

MODELAGEM TRIDIMENSIONAL DO DISCO ARTICULAR A PARTIR DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA VISANDO ANÁLISE DA PRÓTESE DE ATM PERSONALIZADA

Bruna Beatriz de Paiva¹, Natália Zaghini Honório¹, Rafael Ferreira Gregolin²

¹Discente do curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados (MS), Brasil

²Docente do curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados (MS), Brasil
E-mail: brubeatrizp@hotmail.com; natalia.zaghi@gmail.com; rafaelgregolin@ufgd.edu.br

Resumo. As peças a serem criadas para próteses devem ser submetidas a análises e estudos, desde os esforços sofridos pela prótese, a avaliação da região do membro substituído e até mesmo a escolha do material adequado a ser utilizado. O objetivo desse trabalho é propor uma representação da interface entre o côndilo e a fossa articular (disco articular) de material implantável e que possa ser produzido por manufatura aditiva com total conexão a uma prótese da ATM (articulação temporomandibular) personalizada. Posteriormente foi realizada a avaliação de tensões e deformações no disco articular criado para a prótese da ATM pelo método dos elementos finitos. Foram utilizados o ambiente virtual SolidWorks para desenvolvimento do conjunto e este, submetido a análises no software Ansys utilizando a interface Workbench. As condições de contorno aplicadas foram simplificadas através de forças nas posições dos principais músculos que sofrem esforços durante a mastigação, as fossas temporais foram consideradas como pontos fixos e a região dos dentes incisivos como uma mola de alta rigidez 2000 N/mm³. O material do protótipo da placa foi a liga Ti6Al4V e do disco articular foi o Polietileno de Ultra-alto Peso Molecular e configurados através da união do tipo joint (junção colada). A deformação máxima no disco articular foi de $6,7 \times 10^{-5}$ mm e a tensão de Von Mises foi de 1,83MPa.

Palavras-chave: Disco articular, Prótese, Articulação Temporomandibular, ATM.

1. INTRODUÇÃO

A tomografia computadorizada (TC) é uma tecnologia que está ganhando mercado e auxiliando a medicina atual, por expandir a possibilidade de fabricar biomodelos e próteses. É definida como um dos métodos de diagnósticos por imagem, que utiliza radiação ionizante produzida artificialmente para gerar imagens do interior dos objetos em forma de tomos, ou cortes.

Em outro âmbito, a manufatura aditiva, termo genérico usado para descrever o processo de manufatura através do qual operam diversas ferramentas, conhecida também como “impressão 3D”, quando combinada a TC não se limitam apenas na confecção de órgãos ou estruturas ósseas para o auxílio de cirurgias, mas permitem o desenvolvimento de próteses personalizadas para utilização em diversos defeitos ósseos, sendo eles genéticos, degenerativos ou acidentados. A manufatura aditiva é um processo mecânico no qual diversas camadas de material são progressivamente sobrepostas uma à outra com o objetivo de formar um objeto, geralmente tendo como base um modelo digital (CIT, 2018). Diante disso, as peças a serem criadas para as próteses devem sofrer análises e estudos, desde os esforços submetidos ao membro substituído, até a escolha do material a ser utilizado.

Para a realização do desenvolvimento de próteses é necessário conhecer as alterações ocorridas no tecido ósseo, músculos e articulações, dados esses que podem ser obtidos através de uma tomografia computadorizada (TC). Em próteses articuláveis, submetidas a cargas cíclicas impostas pelos movimentos dos pacientes no dia a dia, existem cuidados a serem tomados no desenvolvimento das próteses. O implante deve possuir alta resistência à vida em fadiga e baixo desgaste devido ao atrito que pode levar a perda de massa e conseqüentemente à falha do conjunto articulável (GREGOLIN, 2017).

A mandíbula é considerada uma das regiões mais expostas aos traumas da face. Portanto é de suma importância para os cirurgiões maxilofaciais e dentistas, em procedimentos que envolvem correções da mandíbula e dos dentes, o conhecimento ainda

maior do movimento da mandíbula humana (VILLAMIL et al., 2005). Considerada o conjunto mais complexo do corpo humano, por duas razões: ser a única que permite movimentos rotacionais e translacionais, devido à articulação dupla do côndilo (DONNARUMMA et al., 2009), além de desempenhar funções importantes como a mastigação, fonação, deglutição e manutenção da oclusão dental (MC et al., 1986).

Durante a abertura da boca, movimentos laterais e para frente são controlados pela forma dos ossos e pela ação dos músculos e ligamentos, enquanto o ponto final do movimento de fechamento da mandíbula é controlado pela oclusão dos dentes (VILLAMIL et al., 2005). Os movimentos são complexos e controlados por reflexos, de grande importância na fala e na mastigação. O bom funcionamento dessa articulação também garante o contato oclusal dos dentes (IDOGAVA, 2018).

A oclusão funcional resulta em cargas iguais e opostas transmitidas à maxila e à mandíbula. A mandíbula absorve as cargas direcionadas inferiormente, uma vez que é um osso praticamente isolado. Além disso, a mandíbula transfere as cargas oclusais iguais e opostas para o resto do crânio (ROSSI, 2013). A cabeça da mandíbula, o côndilo e a fossa mandibular não são congruentes, sendo que o disco articular possibilita a adaptação do movimento nessa região (IDOGAVA, 2018).

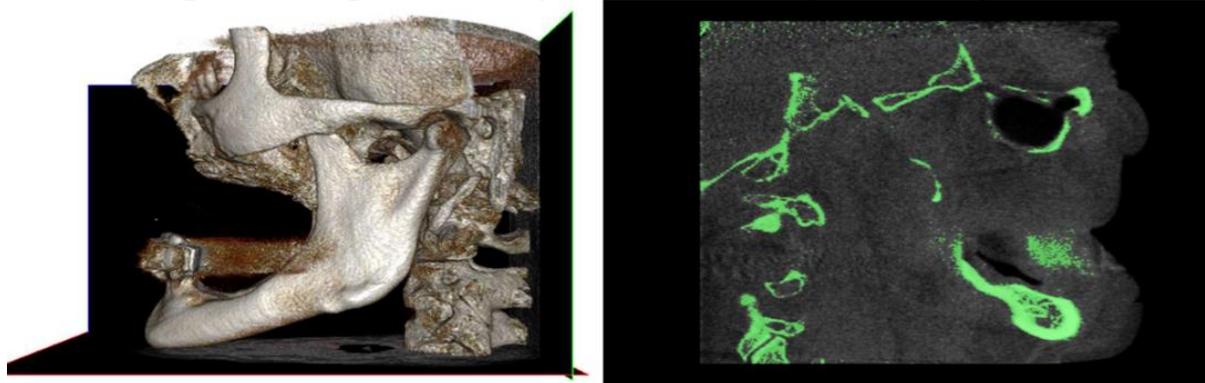
Muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos para avaliação de próteses odontológicas da ATM, desde adaptação para cada paciente até a análise de distribuição de forças que ocasionam em tensões e deformações na mandíbula e conseqüentemente, na prótese, a fim de averiguar a resposta mecânica e garantir vida útil do biomodelo implantado. Por tanto, o trabalho propôs o projeto de um disco articular a uma prótese da ATM já desenvolvida e, por conseguinte, a avaliação estrutural do mesmo visto sua importância na condição biológica humana.

2. METODOLOGIA

A proposta consiste em uma representação da interface entre o côndilo e a fossa articular (disco articular) por modelagem 3D e, posteriormente, submetê-la à análise de tensões e deformações pelo método de elementos finitos.

A partir da TC realizada pelo paciente foi utilizado o software InVesalius3 para visualização dos resultados do exame, apresentado abaixo (fig. 1):

Figura 01. Imagem da TC do paciente, e renderização realizada pelo software.



Fonte: Inversalius3.

Diversas geometrias para o disco articular já são encontradas no mercado, entretanto o desenvolvimento do projeto baseou-se em um modelo de placa da ATM personalizada, ou seja, específica ao paciente. A modelagem para o disco articular consistiu na obtenção das

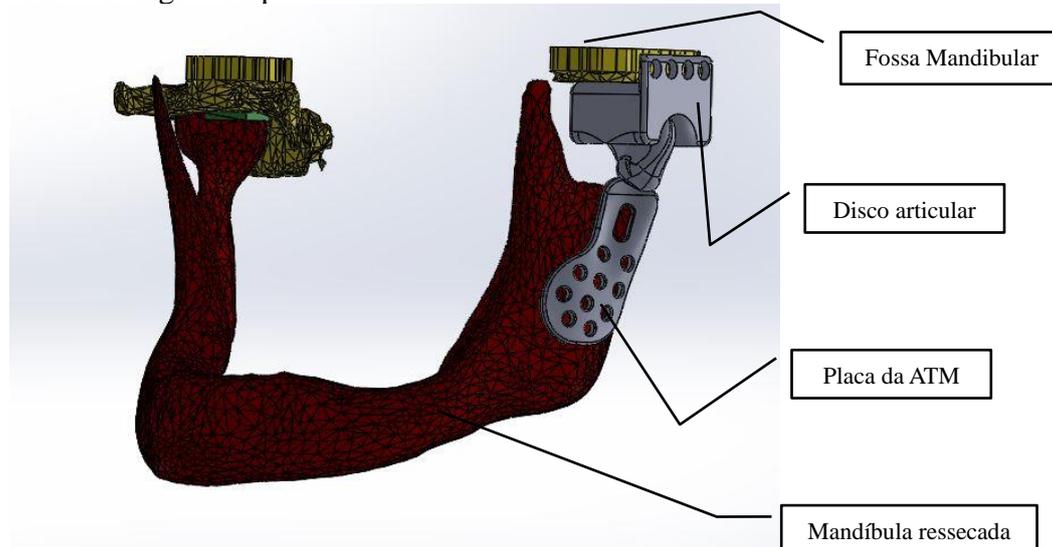
dimensões da geometria da peça, realizada da seguinte forma: para a superfície de encaixe superior entre o disco articular e a fossa mandibular retirou-se as medidas da tomografia computadorizada do paciente, enquanto a parte inferior de contato entre a placa da ATM e o disco, obteve-se pela própria placa já finalizada. A figura 2 apresenta o conjunto do disco articular com a placa de ATM e na fig. 3 é apresentada a montagem entre a placa da ATM, disco articular e a mandíbula utilizado para simulação.

Figura 2. Vistas do disco articular com placa da ATM.



Fonte: Elaborada pelas autoras.

Figura 3. Montagem da prótese da ATM total na mandíbula humana.



Fonte: Elaborada pelas autoras.

Definida a geometria a ser avaliada, replicou-se os métodos realizados por GREGOLIN (2016) a fim de comparar os resultados obtidos na mandíbula saudável com a mandíbula com o biomodelo. Para a aplicação do método de elementos finitos utilizou-se o programa *Ansys Student*; inicialmente gerou-se a malha de modo automático com elementos no tamanho de 1,0 a 3,0 mm, formato tetraédricos e o algoritmo matemático de solução Patch Independent, método recomendado para geometrias complexas.

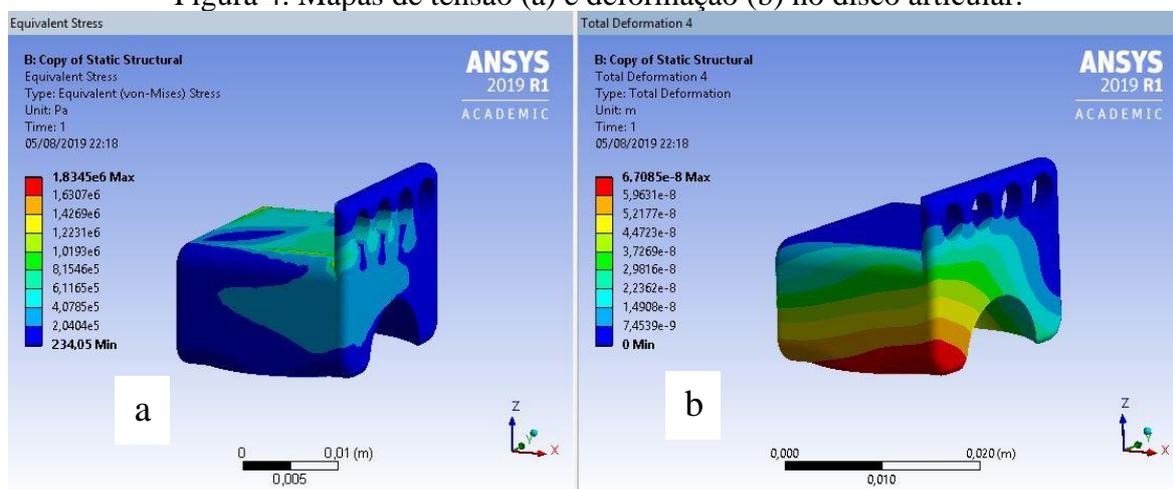
As condições de contorno foram aplicadas com base no conhecimento fisiológico visto. As forças aplicadas no modelo foram definidas com base na atuação dos principais músculos envolvidos na mastigação humana: masseter, pterigoideo medial e temporal. As forças inferidas foram da ordem de 1000N distribuídas nas respectivas inserções dos músculos com a mandíbula de forma simétrica em relação ao lado esquerdo e direito da mandíbula. As condições de restrição da mandíbula e crânio foram aproximadas por molas de alta rigidez nos dentes incisivos e uma fixação totalmente rígida na parte superior da fossa articular (GREGOLIN, 2016). O material do protótipo da placa foi a liga Ti6Al4V e do disco

articular foi o Polietileno de Ultra-Alto Peso Molecular e configurados como joint (junção), característica definida com base no trabalho desenvolvido por IDOGAVA (2018). Os estudos que compreendem a região mandibular abordam de forma simplificada o comportamento da mandíbula humana, avaliando-a de maneira estática, sem a presença de dentes e dos parafusos que fixam a prótese a mandíbula (fig. 2 e fig. 3).

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos são relevantes somente para as condições apresentadas, uma vez que, teve por base a implementação de um novo componente (o disco articular) há um trabalho já desenvolvido. A deformação máxima obtida no disco articular é de $6,7 \times 10^{-5}$ mm e a tensão de Von Mises 1,83MPa (fig. 4). Tais valores foram comparados a literatura de SANTOS (2008), GREGOLIN (2016) e IDOGAVA (2018) encontrando-se dentro dos limites apresentados pelos três autores.

Figura 4. Mapas de tensão (a) e deformação (b) no disco articular.



Fonte: Elaborada pelas autoras.

Na figura (a) pode-se observar os maiores esforços encontrados na região de contato do disco com a fossa mandibular, muito provavelmente devido à assimetria criada entre as duas superfícies, pois a fossa articular não é totalmente linear. Enquanto na figura (b), a maior deformação obtida se encontra no contorno do disco. Tal resultado se deve ao maior contato dessa região com o côndilo da placa da ATM, resultado observado também no trabalho de GREGOLIN (2016) e IDOGAVA (2018) pela simulação completa da mandíbula mesmo sem a geometria do disco presente.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de iniciação científica às autoras.

REFERÊNCIAS

DONNARUMMA, M. D. C. et al. DISFUNÇÕES TEMPOROMANDIBULARES: SINAIS, SINTOMAS E ABORDAGEM MULTIDISCIPLINAR. Sorocaba: [s.n.], 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rcefac/v12n5/44-08.pdf>>. Acesso em: 05/09/2018.

GREGOLIN, R. F. MODELAGEM TRIDIMENSIONAL DA REGIÃO DA ARTICULAÇÃO TEMPOROMANDIBULAR A PARTIR DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA VISANDO O PROJETO, ESTUDO E ANÁLISE DE PRÓTESE PERSONALIZADA. 2017. 29 p. Dissertação (Engenharia Mecânica) — UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”.

IDOGAVA, Henrique IDOGAVA. Desenvolvimento e análise de um modelo de mecanismo aplicado a prótese de Articulação Temporomandibular (ATM). 2018. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/332505/1/Idogava_HenriqueIDOGAVA_M.pdf>. Acesso em: 25/05/2019.

MC., R. et al. Mandibular fractures in an urban trauma center. 1986. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3746958>>. Acesso em: 01/10/2018.

ROSSI, Ana Cláudia. “AVALIAÇÃO DAS TENSÕES MECÂNICAS NA MANDÍBULA HUMANA EM OCLUSÃO DOS DENTES POSTERIORES. 2013. 65 f. Tese (Doutorado) - Curso de Odontologia, Faculdade de Odontologia de Piracicaba, Universidade Estadual de Campinas, Piracicaba, 2013. Disponível em: <repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/288438/1/Rossi_AnaClaudia_D.pdf>. Acesso em: 05/04/2019.

SANTOS, Sônia Cristina Moreira. Estudo Biomecânico da Articulação Temporomandibular. 2008. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/58296/1/000129172.pdf>>. Acesso em: 02/05/2019.

VILLAMIL, M. B. et al. Simulação do Movimento da Mandíbula e Comportamento da Articulação Temporomandibular. 2005. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/wim/2005/008.pdf>>. Acesso em: 01/04/2019.