

## REMODELAGEM GEOMÉTRICA E ANÁLISE ESTRUTURAL UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS PARA UM SISTEMA DE FIXAÇÃO INTERNA

Lucas Rotelli de Oliveira Ferreira, Faculdade de Engenharia de Bauru-UNESP, [lucasrotellif@gmail.com](mailto:lucasrotellif@gmail.com)  
Otávio Galo Foster, Faculdade de Engenharia de Bauru-UNESP, [otaviogalof@gmail.com](mailto:otaviogalof@gmail.com)  
Bruno Agostinho Hernandez, Faculdade de Engenharia de Bauru-UNESP, [bhernandez@uol.com.br](mailto:bhernandez@uol.com.br)  
Cesar Renato Foschini, Faculdade de Engenharia de Bauru-UNESP, [cfoschini@gmail.com](mailto:cfoschini@gmail.com)  
Edson Antonio Capello Sousa, Faculdade de Engenharia de Bauru-UNESP, [capello@feb.unesp.br](mailto:capello@feb.unesp.br)

**Resumo.** As técnicas que estudam sistemas visando à otimização são indispensáveis na Bioengenharia e no aprimoramento de componentes biomecânicos. Uma das características desses componentes é a complexidade de sua estrutura geométrica, fato que dificulta a modelagem em softwares CAD. Com isso, os avanços na tecnologia de aquisição de imagem são essenciais no estudo desses componentes. Equipamentos como o scanner 3D se tornaram ferramentas de grande importância para a bioengenharia, possibilitando a geração rápida e precisa de modelos em ambiente CAD. Porém, é necessário o tratamento da imagem para garantir a qualidade do estudo para remoção de ruídos antes da análise estrutural do sistema pelo Método dos Elementos Finitos (MEF). Assim, esse estudo visa apresentar uma metodologia da utilização de um scanner 3D, seguida do tratamento de imagem, reconstrução geométrica e análise estrutural por MEF de um fixador interno utilizado para o tratamento e consolidação de fraturas ósseas em caninos.

**Palavras chave:** Scanner 3D, Tratamento de Imagem, Reconstrução Geométrica, Método dos Elementos Finitos, Fixador Interno.

### 1. INTRODUÇÃO

O crescimento da interdisciplinaridade entre a engenharia mecânica e a medicina trazem grandes benefícios no tratamento do trauma. Nos Estados Unidos, por exemplo, são realizadas 3,6 milhões de cirurgias ortopédicas por ano. Entre as dez operações mais frequentes, quatro necessitam de implantes metálicos (fixadores externos, placas, parafusos, etc) (Moss et al., 1990). Com isso, grandes avanços foram realizados na otimização desses implantes, buscando métodos mais eficientes e seguros para o tratamento. Essa otimização está ligada ao conceito de engenharia reversa, analisando e melhorando projetos de componentes biomecânicos já existentes no mercado. De maneira simplificada, esse processo envolve os seguintes passos para a análise: escolha do componente a ser analisado, geração do modelo CAD e análise estrutural.

Em linhas gerais, componentes biomecânicos apresentam geometrias complexas e de difícil modelagem em CAD. Em vista dessa dificuldade, avanços na tecnologia de equipamentos de aquisição de imagens foram feitos para garantir a qualidade das análises. Um dos equipamentos disponíveis para a modelagem desses componentes é o scanner 3D, utilizado na recriação superficial de objetos tridimensionais. Esse equipamento apresenta grande potencial em pesquisas devido à sua alta precisão e facilidade de uso, abrindo várias possibilidades em pesquisas laboratoriais, incluindo a bioengenharia (Kusnoto et al., 2002). As vantagens desse equipamento são a facilidade de uso, autocorreção de distorções de imagem e rapidez no processo de obtenção de imagens.

Para auxiliar a análise estrutural de componentes biomecânicos para a consolidação de fraturas ósseas, muitos estudos utilizam o Método dos Elementos Finitos – MEF (Favre et al., 2011; Lovald et al., 2010; Knoll et al., 2006; Freitas et al., 2010). Esse método numérico se baseia na discretização do sistema em forma de malha, buscando aproximar um problema contínuo por outro discreto cuja solução está em um espaço de dimensão finita. Utilizando como parâmetro base o deslocamento nodal, pode-se prever a distribuição de tensões, identificando possíveis falhas que o sistema estaria sujeito, buscando assim a otimização. Nesse estudo, será feita a análise de um fixador interno conhecido como placa de compressão com fixação bloqueada (LCP).

Desde as primeiras aplicações no final do século XIX (Miclau et al., 1997), as placas de compressão apresentam crescente eficiência e diversidade, havendo a criação de placas com sistemas de fixação específicas para certos tipos de fraturas. No caso do estudo, a fixação bloqueada consiste em um sistema de parafusos no qual os parafusos são travados na placa. A forma de bloqueio do parafuso pode ser feita através da cabeça do parafuso ser bloqueado por uma contraporca rosqueada, ou a cabeça do parafuso é rosqueada e se fixa dentro de um adaptador ou da própria placa (Cronier et al, 2012). Assim, esse estudo visa realizar o estudo geométrico e estrutural desse sistema para prever possíveis falhas e propor melhorias, buscando a saúde e bem estar dos pacientes durante o tratamento.

## 2. OBJETIVO

O objetivo desse estudo é apresentar uma metodologia de estudo de componentes biomecânicos através da utilização de um scanner 3D de linha NextEngine 3D. Juntamente ao processo de obtenção de imagem através do escaneamento 3D, apresentar técnicas de processamento de imagem, modelagem geométrica em softwares CAD e análise estrutural utilizando o Método dos Elementos Finitos. Nesse estudo, foi analisado um fixador interno de placa LCP S.P.S. Free-block utilizada para o tratamento e consolidação de fraturas ósseas em caninos.

## 3. METODOLOGIA

No estudo, utilizou-se um scanner 3D da linha Nextengine HD para o processo de aquisição de imagem da placa de compressão. O software desse equipamento gera uma nuvem de pontos (extensão \*.stl) que deve ser tratado no *Meshlab versão 1.3.2* para remoção de ruídos e suavização de superfície. Durante esse processo, há a geração de uma superfície do componente em análise. Porém, para a análise estrutural, é necessário a geração de um sólido.

Tendo isso em vista, o modelo superficial tratado é exportado para o software CAD *Solidworks 2012* para preenchimento. Com esse procedimento, o sólido formado é posicionado no sistema pelo próprio software, sendo exportado para o software de análise numérica por MEF *Ansys versão 13*, na qual utiliza linguagem APDL. Nesse modelo, são aplicadas forças e condições de contorno que reproduzam o mais próximo possível as condições reais de uso da placa durante o tratamento.

### 3.1. SCANNER 3D

Para a realização do scanner 3D, deve ser feita a preparação da superfície da peça a ser analisada. Como o componente em estudo é feito de material metálico, ele apresenta uma superfície de alta refletividade, refletindo os feixes de laser emitidos pelo scanner e impedindo a aquisição de dados pelo equipamento. Para evitar esse problema, aplicam-se produtos apropriados (talco, tinta, spray acrílico fosco, etc.) para reduzir a refletividade da peça, gerando uma nuvem de pontos mais precisa em relação ao modelo real. No estudo, foi utilizada tinta branca a base de água enviada pelo próprio fabricante, pois apresentou uma melhor adesão à superfície em relação ao talco e melhores resultados posteriores.

O próximo passo é realizar o posicionamento da placa para o escaneamento em um suporte, no qual permite a aquisição de dados de toda a peça por apresentar uma base giratória. Nesse estudo, o escaneamento completo foi realizado no modo automático com dezesseis movimentos da base do suporte, implicando em movimentos rotativos de 22,5° por passo. Esse equipamento permite realizar a operação no modo manual com um maior número de escaneamentos para maior precisão do modelo gerado, porém implicando na necessidade de alinhamento manual posterior da nuvem de pontos.

Finalizando o processo, o scanner realiza o alinhamento da nuvem de pontos no software ScanStudio HD. Esse alinhamento é necessário para reproduzir de maneira mais precisa possível o modelo real da peça, garantindo a qualidade da nuvem de pontos gerada. Em seguida, o arquivo é exportado (extensão \*.stl) para o tratamento de imagem no software open-source *MeshLab 1.3.2*. A Figura (1) ilustra o equipamento utilizado durante o estudo, citando os principais componentes do suporte responsável pelo posicionamento da peça.

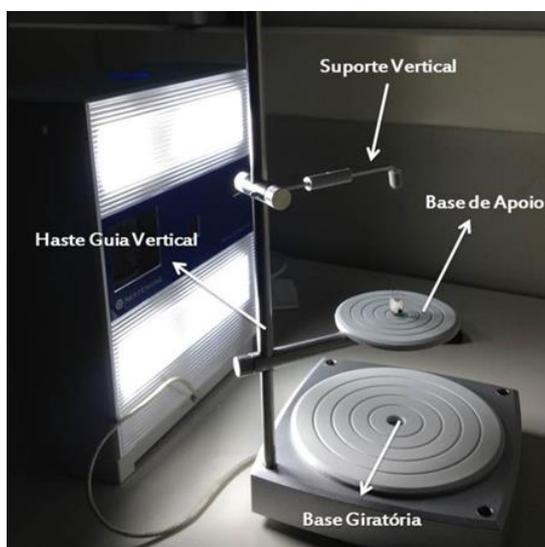


Figura 1. Scanner 3D Nextengine HD e principais componentes de suporte

### 3.2. TRATAMENTO DE IMAGEM, REMOÇÃO DE RUÍDOS E SUAUIZAZÃO DE SUPERFÍCIE

No software *Meshlab versão 1.3.2*, os arquivos de malha já alinhados são unificados em apenas um arquivo. Com esse processo, inicia-se a reconstrução da superfície pelo método de Poisson. Esse método cria malhas triangulares, considerando todos os dados de uma só vez, ou seja, sem particionamento. As malhas construídas apresentam superfícies contínuas, com nível de detalhe variável associado aos valores do parâmetro *octree depth*. Com os parâmetros de reconstrução ajustados, esse método cria superfícies precisas mesmo com dados não uniformes. A partir da reconstrução superficial por Poisson no software Meshlab, gerou-se 503598 faces e 251787 vértices para construir a malha triangular da peça. A Figura 3 mostra o resultado desse processo.

O processo de escaneamento 3D e tratamento de imagem são utilizados para adquirir as dimensões superficiais da peça analisada e gerar a malha através da nuvem de pontos, dando forma à superfície. Porém, para a análise estrutural pelo Método dos Elementos Finitos, é necessário um modelo 3D sólido. Esse modelo sólido é gerado com o auxílio de softwares CAD (Computer Aided Design) A superfície reconstruída no Meshlab é exportada para o software CAD Solidworks 2012 para a reconstrução volumétrica do modelo.

### 3.3. REMODELAGEM GEOMÉTRICA E MONTAGEM DO SISTEMA EM AMBIENTE CAD

Primeiramente, deve-se habilitar o suplemento do Solidworks “Scanto3D” para permitir a importação do arquivo \*.stl. Nesse estudo, foi adotada a metodologia de posicionamento dos parafusos pelo processo de “Subtração de volume” no próprio software MEF para garantir o contato entre a placa e a cabeça do parafuso. Esse método consiste no posicionamento de dois sólidos no mesmo espaço, sendo um subtraído do outro. Dessa maneira, os furos foram removidos e preenchidos utilizando a ferramenta “Assistente de preparação de malha” para o posterior posicionamento dos parafusos na placa.

Para a geração de um sólido, utilizou-se a ferramenta “Assistente de curva” para gerar vários planos no comprimento da peça, gerando os contornos das seções transversais. Para garantir a qualidade da reconstrução, criou-se o maior número de planos possível para gerar a maior quantidade de seções transversais, preservando a geometria da peça. Com a ferramenta “Loft”, é possível gerar um sólido através da junção dessas seções e de uma curva guia para auxiliar o processo. Finalizando esse processo, cria-se um sólido que pode ser utilizado em softwares de análise estrutural.

Com a geração desse sólido, a placa foi posicionada no sistema pelos próprios recursos do Solidworks na seção de montagem do software. A Figura (2) demonstra uma comparação entre o sistema montado para análise laboratorial e o utilizado para análise numérica utilizando MEF. Os cilindros mostrados são formados de poliuretano poroso com uma casca sólida, na qual a estrutura se assemelha ao osso real.

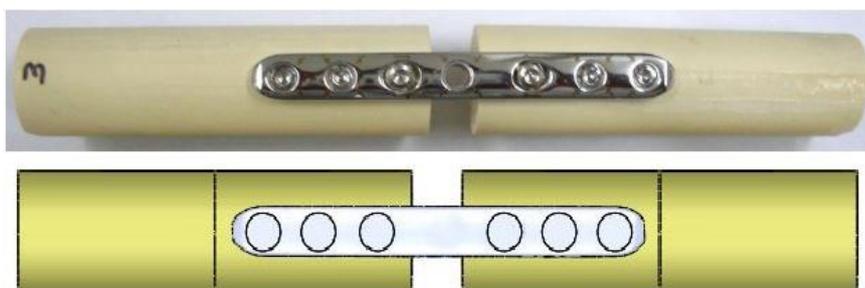


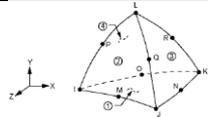
Figura 2. Comparação entre a montagem do sistema para testes laboratoriais e montagem em ambiente CAD

### 3.4. GERAÇÃO DA MALHA DE ELEMENTOS FINITOS E ANÁLISE ESTRUTURAL DO SISTEMA

Após a remodelagem em softwares CAD e montagem do sistema, é gerada a malha de elementos finitos. Nesta etapa devem-se tomar alguns cuidados em relação à qualidade dos elementos. Cada elemento representa uma equação que determina o comportamento do sistema e se a malha não apresentar tal qualidade, os resultados podem não ser precisos. Estudos mostram que elementos com baixa qualidade dificultam o processo de solução do software. A metodologia aplicada foi: Definição das propriedades do material, definição do tipo de elemento, mapeamento da estrutura e por fim geração da malha.

Após a importação, é realizado o mapeamento da estrutura, onde é feita a partição das linhas que compõem a estrutura de acordo com a quantidade de elementos desejados por linha, para assim obter uma malha homogênea e manter o mesmo tamanho dos elementos em toda a extensão do modelo. O tipo de elemento utilizado foi o *SOLID92* por apresentar comportamento quadrático de deformação. O formato tetraédrico parabólico é apropriado para modelagem de malhas irregulares. Na Tabela (1), estão dispostos os dados representativos deste elemento.

Tabela 1. Representação geométrica, descrição e representação do elemento utilizado no estudo.

Elemento	Descrição	Representação
Tetraedro parabólico (SOLID92)	Elemento 3D com 10 nós e 3 graus de liberdade por nó	

Finalizando o processo de geração de malha, definem-se as condições de contorno. Um dos ensaios reproduzidos em laboratório é o de compressão axial, em que o sistema era fixado em suas extremidades, sendo aplicada uma força de compressão em uma das extremidades. Buscando reproduzir esse ensaio, a face de um cilindro foi fixada, enquanto que na face do outro cilindro houve a aplicação de pressão para simular o ensaio laboratorial de compressão axial do sistema.

#### 4. RESULTADOS

O processo de análise estrutural está em estágio inicial, sendo este um primeiro teste do modelo. De acordo com as condições de contorno aplicadas, podem-se observar os resultados das tensões de Von Mises ilustrados na Figura (3).

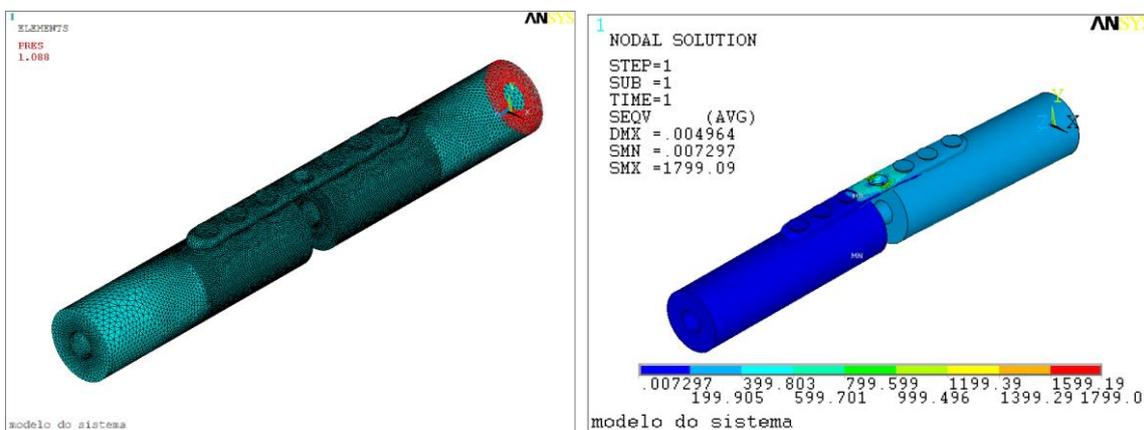


Figura 3. Malha de elementos finitos com aplicação da pressão e plotagem das tensões de Von Mises

Analisando a figura acima, a malha nas extremidades do cilindro não foi refinada pois, de acordo com a literatura, essa é a região menos solicitada do sistema, não exigindo precisão de resultados. O propósito desse não refinamento é reduzir o número de elementos no modelo, tornando-o mais leve e diminuindo o tempo de processamento. Os cilindros apresentaram tensões diferentes, pois um dos lados está carregado, enquanto o outro apresenta apenas fixação de geometria. Como se trata de um ensaio de compressão, as maiores tensões ocorreram no centro da placa devido à flexão do sistema e da presença do furo, atuando como concentrador de tensão. A Figura (4) ilustra somente as tensões de Von Mises na placa, mostrando a concentração de tensão no furo central.

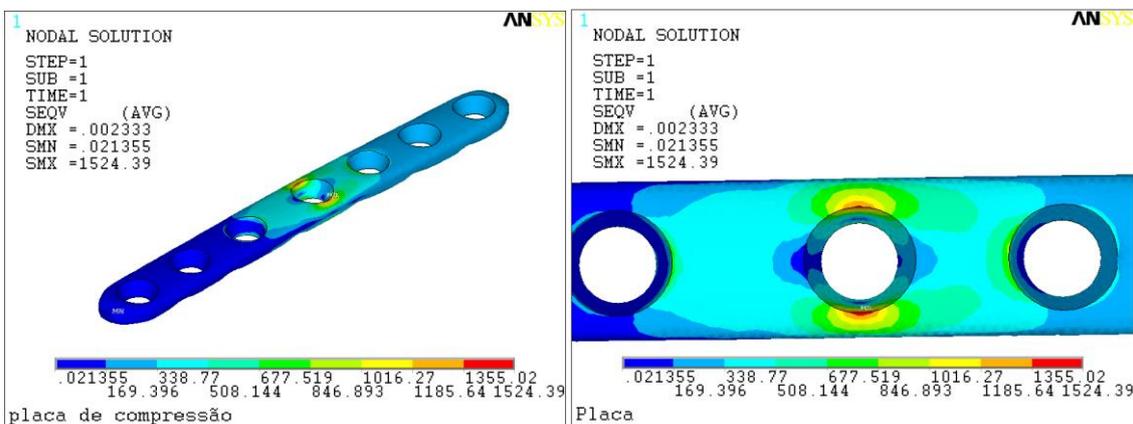


Figura 4. Tensões de Von Mises na placa de compressão

## 5. CONCLUSÕES

O procedimento de reconstrução geométrica a partir do scanner 3D se demonstrou viável, pois foi possível criar um modelo geométrico tridimensional aplicável à análise por MEF com sucesso. A geração da malha e os resultados obtidos pela simulação numérica foram satisfatórios e serão posteriormente comparados a ensaios laboratoriais. Com essa comparação, pode-se validar o modelo com o propósito de otimizações estruturais, garantindo a saúde e bem estar do paciente durante a fase de tratamento e consolidação da fratura.

## 6. REFERÊNCIAS

Cronier, P. et al. 2009, “The Concept of Locking Plates” *Orthopaedics & Traumatology; Surgery & Research*, Workshops of the Soto, Review S27-S28

Favre, Philippe, et al. "Superior versus anteroinferior plating of the clavicle: a finite element study." *Journal of orthopaedic trauma* 25.11 (2011): 661-665.

Freitas, Elisângela P., et al. "Finite element modeling for development and optimization of a bone plate for mandibular fracture in dogs." *Journal of veterinary dentistry* 27.4 (2009): 212-221.

Frigg, R. 2001, “Locking Compression Plate (LCP). An osteosynthesis plate based on the Dynamic Compression Plate and the Point Contact Fixator (PC-Fix)”, *International Journal of Care of the Injured*.

Kazhdan, M., Bolitho, M., Hoppe, H., 2006. Poisson surface reconstruction, *Proceedings of the fourth Eurographics symposium on Geometry processing*. Eurographics Association, Cagliari, Sardinia, Itália, pp. 61-70.

Knoll, Wolf-Dieter, Andreas Gaida, and Peter Maurer. "Analysis of mechanical stress in reconstruction plates for bridging mandibular angle defects." *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery* 34.4 (2006): 201-209.

Kusnoto, B., Evans, C.A., 2002, “Reliability of a 3D Surface Laser Scanner for Orthodontic Applications”, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*.

Lovald, Scott, et al. "Biomechanical optimization of bone plates used in rigid fixation of mandibular symphysis fractures." *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 68.8 (2010): 1833-1841.

## 7. ABSTRACT

Techniques for studying systems aiming optimization are indispensable in bioengineering and for the improvement of biomechanical components. One of the characteristics of these components is the complexity of its geometry structure, a fact that complicates the modeling in CAD software. Thus, advances in image acquisition technology are essential in the study of these components. Equipment as the 3D scanner has become a very important tool for bioengineering, enabling rapid and accurate generation of models in CAD environment. However, the image processing is required to ensure the quality of the study, removing noises before the structural analysis of the system with the Finite Element Method (FEM). This study aimed at presenting a methodology of using a 3D scanner, followed by image processing, geometric reconstruction and structural analysis using FEM of an internal fixator used for treatment and consolidation of bone fractures in canines.

## 8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

O(s) autor(es) é (são) os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.