

## Discretização de modelo computacional de prótese total fixa “all-on-four”

Matheus A. Silva, Marcelo F. Oliveira, Leonardo M. R. Machado

{masilva, marcelo.oliveira, leonardo.machado}@cti.gov.br

### Divisão de Tecnologias Tridimensionais – NT3D CTI Renato Archer – Campinas/SP

***Abstract.** This article describes the discretization of a CAD model, based on a physical model that represents a total prosthesis model, which uses the “all-on-four” concept, for a future finite element analysis. It also demonstrates the importance of modeling a geometry thinking about the interest points of the analysis, making simplifications where necessary so that the finite element mesh does not consume excessive computational capacity.*

***Keywords:** BioCAD, bioengineering, Finite Elements Method.*

***Resumo.** Este artigo descreve a discretização de um modelo CAD, que representa um modelo de prótese total fixa, a qual utiliza o conceito de implante “all-on-four”, para uma futura análise de elementos finitos. Também é demonstrada a importância de confeccionar uma malha de elementos pensando nos pontos de interesse da análise, fazendo-se simplificações onde necessário para que a malha de elementos finitos não consuma capacidade computacional em excesso.*

***Palavras-chave:** BioCAD, bioengenharia, Método dos Elementos Finitos.*

### 1. Introdução

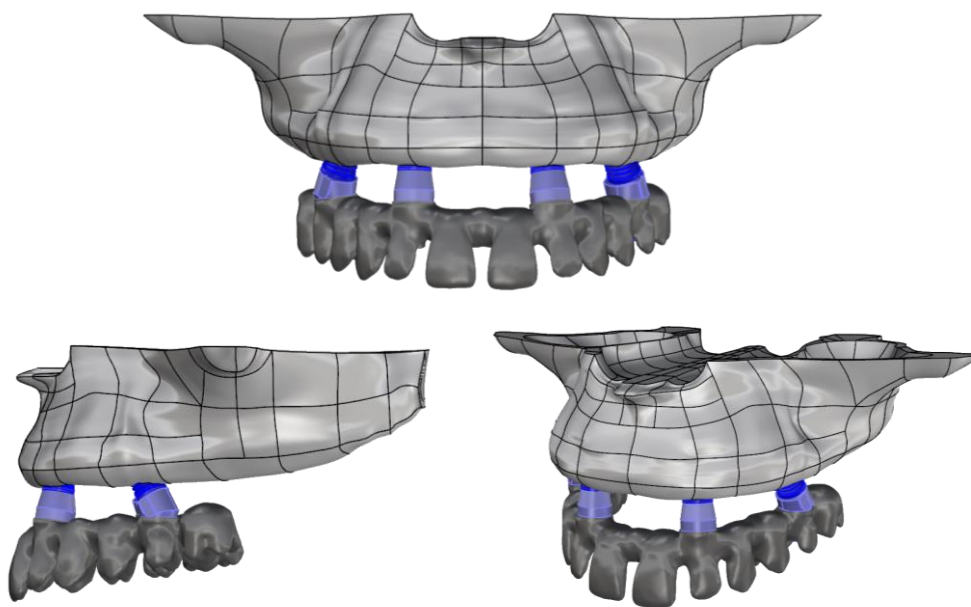
As características de uma maxila edêntula dificultam a reabilitação de mandíbulas atróficas. Dentre o uso de cantilevers ou da cirurgia de enxerto do seio nasal, o conceito “all-on-four” se destaca pois permite a reabilitação de maxilas parcialmente atrofiadas e com volume ósseo mínimo, com menores períodos de tratamento, menores custos e menor morbidade dos pacientes, resultando em uma melhor qualidade de vida [1].

Para análise da influência desse tipo de implante na biomecânica da maxila, são utilizados modelos CAD (Desenho assistido por computador). Estes são confeccionados de acordo com o protocolo BioCAD [2], desenvolvido pelo NT3D, o qual considera os marcos anatômicos de uma estrutura biológica para modelar uma versão padronizada da mesma. Assim pode-se realizar, por meio do Método dos Elementos Finitos [3], análises qualitativas de parâmetros de engenharia como campo de tensões, esforços e deslocamentos.

Este artigo tem como objetivo demonstrar a importação de um modelo CAD desenvolvido anteriormente [4] e sua discretização em elementos triangulares, estes necessários para confecção da malha para aplicação do Método dos Elementos Finitos. As futuras simulações visam a comparação do resultado obtido pelo método dos elementos finitos com ensaios mecânicos realizados em amostras impressas pela tecnologia Electron Beam Melting (EBM), com e sem o tratamento Hot Isostatic Pressing (HIP). Assim será possível auxiliar na determinação de benefícios advindos do tratamento e se o mesmo tem sua utilização justificada.

## 2. Metodologia

O modelo CAD a ser discretizado (figura 1) baseia-se no conceito denominado "all-on-four". Este prevê quatro implantes na maxila do paciente, sendo dois deles posicionados axialmente na região anterior da crista alveolar e os restantes angulados de 30° até 45° em relação a face distal na região posterior [1]. Estes implantes são utilizados para sustentar uma infraestrutura metálica que posteriormente será coberta de cerâmica para simular a dentição do paciente. Para a modelagem CAD, foi utilizado o software *Rhinoceros*®, o qual permite trabalhar com NURBS (*Non-Uniform Rational B-Splines*). A utilização desse tipo de representação matemática permite a representação precisa de modelos orgânicos complexos [5].



**Figura 1. Geometria final do conjunto modelado em estudo anterior [4].**

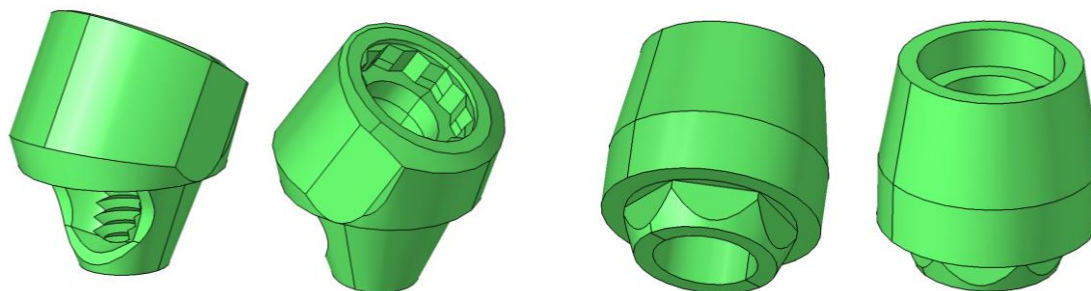
Finalizada a modelagem CAD, foi necessário exportar o modelo em formato STEP (Standard for the Exchange of Product model data), o qual representa um padrão internacional para intercâmbio de informação entre os softwares que tratam de modelos matemáticos.

Utilizando-se o software *Altair Hypermesh*®, foi possível importar o modelo STEP, o qual representa a geometria em função de superfícies. Assim, pôde-se iniciar a discretização e conseqüentemente a confecção da malha de elementos.

Primeiramente, foi necessário discretizar as superfícies importadas do modelo em malhas de elementos em duas dimensões. Para tal, foram utilizados elementos de forma triangular, denominados TRIA3 pelo software. Estes elementos garantem uma maior fidelidade ao acompanhar e representar as estruturas biológicas, mantendo-se assim os diversos marcos anatômicos observados no modelo. Vale ressaltar que, o modelo foi desenvolvido utilizando-se o protocolo BioCAD [2], assim tendo as superfícies importadas já com referenciais que ajudam na melhor definição da malha de elementos em pontos de interesse.

Conforme observado no estudo anterior, onde foi utilizada uma geração de malha automática e obteve-se excessivo detalhamento em regiões que não eram de interesse, a estratégia de criação da malha teve que ser alterada. Foram escolhidas peças da montagem do modelo como referência, das quais todas as malhas partiriam em função dos contatos envolvidos de componente a componente. Além de que, o processo teve que ser gradativo e manual, pois a malha automática não garantia uma boa descrição das superfícies com uma boa relação com a quantidade de elementos gerados.

As peças utilizadas como ponto de partida foram os pilares que conectam os implantes a barra anatômica (figura 2), pois tratam-se das menores peças em dimensão e também são pontos de interesse importantes, devido a transmissão de esforços ocorrer diretamente da arcada dentária para os implantes. Portanto, essa região deveria ficar bem definida, para garantir resultados melhores nessa região de análise.



**Figura 2. Pilares escolhidos como referência para início da discretização.**

Para confecção das malhas, foram utilizadas diferentes técnicas de discretização das superfícies, de modo a criar o menor número de elementos possíveis, sem comprometer a descrição correta da geometria em questão. Algumas seções se comportam melhor quando definidas com uma variação no tamanho dos elementos em função da superfície (Surface Deviation) e outras eram melhores descritas a partir da escolha do número de elementos em uma borda da superfície (Edge Deviation). Ainda assim, em alguns pontos específicos, foi necessário confeccionar a malha de maneira totalmente manual.

Por fim, ao longo da criação da malha, também levou-se em consideração a análise da qualidade da malha gerada, onde a mesma era avaliada em função do índice de qualidade (Quality Index). Esse índice pode ser definido pelo usuário, e engloba parâmetros dimensionais e de forma dos elementos, como: jacobiano; tamanho máximo e mínimo; aspect ratio; skew e warpage. Esse cuidado é necessário devido às possíveis interferências que esses parâmetros podem gerar durante o desenvolvimento das equações pelo software de elementos finitos.

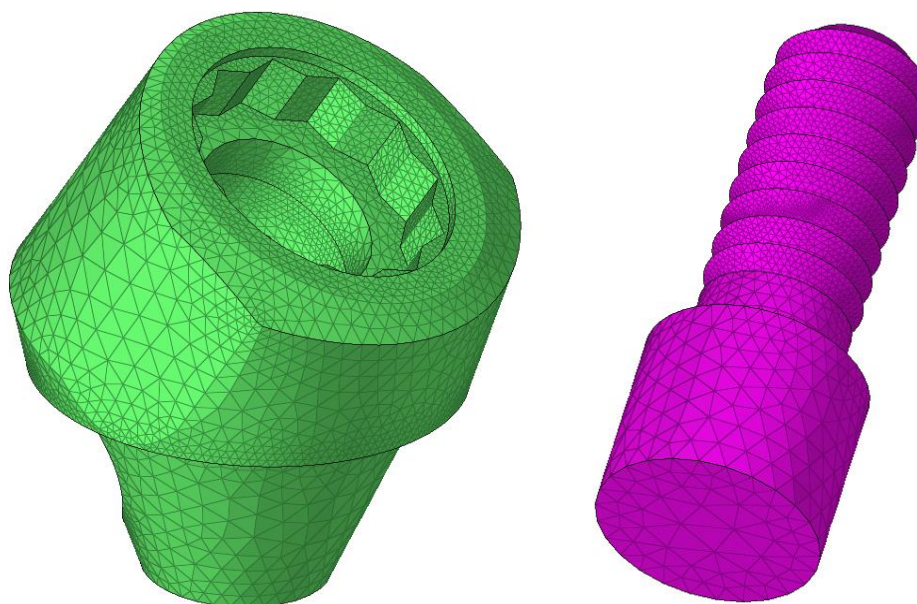
### 3. Resultados e discussão

Após a realização dos procedimentos acima citados, foi possível confeccionar uma malha 2D de elementos finitos, a qual representa o caso em questão. Na figura 3, pode-se observar interação da prótese com o osso cortical (estrutura externa, dura e frágil) e também com o osso trabecular (estrutura interna, esponjosa e absorvedora de impacto).



**Figura 3. Malha 2D de elementos finitos do modelo completo.**

Como exemplo da metodologia serão apresentados os resultados de apenas um dos implantes. Para isso, foi escolhido o implante da região posterior esquerda da maxila, representado pela figura 4. Pode-se, então, observar a malha 2D gerada a partir da geometria do pilar e de seu respectivo parafuso de fixação na barra anatômica.

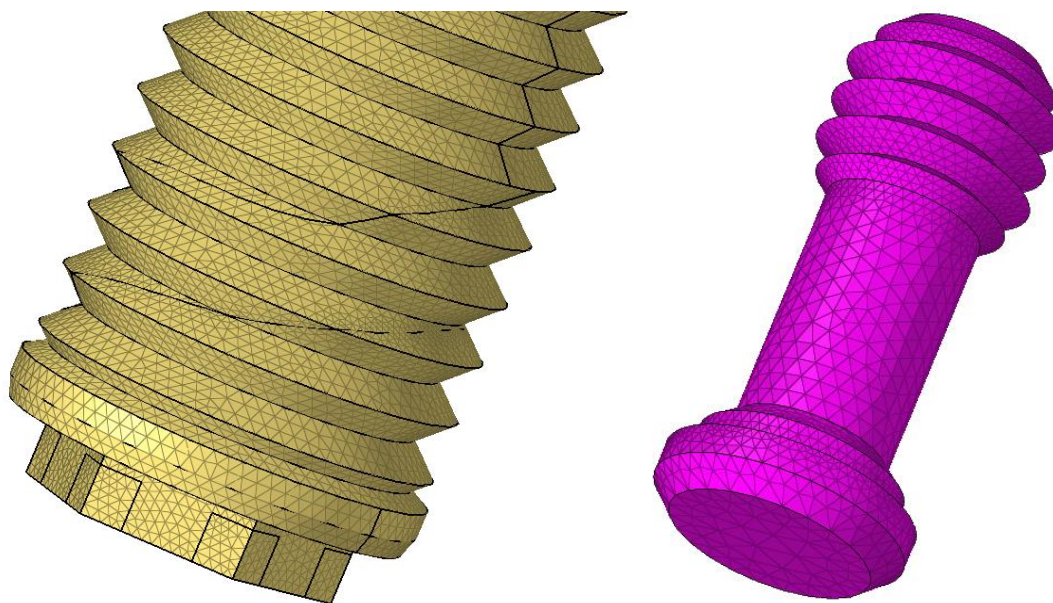


**Figura 4. Malha 2D do pilar da região posterior esquerda e respectivo parafuso de fixação.**

Através da malha 2D, é notável a presença de uma concentração de elementos pequenos nas regiões de interesse, que são o contato do parafuso com o pilar, contato do pilar com a barra anatômica e também o contato com o implante. Além disso, observa-se uma variação do tamanho dos elementos, que crescem em regiões regulares e que não são de contato, economizando assim custos computacionais na futura simulação. Vale

ressaltar, também, que foi possível simplificar a representação do parafuso, que somente representa uma fixação que transmite esforços pelos filetes da rosca.

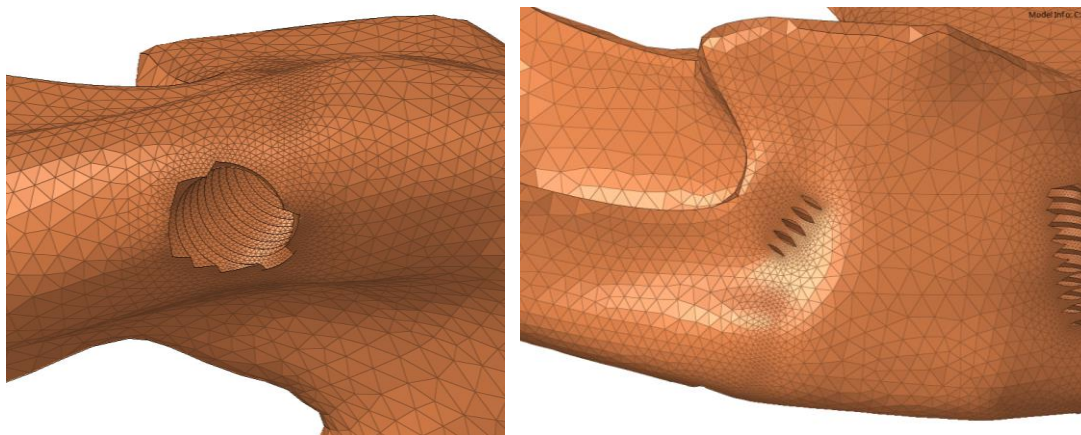
Em seguida, foi confeccionada a malha 2D do implante e seu respectivo parafuso de fixação, conforme representação da figura 5.



**Figura 5. Malha 2D do implante da região posterior esquerda e respectivo parafuso de fixação.**

Nesse caso, também se observa a alta densidade de elementos, porém com uma maior homogeneidade em toda extensão do implante. Isso se dá pois ele é considerado a peça mais importante do estudo, pois a partir dele que se darão os resultados dos esforços na maxila do paciente. Ademais, há um comportamento de acompanhamento dos elementos partindo-se das linhas da geometria, as quais delimitam os diversos, e importantes, contatos existentes: parafuso-implante; pilar-implante; implante-osso trabecular e implante-osso cortical.

Por fim, foram discretizadas as geometrias do osso trabecular e do osso cortical da maxila. Na figura 6 é representada a malha 2D do osso trabecular, a qual permite visualizar a transição de uma malha refinada para uma malha menos refinada. Quanto a malha do osso cortical, tem seu interior idêntico as superfícies que definem o osso trabecular.



**Figura 6. Malha 2D do osso trabecular.**

Observando-se a discretização, percebe-se que o refino de malha se dá nas regiões de contato com o implante, onde era desejado, tendo um crescimento no tamanho de elementos ao longo das superfícies que não são de interesse. Também é interessante notar o refino nas regiões que os implantes ultrapassam o limite do osso trabecular e entram em contato com o osso cortical. Essas regiões são de extrema importância, pois representam um caso mais realista do problema, onde se terá um acúmulo de tensões na interface rosca-osso cortical. Assim, é necessário ter uma quantidade maior de elementos para descrever bem o comportamento de estrutura.

#### **4. Conclusão**

Conclui-se que, seguindo as práticas e conhecimentos adquiridos, foi possível confeccionar uma discretização do modelo de implante total “all-on-four” que pode ser utilizado para simulações pelo Método dos Elementos Finitos.

Também se observa que a malha de elementos 2D está apta para ser utilizada como referência para confecção de uma malha 3D de uma maneira otimizada. Isto pois as simplificações feitas garantiram que o número de elementos criados fosse reduzido de maneira satisfatória, sendo assim possível realizar a simulação.

Por fim, para estudo futuro, deve-se realizar a transformação da malha de elementos triangulares 2D para elementos tetragonais 3D, além de avaliar as condições de contorno do problema. Assim, os resultados serão satisfatórios e poderão ser comparados com os ensaios mecânicos realizados fisicamente, colaborando para resultados acerca da eficácia do tratamento realizado nas próteses ensaiadas.

#### **5. Agradecimentos**

Agradeço ao professor orientador Pedro Y. Noritomi pelos ensinamentos, tanto da pesquisa quanto de experiências de vida, e também pelas oportunidades de trabalho e crescimento pessoal, sempre confiando e investindo em seus orientados. Também sou grato ao restante dos colegas de pesquisa, em especial ao coordenador Leonardo M. R. Machado, pelo apoio constante e dedicação para ensinar.

Além disso, agradeço ao CTI Renato Archer, à comissão PIBIC e ao CNPq pela oportunidade de bolsa de IC e por toda infraestrutura disponibilizada, sem a qual não seria possível a realização deste trabalho.

## 6. Referências

- [1] Bhering, C.L.B. & Mesquita, Marcelo & Kemmoku, Daniel & Noritomi, Pedro & Consani, Rafael & Barao, Valentim. (2016). Comparison between all-on-four and all-on-six treatment concepts and framework material on stress distribution in atrophic maxilla: A prototyping guided 3D-FEA study. *Materials Science and Engineering*.
- [2] 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.
- [3] NORITOMI, Pedro. *Introdução ao Método dos Elementos Finitos para Aplicações em Bioengenharia*. Campinas, 2005. 30 slides: Documento Eletrônico.
- [4] Silva, M. A., Oliveira, M. F., & Machado, L. M. R. Modelagem computacional de prótese total fixa “all-on-four” para ensaios comparativos. *XXII Jornada de Iniciação Científica do CTI Renato Archer*. 2020.
- [5] Rhinoceros®. rhinoceros3D, 2020. What are NURBS?. Disponível em: <https://www.rhino3d.com/nurbs>. Acesso em: 20/08/2020.