

COMPORTAMENTO MECÂNICO DE PLACA DE FIXAÇÃO DE FRATURA DISTAL DO RÁDIO PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Leonardo Rigobello Battaglion, Laboratório de Bioengenharia da FMRP/USP, leorigobello01110@gmail.com
Antonio Tufi Neder Filho, Laboratório de Bioengenharia da FMRP/USP, drtufi@gmail.com
Daniel Takanori Kemmoku, Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, daniel.takanori@cti.gov.br
Pedro Y. Noritomi, Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, pedro.noritomi@cti.gov.br
Henrique T. Idogava, Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, henrique.idogava@cti.gov.br
Jorge Vicente L da Silva, Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, jorge.silva@cti.gov.br
Ana Paula Macedo, Faculdade de Odontologia Ribeirão Preto, anapaula@forp.usp.br
Antonio Carlos Shimano, Laboratório de Bioengenharia FMRP/USP, ashimano@fmrp.usp.br

Resumo. O uso da placa volar é indicado no tratamento de fraturas do rádio distal. A fim de proteger os tendões extensores do lado oposto a placa, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência de dois comprimentos de parafusos (unicortical e bicortical) na fixação da placa através do Método dos Elementos Finitos. Foram obtidas as imagens da tomografia computadorizada do osso sintético com a montagem completa, gerando arquivos DICOM. Esses arquivos foram convertidos em formato.STL usando o programa InVesalius™. Posteriormente, com o uso do programa Rhinoceros™ 3D foi realizada a modelagem tridimensional dos BioCads. Esses modelos tridimensionais foram exportados para o programa Simlab™, onde as malhas e os nós foram definidos. A análise dos elementos finitos mostrou que as fixações unicortical e bicortical tiveram respostas dos deslocamentos equivalentes. Sugerindo, portanto, que o parafuso com menor comprimento poderia ser utilizado na prática clínica sem problemas mecânicos e evitando assim complicações nos tecidos do lado oposto a placa.

Palavras-chave: Método dos elementos finitos, fraturas do rádio distal, compressão axial.

1. INTRODUÇÃO

As fraturas do rádio distal são acometidas, principalmente em jovens ativos e idosos, provocadas por acidentes de trânsito e quedas (ANGELINI, 2005; GRAF; JUPITER, 1994).

Geralmente, quando as fraturas não puderem ser reduzidas de forma aceitável ou se é gravemente instável e ameaça quebrar novamente mesmo durante a imobilização em gesso, recomenda-se o tratamento cirúrgico para reduzir e estabilizar os fragmentos da fratura. Com a evolução das técnicas e tipos de osteossínteses, destacando as placas e o sistema de fragmento específicos, no caso o tratamento das fraturas da extremidade distal do rádio pode ser realizado com redução aberta e fixação interna (ALLUR; HILL; GHIASSI, 2016).

Nas cirurgias realizadas em fraturas na extremidade distal do rádio, havia há muitos problemas de consolidação e tecidos em torno da fratura, com isso o desenvolvimento das placas volares bloqueadas melhorou o tratamento de fraturas dorsais (SHIMANO, 1994; MILLER, 2007; RUSCHEL, OLIVEIRA, PIGNATARO, FOLBERG, PRAETZEL, BORGES, 2007; ORBAY, FERNANDEZ, 2002; 2004). Atualmente, a placa volar é muito utilizada considerada padrão para a estabilização das fraturas instáveis da extremidade distal do rádio (ORBAY, 2005). Mas, foi observado que neste tipo de tratamento os tendões extensores do lado oposto à placa ficavam comprometidos, devido ao comprimento dos parafusos (JUPITER, 2012; SÜGÜN, 2011). Para minimizar esta complicação foi proposto por Wall et al. em 2002 utilizar parafusos com comprimento de 75% do tamanho normal (WALL, 2002).

O Método dos Elementos Finitos (MEF), é um método numérico muito eficaz, utilizado para solucionar problemas complexos (SORIANO, 2003). Este método consiste na substituição do meio contínuo em análise, por um modelo virtual com um conjunto finito de partes menores chamada de elementos, que são interligados entre si pelos nós, podendo as análises pelo método serem estáticas ou dinâmicas (VILARINHO, 2000; MACEDO, 2009; BORIE, 2013).

O objetivo deste estudo foi analisar os deslocamentos em modelos de fixação de fraturas intra-articulares da extremidade distal do rádio classificado como (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese-AO) AO 23C3, com placa volar bloqueadas utilizando dois comprimentos de parafusos Unicortical e Bicortical, através da simulação estática, por meio do Método dos elementos finitos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os parafusos do sistema de fixação utilizados foram: Unicortical (Parafuso bloqueado Ø2,7 mm x 18,0 mm) e Bicortical (Parafuso bloqueado Ø2,7 mm x 24,0 mm), usados para fixar a placa Matrix SmartLock®, e osso sintético. A figura 1 apresenta a placa e os parafusos bloqueados fixados ao osso sintético.



Figura 1. Conjunto montado Osso sintético com Placa e Parafusos.
Fonte: TUFÍ, 2017

A partir da montagem apresentada na figura 1 foram obtidas as imagens tomográficas do conjunto em DICON (Digital Imaging and Communications in Medicine). O tomógrafo utilizado foi o Emotion (16 canais, Siemens™) do Laboratório Hermes Pardini (Belo Horizonte) com resolução de (512 x 512) e distância entre cortes de 1 mm.

Com as imagens em DICON foram convertidos em STL (STereoLithography), para isso foi utilizado o *Software InVesalius™*. A figura 2 apresenta um rádio reconstruído em STL.

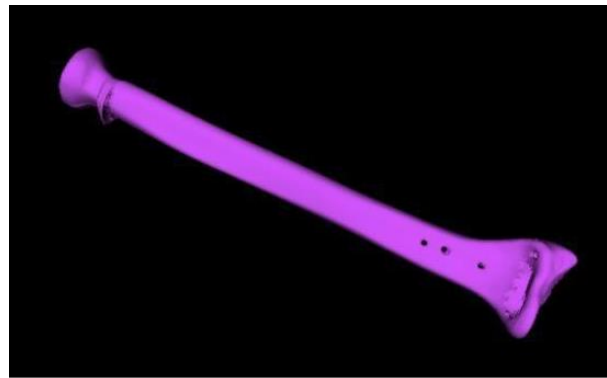


Figura 2. Rádio reconstruído em STL

Com o arquivo em STL foram realizadas as modelagens em 3D do osso, placa e parafusos, para isso foi utilizado o *Software Rhinoceros™*. Com o modelo do osso, placa e parafusos prontos foram realizados a montagem do sistema. A figura 3 apresenta a montagem do sistema em 3D.

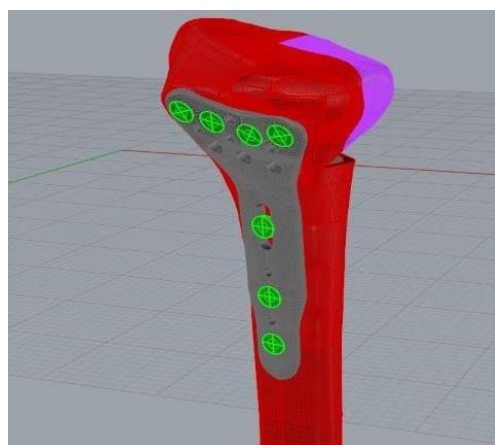


Figura 3. Montagem do sistema em 3D

Após a modelagem em 3D do sistema foi gerado um arquivo STEP (Standard for the Exchange of Product model data) utilizando o *Software Simlab™*. Com isso, foram definidos: o tipo de elemento, tamanho e as malhas de superfície e posteriormente a malha volumétrica para o osso, placa e parafusos e dos sistemas utilizando parafusos Unicortical e Bicortical.

O tipo de elemento definido foi o tetraédrico. Para o sistema com parafusos corticais foi utilizado o total de 629.213 elementos e 1.032.749 nós e para o sistema com parafusos Unicortical foram utilizados 518.619 elementos e 829.510 nós.

As propriedades dos materiais utilizadas para caracterizar os ossos e implantes estão apresentados no quadro 1.

Quadro 1. Módulo de Elasticidade e coeficiente de Poisson dos materiais.

Material	Módulo de elasticidade (MPa)	Coefficiente de Poisson
Osso Cortical	13700	0,30
Osso Trabecular	1370	0,30
Liga de Titânio	114000	0,33

As condições de contorno propostas são para simular o carregamento da compressão axial de 250N. A figura 4 apresenta o sistema com a condição de contorno.



Figura 4. Sistema com condição de contorno

Para a validação da simulação foi realizado o Ensaio Mecânico de Compressão no Laboratório de Bioengenharia USP Ribeirão Preto, com uma máquina EMIC® modelo DL10000, a célula de carga utilizada foi de 200 kgf. Foi aplicado carregamento constante de 250 N, a força foi aplicada através de um acessório de 18 mm de diâmetro, acessório esse confeccionado com uma rampa para a fossa do escafoide. A força foi aplicada no eixo longitudinal do osso, na área do acessório, a velocidade de aplicação da carga foi de 5mm/min. Foi obtido o deslocamento total no eixo de aplicação da força. A figura 5 apresenta um modelo do sistema preparado para realização do ensaio de compressão.



Figura 5. Ensaio de compressão axial. Fonte TUF1 2017

3. RESULTADOS

As figuras 6 e 7 apresentam as montagens Unicortical e Bicortical, respectivamente, e os deslocamentos no eixo Z resultantes da aplicação da força de compressão.

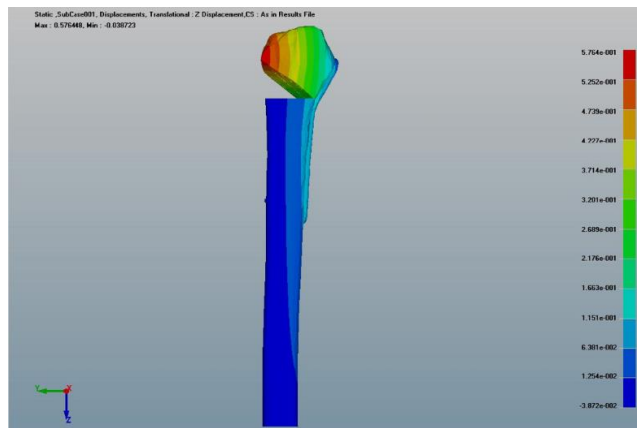


Figura 6. Montagem Unicortical

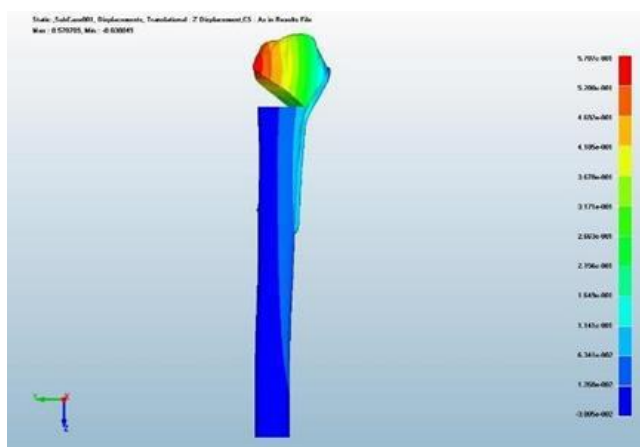


Figura 7. Montagem Bicortical

O deslocamento máximo observado na simulação pelo Método dos Elementos Finitos, para o modelo utilizando o parafuso Unicortical foi de 0,580 mm e para o parafuso Bicortical foi de 0,570 mm. Sendo estes proporcionais aos observados no Ensaio Mecânico de compressão. O quadro 2 apresentam a comparação entre os deslocamentos obtidos nos ensaios mecânicos EM e MEF.

Quadro 2. Comparação dos deslocamentos do EM e MEF.

Modelos	EM(mm)	MEF(mm)	%
Unicortical	0,647	0,580	11,5%
Bicortical	0,785	0,570	37,7%

4. DISCUSSÃO

O Método de Elementos Finitos possibilita a análise de estruturas complexas, fornecendo soluções aproximadas dentro da precisão aceitável do problema (ECHEVARIA, 2013). O método subdivide a estrutura em componentes individuais e a partir do entendimento do comportamento de cada elemento é possível entender o comportamento do conjunto (VILARINHO, 2000). No presente estudo, para a validação do modelo foi empregado o ensaio mecânico de compressão axial (SHIMANO, 1994), sendo avaliado o deslocamento no eixo Z, com placa volar bloqueada (ORBAY, 2005).

José et al. em 2017 mostram que a fixação da placa de bloqueio volar ajuda na mobilização precoce do pulso, restaura a anatomia, permite o retorno precoce à função, evita a perda de redução secundária e, portanto, é um tratamento eficaz para fraturas instáveis do raio distal (JOSE, 2017).

Na comparação dos valores dos deslocamentos dos modelos utilizando parafusos bicorticais, obtidos nos ensaios mecânicos com os dos MEF, verificou-se que em termos percentuais, a diferença foi de 37,7%, mas em valores absolutos, em mm, verifica-se que a diferença foi de 0,215mm, que é um valor baixo, pois seria o deslocamento observado no fechamento entre os fragmentos. E de acordo com as análises realizadas pelo grupo de pesquisadores do Centro de tecnologia da Informação Renato Archer, estes resultados estão coerentes. Subentendendo que as respostas obtidas na comparação entre os parafusos Unicortical e Bicortical utilizados nas montagens para estabilizar e fixar fraturas intra-articulares da extremidade distal do rádio com placa volar bloqueada, mostraram-se equivalentes. Sugerindo, portanto, que o parafuso com menor comprimento (unicortical) pode ser utilizado na prática clínica sem problemas mecânicos e evitando assim complicações nos tecidos do lado oposto a placa, quando se utiliza os bicorticais.

3. REFERÊNCIAS

- ALLURI R. K.; HILL J. R.; GHIASSI A. Distal radius fractures: approaches, indications and techniques. **AJ Hand Surg Am**, v. 41, n. 8, p. 845-54, 2016 Aug.
- ANGELINI L. C.; ALBERTONI W. M.; FALOPPA F. Tratamento das fraturas do terço distal do rádio pela fixação externa e enxerto ósseo. **Acta Ortop Bras**. vol.13 no.2 São Paulo 2005.
- ORBAY J. L. Volar Fixation for Dorsally Displaced Fractures of the Distal radius: A preliminary report. **J Hand Surg [Am]**, v. 27, p. 205-15, 2002.
- BORIE E. A. E **Análise biomecânica por meio de elementos finitos da distribuição de tensões em implantes e osso perimplantar com diferentes diâmetros e comprimentos posicionados na região anterior da maxila**. Ribeirão Preto, 2013. 169p. Dissertação (Mestrado em Reabilitação Oral). Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto. Universidade de São Paulo.
- GRAFF S., JUPITER J. Fracture of the distal radius: classification of treatment and indications for external fixation. **Injury Journal**, v. 25, n. 4, p. 14-25, 1994.
- JOSE A. Unstable Distal Radius Fractures Treated by Volar Locking Anatomical Plates. **Journal of Clinical and Diagnostic Research**. 2017 Jan, Vol-11(1): RC04-RC08.
- JUPITER J. Future treatment and research directions in distal radius fracture. **Hand Clin**, v. 28, n. 2, p. 245-8, 2012. doi:10.1016/j.hcl.2012.02.006.
- MACEDO A. P. **Uso do método de elementos finitos na análise biomecânica de parafusos do sistema de fixação vertebral**. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto – SP, 2009.
- MELONE C. P. Jr. Articular fractures of the distal radius. **Orthop Clin North Am**, v. 15, p. 217-36, 1984.
- MILLER D.L., GOSWAMI T. **A review of locking compression plate biomechanics and their advantages as internal fixators in fracture healing**. 2007.
- NEDER FILHO A. T. **Estabilidade de Fraturas Intra-articulares da Extremidade Distal do Rádio utilizando Placas Volares Bloqueadas com Parafusos Unicorticais e Bicorticais**. 2017. Tese (Doutorado em Medicina) – Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2017.
- ORBAY J. L.; FERNANDEZ, D. L. Volar fixation for dorsally displaced fractures of the ORBAY, J.L. Volar plate fixation of distal radius fractures. **Hand Clinics**, v. 21, n. 3, p. 347-54, August 2005,
- ORBAY J. L.; FERNANDEZ D. L. Volar fixed-angle plate fixation for unstable distal radius fractures in the elderly patient. **J Hand Surg**, v. 29A, p. 96-102, 2004.
- RUSCHEL P.H.; OLIVEIRA R. K.; PIGNATARO M. B.; FOLBERG C. R.; PRAETZEL R. P.; BORGES C. S. Emprego de placa de ângulo fixo no tratamento de fraturas com deslocamento dorsal da extremidade distal do rádio. **Revista Brasileira de Ortopedia**, v. 42, n. 1/2. p. 17-23, 2007.

SHIMANO A. C. **Análise das propriedades geométricas e mecânicas de tíbia humana: proposta de metodologia.** São Carlos. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, 1994.

SORIANO H. L. **Método de Elementos Finitos em Análise de Estruturas.** São Paulo: EDUSP, 2003. 589 p.

SÜGÜN, T.S. et al. Screw prominences related to palmar locking plating of distal radius. **J Hand Surg Eur**, v. 36. p. 320-4, 2011. doi:10.1177/1753193410392869.

VILARINHO R. C. C. **Uso do método dos elementos finitos na avaliação das propriedades mecânicas de um fixador externo.** Ribeirão Preto – SP 2000.

ORBAY J. L. et al. The extended flexor carpi radialis approach: a new perspective for the distal radius fracture. **Tech Hand Up Extrem Surg**, v. 5, p. 204-11, 2001.

WALL L.B. et al. The effects of screw length on stability of simulated osteoporotic distal radius fractures fixed with volar locking plates. **J Hand Surg Am**, v. 37, n. 3, p. 446-53, Mar. 2002.

4. AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer de Campinas, Oficina de Precisão da USP Ribeirão Preto e ao Laboratório de Bioengenharia da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto-USP.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Leonardo Rigobello Battaglion e Antonio Carlos Shimano