTI/MCTI Renato Archer – Campinas/SP**

**²Faculdade de Engenharia Mecânica
Universidade Estadual de Campinas – Campinas/SP**

***Abstract.** A biomechanical simulation model, created using the finite element method, can be used to analyze complex behaviors such as mechanical prostheses. However, in order for the results to be consistent with reality, certain precautions must be taken. One of these is the mesh between surfaces that are in contact, because they must be consistent with each other in order to establish how much friction there will be between those regions of the surfaces. Therefore, using the boolean operation provides precise intersections between the different parts of the model. However, it can be flawed. The aim of this work is to evaluate the flaws and their respective solutions, thus re-evaluating the real efficiency of the boolean operation.*

Keywords: Biomechanical simulation model, Contact, Boolean Operation.

***Resumo.** Um modelo de simulação biomecânica, criado através do método de elementos finito, pode ser usado para análises de comportamentos complexos como próteses mecânicas. Porém, para que os resultados sejam coerentes com a realidade, certos cuidados devem ser tomados. Um desses cuidados é a malha entre superfícies que estão em contato, isso por elas devem ser coerentes entre si, para que possa se estabelecer quanto de atrito terá entre aquelas regiões das superfícies. Portanto, o uso da operação booleana fornece intersecções precisas entre as diferentes peças do modelo. Contudo, ele pode apresentar falhas. O objetivo deste trabalho é avaliar as falhas e as suas respectivas soluções, reavaliando assim a real eficiência da operação booleana.*

Palavras chaves: Modelo de simulação biomecânica, Contato, Operação Booleana

1. Introdução

A bioengenharia é uma interface entre as ciências exatas e as ciências biológicas que busca integrar equipamentos e dispositivos elétricos e mecânicos com organismos vivos [1]. Uma ferramenta para a análise da bioengenharia é o método dos elementos finitos (MEF), que originalmente foi criado para resolver problemas estruturais no âmbito da engenharia, por exemplo, avaliando graus de deformação e tensão em sólidos quando determinadas cargas eram impostas [2].

Com o avanço das tecnologias o MEF foi passado para os computadores e atualmente pode ser usado para a análise geometrias arbitrárias que são sujeitas a sofrer qualquer tipo de carga, pode-se citar como exemplo a análise de complexos comportamentos biomecânicos de próteses [2].

A partir do método de elementos finitos pode-se desenvolver um modelo de simulação biomecânico [4], para que a análise estrutural apresente resultados confiáveis e condizentes com a realidade a criação do modelo precisa passar por passos essenciais como: modelagem da estrutura, definição dos materiais, definição da malha e definição dos parâmetros de simulação [3].

Um dos parâmetros importantes é a definição da superfície de contato, ou seja, a região que delimita a área de interação entre os corpos presentes no modelo no processo de simulação computacional por elementos finitos. Uma técnica eficiente e rápida para a criação das regiões de contatos é a operação booleana, onde ela utiliza o volume de dois sólidos que se interseccionam para criar um novo volume [4]. O objetivo deste artigo é apresentar os possíveis problemas advindos da operação booleana e suas possíveis soluções.

2. Metodologia

Com o propósito de conduzir a investigação, foi realizado um estudo da operação booleana entre a maxila e um parafuso (Figura 1 e 2), para a simulação biomecânica por elementos finitos a maxila precisava ser furada pelo parafuso.

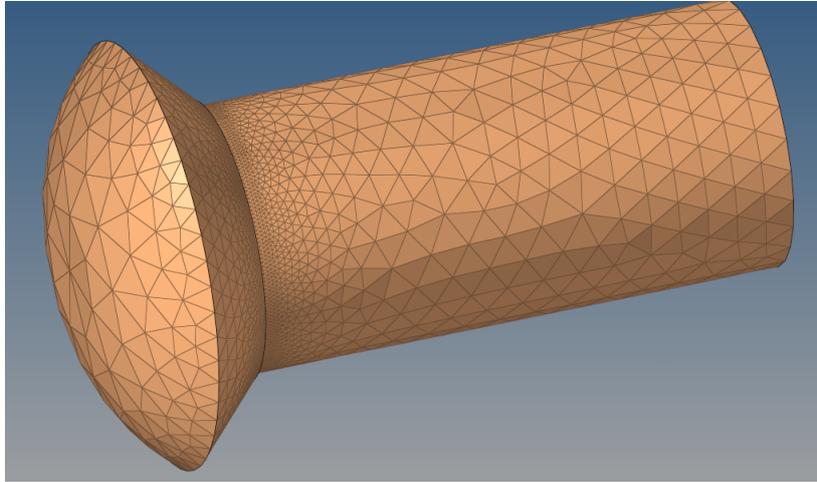


Figura 1. Parafuso

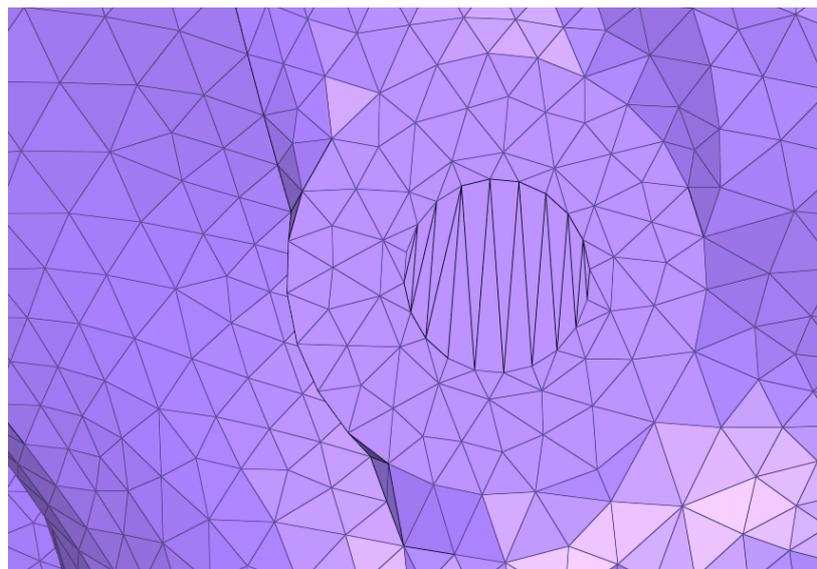


Figura 2. Maxila a ser furada.

Para esse modelo em específico era essencial que o formato redondo da maxila (Figura 3) se mantivesse intacto, já que esta entraria em contato com mais uma placa além do parafuso em questão.

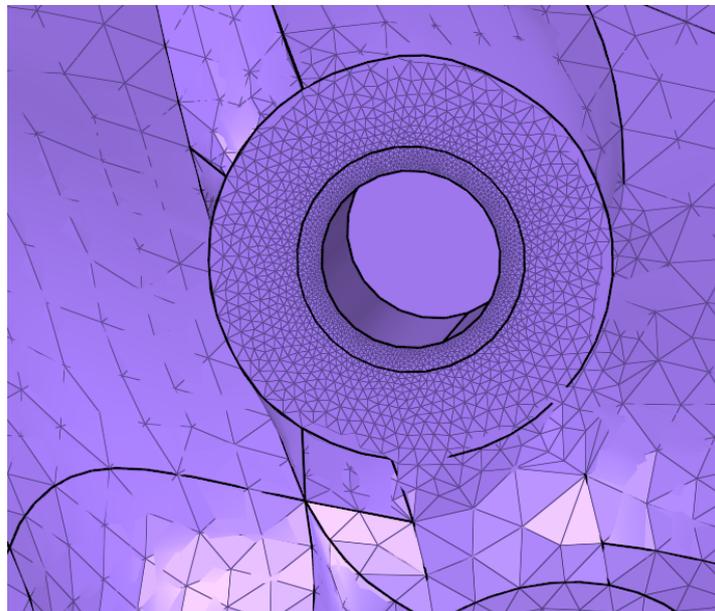


Figura 3. Formato da maxila

Tendo isso em vista, foi optado por utilizar o comando de interação operação booleana, para que se tivesse de maneira rápida e eficiente o melhor encaixe entre o parafuso e a maxila. Porém, após a utilização do booleano, observou-se dois tipos de problemas advindos desta interação. Primeiramente, observou-se que apesar do formato do furo ter sido criado, ouve uma ineficiência da operação em apagar o buraco em si (Figura 4).

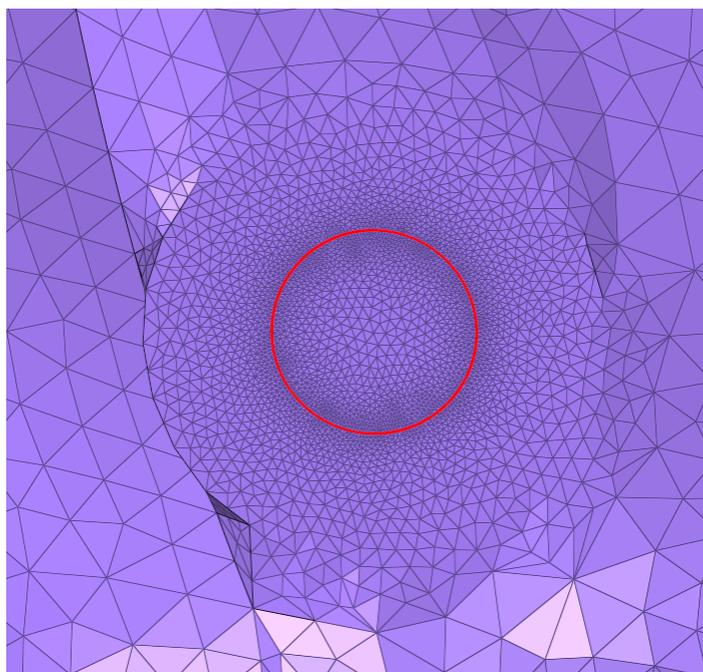


Figura 4. Primeiro problema - Furo não criado

A solução para este problema foi bem simples e rápida, é necessário somente apagar os elementos internos dos círculos, que depois de apagados mostram que a interação operação booleana foi eficiente em criar o buraco com contatos perfeitos entre os dois elementos, maxila e parafuso, e só falhou numa última etapa de apagar os elementos.

Depois de resolvido o primeiro problema, se observa outro problema bem mais complicado de ser solucionado, o formato da maxila não foi mantido, portanto a geometria da maxila foi alterada (Figura 5).

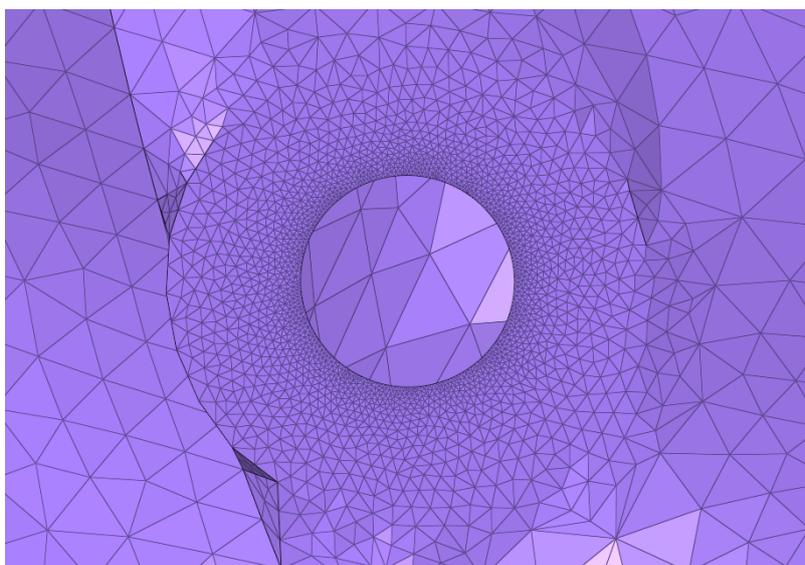


Figura 5. Problema 2 – Geometria da maxila alterada

A fim de resolver o problema da geometria alterada, foram testados vários métodos, e o que se mostrou mais eficiente é o descrito a seguir: primeiramente utiliza-se da própria geometria para extrair diversos pontos, e esses pontos serão usados como base para restabelecer a geometria original (Figura 6).

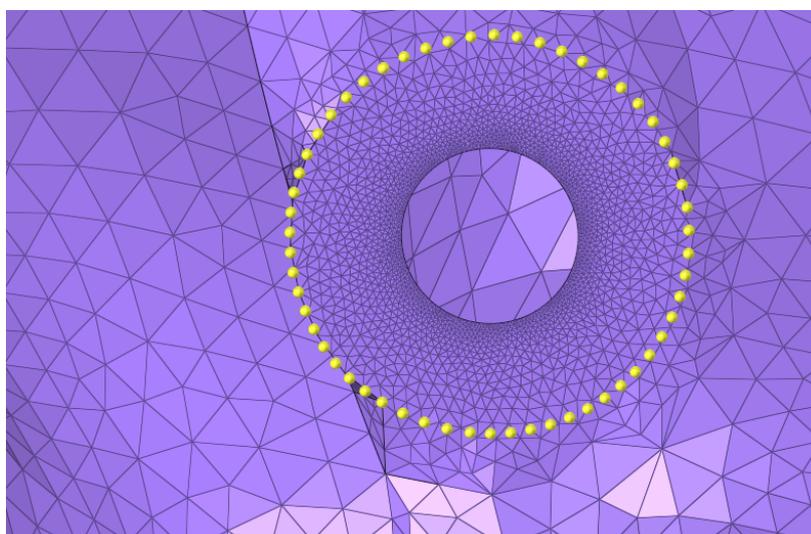


Figura 6. Nós extraídos da geometria

Em seguida os nós dos triângulos da malha são alinhados aos nós da geometria, para que o formato da geometria seja restabelecido (Figura 7). Pode-se observar que o método se apresentou eficiente e a geometria foi reestabelecida (Figura 8). O resultado final de todo este processo está apresentado na figura 9.

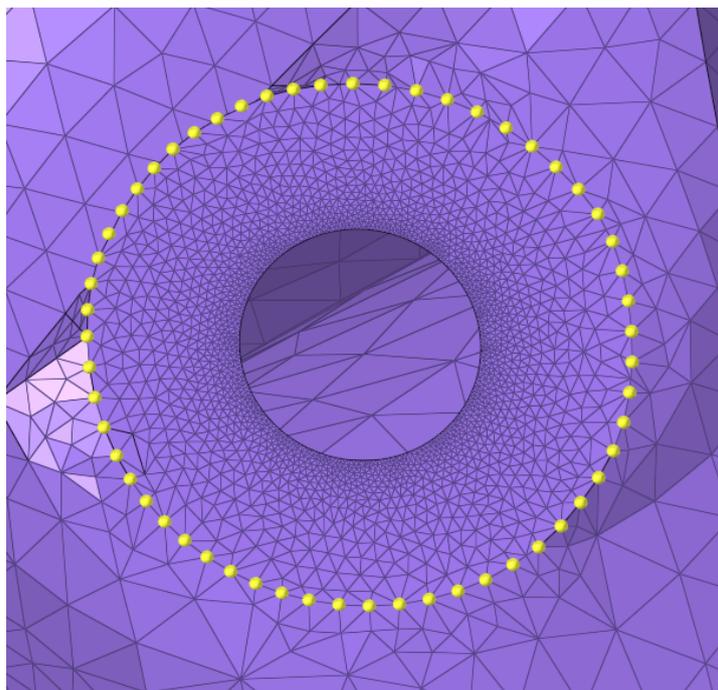


Figura 7. Alinhamento dos nós

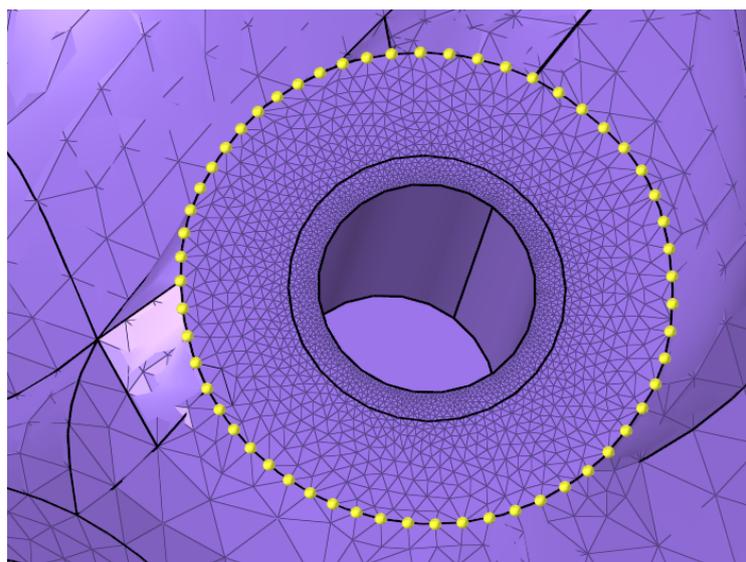


Figura 8. Geometria reestabelecida

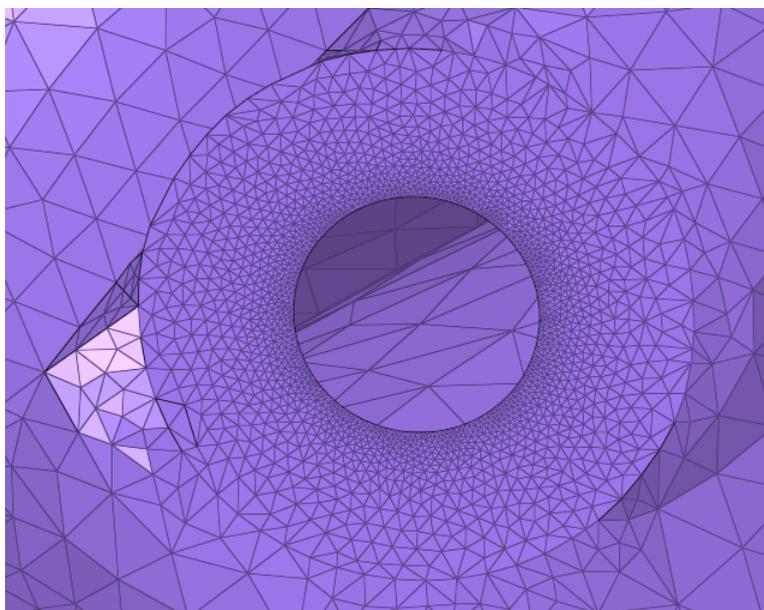


Figura 9. Resultado final

3. Resultados

Para se realizar uma simulação biomecânica em elementos finitos com resultados condizentes com a realidade, é necessário que as malhas das superfícies, no contato com outras superfícies, estejam alinhadas. A interação operação booleana permite que essas regiões de interação de superfícies sejam criadas com coerência e eficiência.

Enquanto a primeira falha não teve um impacto negativo significativo, a segunda já apresentou grandes impactos, caso a geometria da peça a ser trabalhada seja mais complexa, a segunda falha pode criar muitos problemas e a solução desses problemas tomar mais tempo do que refazer a geometria em CAD.

Portanto, a eficiência da utilização do booleano irá variar para cada tipo de modelo, para este modelo todas as falhas apresentadas pelo booleano foram simples de serem concertadas. Conclusivamente, o método de interação operação booleana é um método rápido e eficiente que permite a melhor qualidade das malhas para a simulação computacional.

4. Conclusões

Apesar da interação operação booleana apresentar falhas, o método ainda se mostra eficiente para criar malhas onde há superfícies em contato, como a maxila e o parafuso. As possíveis falhas que a operação pode apresentar, para este modelo, foram de fácil resolução e possuem resultados eficientes.

5. Agradecimentos

Agradeço ao CNPQ e a comissão PIBIC pela oportunidade a mim concedida e pela contemplação da bolsa, aos meus colegas de laboratório e em especial ao meu orientador Jorge Vicente Lopes da Silva e à coorientadora Marcília Valéria Guimarães, pelo conhecimento compartilhado e oportunidades de debate que contribuíram tanto para o trabalho como para meu desenvolvimento como pesquisadora. Agradeço ao CTI Renato Archer pela infraestrutura e material disponibilizados para execução deste trabalho.

Referências

[1] FREITAS, Márcia de Souza Luz. Engenharia Biomédica e Bioengenharia: termos similares? *Estudos Linguísticos (São Paulo. 1978)*, v. 48, n. 1, p. 319-337, 2019.

[2] Brito, J.V.C.; Garcia, D.C.; Crispim, S.S.; Matos, J.D.M.; Figueiredo, V.M.G. Application of finite elements in dentistry: A literature review. *J. Dent. Public Health. 2017*.

[3] TAYLOR, R. **FEAP --A Finite Element Analysis Program Version 8.4 User Manual.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=cda3986ac8fbc32f100681e57720e5e52cbe99ad>>.

[4] MENDES, L. et al. Seminário em Tecnologia da Informação do Programa de Capacitação Institucional (PCI) do CTI Renato Archer Avaliação das Estratégias para Geração de Superfície de Contato para Modelos de Simulação Biomecânica. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.gov.br/cti/pt-br/publicacoes/producao-cientifica/seminario-pci/xii_seminario_pci-2022/pdf/seminario-2022_paper_12.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2023.