



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA



Trabalho de Conclusão de Curso

**PROCESSO METODOLÓGICO PARA ANÁLISE ESTÁTICA DE
TENSÕES UTILIZANDO O MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**

**ESTUDO DE CASO: FIXADOR EXTERNO ARTICULADO PARA
FRATURAS DE COTOVELO**

Nadyne Dayonara Maurício de Amorim

Natal/RN

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA

**PROCESSO METODOLÓGICO PARA ANÁLISE ESTÁTICA DE
TENSÕES UTILIZANDO O MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**

**ESTUDO DE CASO: FIXADOR EXTERNO ARTICULADO PARA
FRATURAS DE COTOVELO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Departamento de Engenharia Biomédica
da Universidade Federal do Rio Grande do
Norte para obtenção do título de Graduado
em Engenharia Biomédica.

Graduando: Nadyne Dayonara Maurício de
Amorim

Orientador: Profa. Dra. Karilany Dantas
Coutinho

Natal/RN

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA

**PROCESSO METODOLÓGICO PARA ANÁLISE ESTÁTICA DE
TENSÕES UTILIZANDO O MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**

**ESTUDO DE CASO: FIXADOR EXTERNO ARTICULADO PARA
FRATURAS DE COTOVELO**

Banca Examinadora do Trabalho de Conclusão de Curso:

Profa. Dra. Karilany Dantas Coutinho

UFRN - Orientadora

Prof. Dr. Custódio Leopoldino de Brito
Guerra Neto

UFRN – Avaliador Interno

Dr. Ângelo Anderson Silva de Oliveira

Avaliador Externo

Natal/RN

2018

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Norte, seus servidores e também ao Laboratório de Inovação Tecnológica em Saúde.

À minha Orientadora, Profa. Dra. Karilany Dantas Coutinho, por confiar no meu trabalho e por todo o aprendizado fundamental em minha formação. Agradeço também ao Prof. Dr. Custódio Guerra que acreditou em mim e se tornou um grande amigo.

À família LAIS e principalmente aos meus amigos da base Bioengenharia, vocês são incríveis! Alguns de vocês já se tornaram irmãos de coração e eu sei que estarão comigo nas próximas etapas da minha vida.

Aos meus pais, minha irmã, minha sobrinha e a minha família que, por mais que a minha escolha não fosse de costume para nenhum de vocês, entenderam que era preciso que eu me ausentasse em alguns momentos e seguraram as pontas quando eu não podia ajudar. Obrigada pelo apoio! Amo muito vocês!

Aos meus amigos de dentro e/ou de fora da UFRN pela ajuda para que eu tivesse boas experiências na Universidade, por entender quando eu não podia me fazer presente em algum evento, por me ouvir e aconselhar. Muito obrigada pelo amor! Vocês ajustam a caminhada para que fique mais leve e tornam batalhas possíveis.

À melhor turma de Engenharia Biomédica já vista no mundo! Aprendi muito com vocês e não foi apenas sobre as disciplinas da estrutura curricular do curso. Tenho certeza de que muito conhecimento ainda será dividido entre nós.

A todos os Professores que tive na vida, foram os senhores os maiores contribuintes para a minha formação acadêmica e também pessoal.

À todas as caronas recebidas, lanches, aos dinheiros emprestados, as ajudas em estudos para provas, ao que passaram alguns minutos durante os semestres corridos para me darem força com palavras de apoio e carinho.

E a Deus, querido Pai, por me dar tudo isso!

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	5
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS	7
RESUMO	8
ABSTRACT.....	9
1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS.....	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
4. METODOLOGIA	18
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
6. CONCLUSÕES	24
7. REFERÊNCIAS.....	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fixador externo articulado para o cotovelo.....	15
Figura 2 - Processo metodológico utilizado neste trabalho.....	19
Figura 3 - Componentes do fixador externo articulado para o cotovelo	20
Figura 4 - Montagem em CAD do fixador externo articulado para o cotovelo.....	22

LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

FE - Fixador Externo

LAIS - Laboratório de Inovação Tecnológica em Saúde

UFRN – Universidade Federal do Rio grande do Norte

CAD - *Computer Aided Design*

MEF – Método de Elementos Finitos

EDP – Equações Diferenciais Parciais

AMORIM, Nadyne Dayonara Maurício de. **Processo metodológico para análise estática de tensões utilizando o método de elementos finitos - Estudo de caso: Fixador externo articulado para fraturas de cotovelo.** Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Biomédica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 27p., 2018.

RESUMO

O uso de fixadores externos é comum àqueles que sofrem luxações ou fraturas ósseas. Implantados em procedimentos cirúrgicos, é um instrumento terapêutico que garante, dentre outros, o posicionamento do tecido ósseo fraturado. Com a proposta de otimizar um fixador externo articulado para o cotovelo e a partir da ausência de trabalhos na literatura que abordem o assunto, este trabalho surge com o objetivo de expor a metodologia de um roteiro sequencial útil a ser usado nessa proposta. Para tanto, se faz necessária algumas etapas. A primeira envolve o conhecimento dos componentes de um fixador externo, obtenção de suas dimensões e o entendimento funcional de cada peça. A obtenção de um desenho em CAD fidedigno ao modelo original é a etapa seguinte. Com esse desenho é possível analisar o material que deve ser utilizado na otimização e determinar seu comportamento ao receber aplicação de cargas. A viabilidade da análise se tensões, o uso do método de elementos finitos, é a etapa final de simulações computacionais do modelo. Este trabalho apresenta seu processo definido para fundamentar a otimização proposta.

Palavras-chave: Fixador externo. Análise de tensões. Elementos finitos.

AMORIM, Nadyne Dayonara Maurício de. **Processo metodológico para análise estática de tensões utilizando o método de elementos finitos - Estudo de caso: Fixador externo articulado para fraturas de cotovelo.** Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Biomédica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 27p., 2018.

ABSTRACT

The external fixatives have a common usage to the people who have dislocation or bone fractures. They are implanted through surgical processes and is a therapeutic instrument which guarantees the positioning of the fractured bone tissue. To optimize an articulated external fixative for the elbow, and considering that there is no work through the literature about the subject, the objective to expose the methodology of a sequential script to be used in this proposal. Therefore some steps are necessary. The first one involves the knowledge of all components of an external fixative, the sizing of the components and the understanding of the components of each part. The second step is to obtain of an authentic CAD model to the original model. With the designing it is possible analyze the material which should be used in optimization and determine its behavior during the weight application. The viability of the stress analyze and the finite element usage are the final steps during the model computational simulating. This work presents its defined process to justify the proposed optimization

Palavras-chave: External Fixator. Stress analyze. Finite elemento.

1. INTRODUÇÃO

Fixador Externo (FE) é um tipo de órtese funcional que tem como principal objetivo a reabilitação de pacientes que obtiveram alguma fratura nos segmentos articulares dos membros superiores e/ou inferiores. Amplamente utilizado na ortopedia, este dispositivo atua na união da articulação e auxilia no crescimento ósseo durante o processo de reabilitação, imobilizando fragmentos por meio de um conjunto de pinos implantáveis. É um método de estabilização e recuperação de fraturas que consiste na inserção de pinos que atravessam a pele, tecidos moles e osso. São fixados externamente ao corpo, com o auxílio de barras. Como principal vantagem, a órtese promove a mobilidade precoce da articulação o que possibilita ao paciente em reabilitação a movimentar a articulação que se encontra na área proximal à lesão.

De modo geral, este instrumento provoca aversão ao público em razão de sua aparência, pois apresenta um design robusto. Isso implica na dificuldade de aceitação do público, principalmente em casos de fixadores não articulados, pois demonstra que o usuário terá mobilidade reduzida da articulação durante o uso, além de ficar exposto no corpo. Fixadores externos são indicados para o tratamento de fraturas, lesões de partes moles, como proteção para cirurgias instáveis e para instabilidade em articulação, em muitos casos provenientes de quedas e acidentes de trânsito. As articulações que mais sofrem com essas vicissitudes são o cotovelo e o ombro, sendo que o cotovelo apresenta o segundo tipo de luxação mais frequente em adultos.

Existem fixadores externos específicos para a articulação do cotovelo. Por se tratar de um conjunto de peças que causam repulsão aos pacientes ao uso, além de dispor de um peso excessivo responsável pelo desconforto do paciente, foi aprofundada a possibilidade de ser elaborada uma pesquisa que tornasse possível uma melhor aceitação do público, mas que fossem mantidos os benefícios e as características terapêuticas do equipamento. A ideia do projeto que propõe a otimização de um fixador externo articulado para o cotovelo surgiu no Laboratório de Inovação Tecnológica em Saúde (LAIS), da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Um paciente de 78 anos de idade, vítima de acidente de carro, sofreu fratura no ombro, braço, clavícula e costela. Para reabilitação do braço, foi necessário o uso de um fixador externo articulado e este, posteriormente ao uso, foi doado ao laboratório pelo paciente. A partir do objeto doado, tornou-se possível determinar as etapas de otimização do fixador, que vão desde a determinação dos esforços até simulações matemáticas que

identificam as regiões de maiores tensões. Para se conhecer o projeto mecânico da estrutura é importante conhecer suas forças atuantes. A ausência de trabalhos que determinem a análise de tensões em um fixador externo e a dificuldade de calcular a interação entre osso e material dos pinos dos fixadores, justificam a necessidade de uma simulação matemática e a elaboração deste trabalho. Desta forma, este trabalho de final de curso propõe realizar o estudo do processo metodológico para a análise estática neste fixador externo articulado, isto é, primeira etapa do projeto de otimização via elementos finitos.

2. OBJETIVOS

2.1. GERAL

Definir um processo metodológico para realizar a análise estrutural estática para o dimensionamento de um fixador externo articulado em fraturas de cotovelo.

2.2. ESPECÍFICO

- Realizar a revisão bibliográfica do tema em tela;
- Definir e detalhar o procedimento metodológico para a análise estrutural estática;
- Realizar o estudo do tipo de otimização estrutural;
- Realizar estudo de quais materiais podem ser utilizados no protótipo;
- Definir cargas e condições de contorno do sistema;
- Realizar a modelagem em sistema CAD;
- Realizar análise de elementos finitos;
- Interpretar resultados.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Análise de tensões

Uma análise estrutural tem como objetivo expor o modo como o material analisado se comporta quando submetido a cargas, fornecendo valores de tensão, deformação e deslocamento. Através desse tipo de análise é possível identificar os pontos de concentração de tensão e, com isso, entender o comportamento da estrutura. Para que uma otimização seja efetivada, é indispensável o desenvolver e efetivação da análise de tensões. Para que a análise seja feita, é necessário modelar o desenho do objeto em CAD (*Computer Aided Design*), definir as propriedades do material, obter a malha e definir sob que sistema ele será submetido a teste, ou seja, determinar as cargas e as condições.

3.1.1. Modelagem em Sistema CAD

Desenhos em Engenharia são comuns e, em algumas áreas é predominante. Softwares de Desenhos Assistidos por Computador permitem que o seguimento possua especificações técnicas mais criteriosas. A geometria proveniente do CAD é amplamente usada em simulações que podem ocorrer na forma de simulação de processos ou de produtos.

3.2. Fixador externo

Um fixador externo é composto por pinos, hastes, barras e conectores de constituição de materiais fabricados em aço, liga de alumínio ou titânio. Podendo ser do tipo homolateral ou circulado, é implantado em um procedimento cirúrgico e garante, dentre outros, o posicionamento do tecido ósseo de tal forma que proporcione a distração osteogênica, ou seja, desencadeia a neoformação óssea. É um instrumento terapêutico fundamental no tratamento e recuperação da ligação músculo-esquelética e ósteo-articulares lesionadas por uma fratura, infecção, correções de deformidades e osteotomia (BISACCIA *et al.*, 2016). Desde a primeira descrição da distração osteogênica pelo médico russo Gavriil Ilizarov na década de 1950, inúmeras melhorias

técnicas foram feitas e novos dispositivos foram desenvolvidos, embora os princípios básicos permanecessem os mesmos (ÇAKMAK. *et al.*, 2018).

Os Fixadores externos homolaterais podem ser estáveis ou articulares. Os estáveis são utilizados quando há a necessidade de imobilização estável e de longo período de tempo, como acontece em fraturas cominutivas, ou seja, com múltiplos fragmentos. Já o implante de fixadores externos articulares possibilita a mobilização precoce e não propicia a atrofia muscular.

Os pinos usados nos fixadores são fabricados em aço inoxidável e podem ser lisos, parcialmente rosqueados ou totalmente rosqueados. Suas roscas podem apresentar perfil negativo ou positivo. Diferentemente dos rosqueados, que propiciam maior reparo ósseo, os pinos lisos são inseridos com divergência de ângulo entre si de forma a evitar a soltura da estrutura (ROCHA, 2008).

Seu uso precoce melhora o morbido do paciente, diminuindo assim o risco de se agravar o diagnóstico que poderia chegar ao óbito do paciente com diversos agravantes. A ação é benéfica, porém necessita que o paciente seja submetido a uma anestesia mais longa e a cirurgia em questão é caracterizada como uma de grande perda de sangue durante seu acontecimento. A aplicação de fixadores externos concede a estabilidade temporária adequada (TUTTLE, 2009). Além disso, a estabilização do segmento ósseo permite a elevação do membro, bem como uma mobilização da articulação. A área da ferida é facilmente visível e tratável e procedimentos cirúrgicos adicionais podem ser realizados com o mínimo desconforto para o paciente (BISACCIA *et al.*, 2016).

3.2.1. Princípio mecânico

Fixadores externos têm a capacidade de resistir e neutralizar forças deformantes como torção e compressão, provenientes do próprio peso e da atividade física muscular. A não neutralização contribui para a não cicatrização óssea e insucesso da fixação. Alguns autores afirmam que, por atuar na fratura, a força de compressão axial é avaliada com maior importância para esses casos (ROCHA, 2008). Os segmentos ósseos fraturados podem ser realinhados e, a depender da necessidade, colocados em compressão ou distração. Alguns tipos de fratura exigem, para que seja obtida a estabilização adequada, uso de suporte (FOSSUM, 2014). A configuração da montagem e a distribuição dos pinos

influenciam na força e na rigidez da junção. Além disso, existem estratégias para minimizar forças axiais e de flexão que maximizam a resistência ao envergamento da montagem e facilitam a remoção de algumas seções dos pinos. Um fator de grande importância é que, quando há aumento da carga axial durante o suporte do peso, essas configurações podem atuar de forma positiva na cicatrização óssea, estimulando a osseointegração (MELO, 2009).

Um fixador externo articulado muito usado é o designado para o cotovelo, já que essa articulação apresenta a segunda maior frequência de luxação em adultos, perdendo apenas para a luxação de patela. As causas dessa luxação geralmente são devido a traumas oriundos de quedas ou acidentes de trânsito. Esse trauma está associado ao ligamento, mas pode também conter lesão óssea, o que aumenta substancialmente o risco de instabilidade (ZILKENS *et al.*, 2010).



Figura 1 - Fixador externo articulado para o cotovelo.

3.3. Cotovelo

O cotovelo é uma articulação do tipo sinovial gínglimo uniaxial e apresenta a flexão e a extensão como tipos de movimento. Seu complexo é formado por ligamentos, articulações e pelos ossos úmero, rádio e ulna. (LIPPERT, 2013) Sendo assim, quando há traumatismo, qualquer um desses ossos pode ser atingido de forma isolada ou combinada. A luxação ocorre, por exemplo, quando há hiperextensão do cotovelo ou queda com o punho estendido. A estabilidade da articulação é obtida pelo contorno das superfícies, juntamente com os ligamentos e músculos.

3.4. Elementos finitos

O Método de Elementos Finitos (MEF) respalda na discretização de um meio em pequenos segmentos finitos constituídos por uma simples geometria, sem que suas especificidades sejam alteradas. O resultado dessa discretização recebe o nome de malha. A origem do MEF se dá no fim do século XVIII, com a proposta de solucionar problemas matemáticos através do uso de funções de aproximação. Antes disso, as resoluções eram feitas através de derivadas parciais e da aplicação da série de Fourier. A efetivação padrão do método se deu a partir dos avanços tecnológicos e a implantação do uso computacional.

A análise através do MEF pode ser usada em diversas áreas da medicina e da engenharia, destes tais como estudos eletromagnéticos, de termodinâmica, aeronavais, estruturais e problemas de áreas afins. Com base em uma problemática onde, para resolvê-la, se faça necessária a realização de uma análise estrutural, parâmetros como o modelo da estrutura e seus esforços devem ser conhecidos e, fundamentado nisso, o tipo de análise que propicia a resolução deve ser deliberado. A análise de estrutura pode ser do tipo estática ou dinâmica, linear ou não linear.

3.5. Otimização estrutural

Os projetos nas indústrias costumavam ser desenvolvidos e terem seus cálculos baseados em experiências anteriores e, depois da fase de teste, eram validados. A alta competitividade, a necessidade pela inovação e a busca de projetos que não dependam da intuição e conhecimentos do projetista causaram o surgimento de produtos de menor custo propiciou, devido à natureza conflitante desses aspectos, pesquisas de engenharia que pudessem usar técnicas de otimização para obtenção do que seria classificado como ótimo, da indispensável relação custo benefício.

Com o surgimento de computadores e do MEF na década de 60, a otimização estrutural que, desde o início do século XX era estudada com ausência de aplicações prática e quase não havia avanço. Esse surgimento aumentou a procura de indústrias para que nelas fossem estudados problemas de otimização. Cerca de duas décadas depois, softwares comerciais passaram a incluir módulos dedicados ao assunto. Autores afirmam que esses algoritmos evolucionários têm alto grau de operação de solução (VARGAS *et al.*, 2016).

A otimização é um processo numérico que resulta numa configuração estrutural de desempenho satisfatório dentro das restrições de segurança aplicáveis comportamentais da estrutura (COUTINHO, 2014). Além de ser uma ferramenta poderosa que maximiza ou minimiza o parâmetro em estudo, é um grande desafio de um projeto estrutural e recebe, cada vez mais, atenção na engenharia que inclui, em seu ponto de vista prático, aspectos como custo para elaboração e desenvolvimento do produto, e este envolve desde o material até valores de tensão e deslocamentos. Dessa forma, a otimização estrutural é uma alternativa pertinente no projeto de novas estruturas, pois seu resultado dispõe de características com mérito de descrição e análise que abordam inclusive as restrições (SILVA, 2015).

A partir da definição do projeto e segundo (SILVA, 2015), as etapas de otimização, consideradas formas clássicas, são divididas em otimização dimensional, de forma e otimização topológica. A Otimização Dimensional tem sua forma fixada ao longo do processo de busca da melhor configuração e as variáveis do projeto elaborado são dimensões geométricas das barras. Na Otimização de Forma é onde os contornos da estrutura são determinados e é dela que sai as variáveis de projeto. Auxiliando no projeto, a otimização topológica é um computacional de característica topológica evidencia as propriedades geométricas do caso em estudo, desde sua forma, passando

por possíveis furos internos e conectividades, até a definição de contorno externo. É uma etapa de auxílio para determinação da topologia usada no projeto, complementar no projeto conceitual.

Os objetos que passam pelo processo de otimização são inúmeros e compreendem diversas áreas. Dentro da área ortopédica, fixadores externos apresentam design robusto e desconforto ao uso. A partir disso, é possível realizar um estudo de tensões envolvendo esse artefato e, com isso, criar condições mais favoráveis aos fixadores atuais.

4. METODOLOGIA

Foram realizadas pesquisas em busca de produções científicas, nos idiomas português e inglês, que abordassem assuntos relacionados ao deste trabalho. Todas essas pesquisas foram realizadas em sites repositórios deste tipo de publicação e filtradas apenas no que diz respeito ao ano de publicação e, para os campos de pesquisa, foram usadas, em sua maioria, as palavras-chaves deste trabalho. A estratégia inicial de busca era de selecionar apenas trabalhos publicados entre os anos de 2013 e 2018. Porém, com o intuito de aumentar a biblioteca que originaria este trabalho e devido à pouca quantidade de material encontrado, foram pesquisados artigos com publicações mais antigas. O critério de inclusão usado nesse momento da pesquisa era fundamentado na leitura dos resumos das publicações e, caso o texto em foco despertasse o anseio pela leitura do que mais poderia estar contido nele, era selecionado. Em alguns casos, uma leitura de alguns tópicos específicos, que mais chamassem a atenção e que poderiam incrementar na elaboração desta análise, também foi usada como critério.

A figura 2, apresenta o fluxograma do processo metodológico proposto neste trabalho.

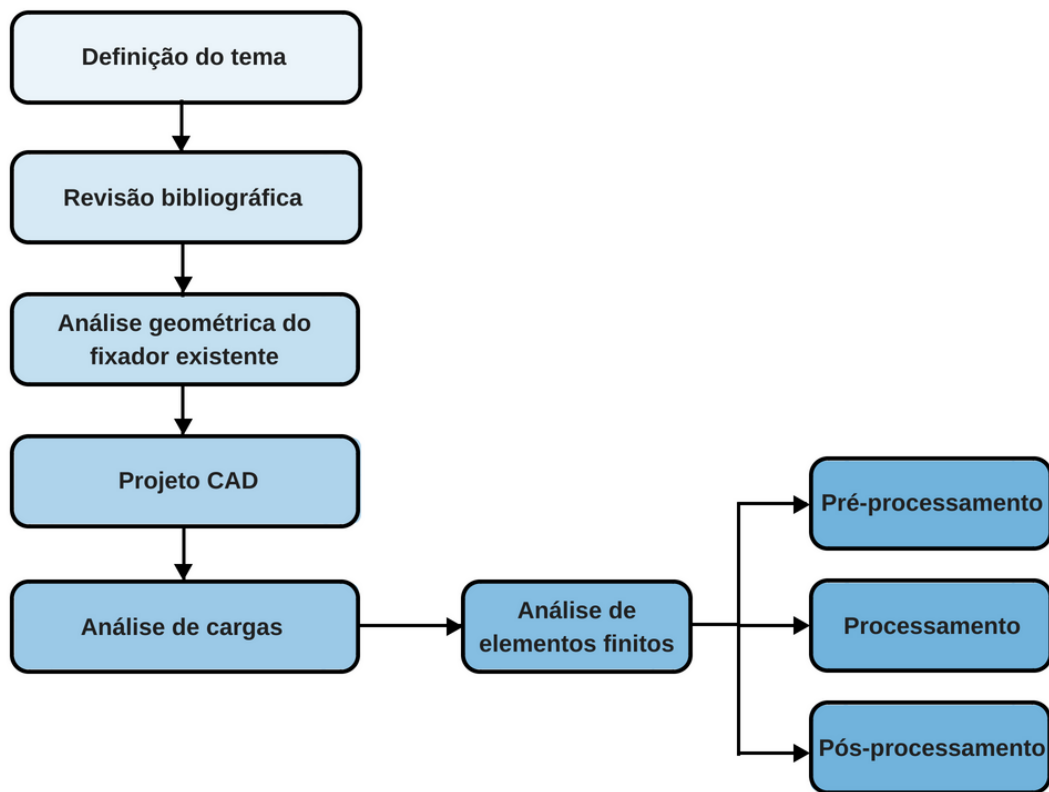


Figura 2 - Processo metodológico utilizado neste trabalho

A partir da definição do tema, realizada através da compatibilidade com o assunto em questão, iniciou-se as pesquisas em acervo de periódicos que pudessem basear a realização deste trabalho. Com base na literatura encontrada, as etapas seguintes foram determinadas. A análise geométrica se faz necessária para conhecimento das peças componentes do FE. É fundamental o domínio da montagem e desmontagem da peça, bem como as características funcionais de cada elemento, entendendo assim seu funcionamento e seu papel. Conhecer as dimensões físicas do FE é o primeiro passo para aquisição de um modelo em CAD congênere. Esse modelo é um processo fundamental para a etapa de análise de cargas, pois é nesta etapa onde é simulado e exposto o modo de comportamento do material do objeto em estudo quando submetido a cargas. Por fim, o MEF, desenvolvido para solucionar Equações Diferenciais Parciais (EDP), transforma o problema de região do domínio de contínuo para discreto. Esta divisão de domínio é obtida através da malha. O MEF aplicado nesse processo metodológico viabilizará a análise de tensões e tem as condições de contorno, geração

de coordenadas e propriedades, imposta na etapa de pré-processamento. Na etapa de pós-processamento encontram-se todos os resultados obtidos.

Para produzir o modelo real em CAD, se fez necessário conhecer todas as partes constituintes do objeto de estudo deste trabalho, bem como suas dimensões. Para tanto, o desenvolvimento inicial desse trabalho se deu com o processo de aprendizagem de montagem e desmontagem do fixador. Os valores das dimensões de geometria de cada peça constituinte do FE foram obtidos através do uso de um Paquímetro e, a partir disso, com o fixador totalmente desmontado, cada elemento constituinte foi elaborado em modelo computadorizado, ou seja, foi realizada a sua modelagem. As partes constituintes do FE podem ser visualizadas na figura 3.

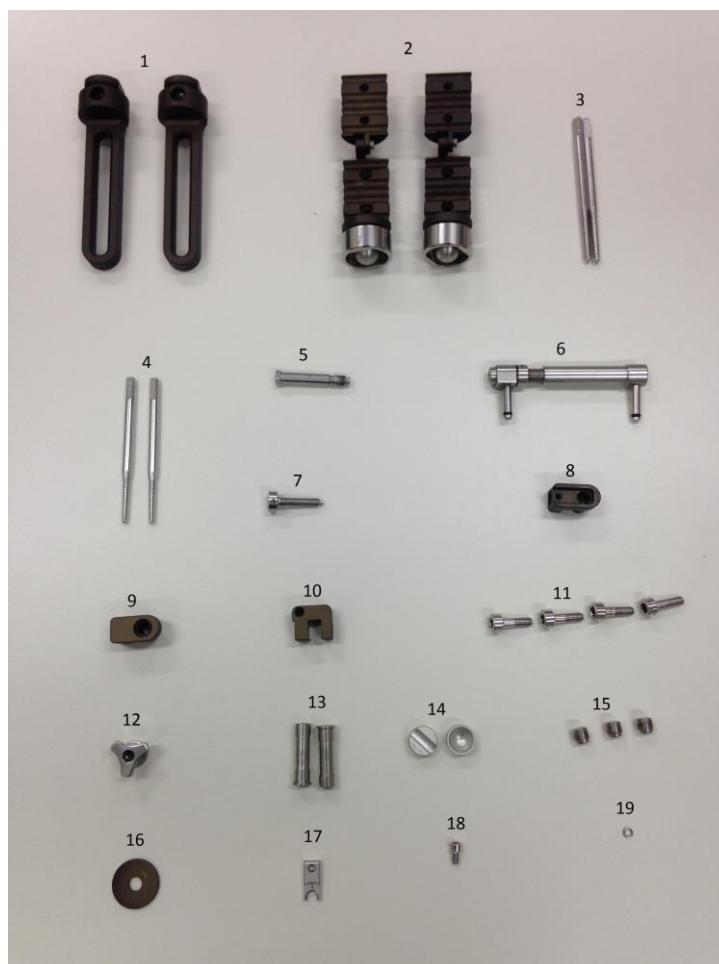


Figura 3 - Componentes do fixador externo articulado para o cotovelo

Na imagem acima os componentes da órtese estão enumerados de 1 a 19, onde:

- Peça 1: Elos deslizantes
- Peça 2: Grampos retos com juntas esféricas

- Peça 3: Pinos de diâmetro maior
- Peça 4: Pinos de diâmetro menor
- Peça 5: Parafuso conector
- Peça 6: Compressor/Distrator
- Peça 7: Parafuso do distrator pequeno
- Peça 8: Unidade de ligação central superior
- Peça 9: Unidade de ligação central inferior
- Peça 10: Distrator pequeno
- Peça 11: Parafusos do grampo reto
- Peça 12: Trava da unidade de ligação central
- Peça 13: Excêntricos
- Peça 14: Casquilhos
- Peça 15: Parafuso trava de ligação do distrator
- Peça 16: Arruela grande
- Peça 17: Centralizador/espaçador do parafuso conector
- Peça 18: Parafuso do centralizador/espaçador
- Peça 19: Arruela pequena

De forma a alcançar o objetivo geral deste trabalho, foi feito, posteriormente a desmontagem, a modelagem em CAD (*Computer Aided Design*) do fixador externo que é objeto propulsor deste estudo realizado por meio do software SolidWorks® (2015, Windows, português). As dimensões foram sendo obtidas conforme andamento de modelagem de cada peça. Para as peças idênticas se fez necessária a modelagem de apenas um exemplar e, na montagem do objeto, elas foram replicadas conforme necessidade. A figura 3 mostra o resultado final da montagem obtida no SolidWorks.

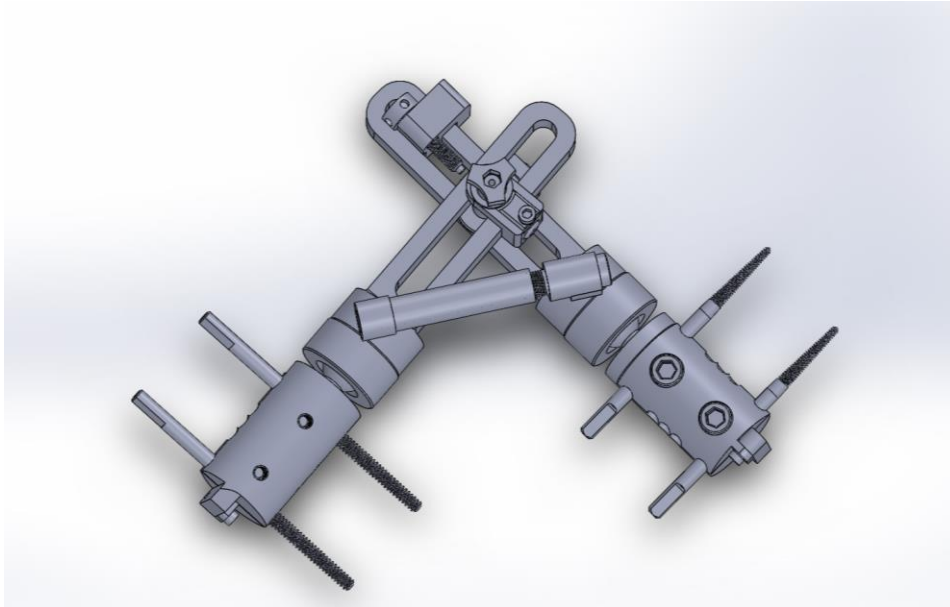


Figura 4 - Montagem em CAD do fixador externo articulado para o cotovelo

Para este estudo, o método de elementos finitos deve ser utilizado em uma análise tridimensional (eixo das coordenadas X, Y e Z), a partir do desenho geométrico do fixador externo, com dimensões iguais ao modelo original. Nele a malha, imagem vetorial, deve ser criada a partir da exportação do desenho tridimensional obtido em CAD, propiciando assim a análise de tensões através do método de elementos finitos

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme pode ser verificado na seção 4 deste trabalho, foi definido o processo metodológico para análise estática do fixador externo articulado, objeto deste trabalho. O processo metodológico definido possibilita que todas as etapas sejam verificadas e analisadas de forma enxuta e ao final do processo apresente um resultado.

Todas as etapas definidas foram devidamente descritas e detalhadas para que trabalhos futuros sejam contemplados com a metodologia. Conforme mencionado, esta proposta é a fase inicial do projeto Fixador Externo Articulado SMART, proposto pelo Laboratório de Inovação Tecnológica em Saúde, e apresenta suma importância para continuidade do mesmo.

6. CONCLUSÕES

Baseado no que foi proposto e realizado, este processo expõe a metodologia e alguns resultados que devem ser empregados no projeto futuro que otimizará um fixador externo articulado para o cotovelo e este, de acordo com seus objetivos, se apresentará de forma mais acessível àqueles que necessitarão usá-lo como instrumento terapêutico.

7. REFERÊNCIAS

ÇAKMAK, M., *et al.* **Basic Techniques for Extremity Reconstruction**. 1 ed. Springer International Publishing, 2018.

FOSSUM, T. W. **Cirurgia de pequenos animais**. 4 ed. Elsevier, 2014.

VARGAS, D. E. C., *et al.* **Um algoritmo baseado em evolução diferencial para problemas de otimização estrutural multiobjetivo com restrições**, Rev. int. métodos numér. cálc. diseño ing., 32(2) (2016), p 91-99.

COUTINHO, K. D. **Método de Otimização topológica em estruturas tridimensionais**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, 2006.

BISACCIA, M., *et al.* **The History of External Fixation, a Revolution idea for the Treatment of Limb ' S Traumatized and Deformities : From Hippocrates to today**. v. 3, n. 4, p. 1–9, 2016.

COUTINHO, K. D. **Biomecânica e Otimização Topológica com H -Adaptatividade em Implantes Dentários Nitretados a Plasma em Cátodo Oco** Karilany Dantas Coutinho **Biomecânica e Otimização Topológica com H -Adaptatividade em Implantes Dentários Nitretados a Plasma em Cátodo Oco**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, 2014.

MELO, D. G. **Dinamização de fixador esquelético externo conectado ao pino intramedular “tie-in” em tibia de nove cães**. Revista científica eletrônica de medicina veterinária – issn: 1679-7353, n. 16, 2009.

ROCHA, C. O. J. M. DA. **Comparação da avaliação mecânica de compressão axial em seis modelos de fixadores esqueléticos externos confeccionados com barras estabilizadoras de polimetacrilato de metila ou de madeira e parafusos de aço inoxidável**.304. p. 77, 2008.

SILVA, F. E. C. **Otimização Dimensional, de Forma e Topológica de Estruturas Treliçadas Utilizando um Algoritmo Híbrido**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Paraná, Brasil, 2015.

TUTTLE, T. S., *et al.* **Safety and efficacy of damage control external fixation versus early definitive stabilization for femoral shaft fractures in the multiple-injured patient**. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 67.3 (2009): 602-605.

VARGAS, D. E. C., *et al.* **A differential evolution based algorithm for constrained multiobjective structural optimization**. *Rev. int. métodos numér. cálc. diseño ing.*, 32(2) (2016), p 91-99.C

NAHM, N. J., *et al.* **Early appropriate care: definitive stabilization of femoral fractures within 24 hours of injury is safe in most patients with multiple injuries**. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 71.1 (2011): 175-185.

CAMARGO, O. P., BARROS FILHO, T. E. P., CAMANHO, G. L. **Clínica Ortopédica**. 1ed. Editora Manole, 2012.

ANGELINI, F. J., *et al.* **Surgical management of knee dislocations with ligament reconstruction associated with a hinged external fixator**. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 101.1 (2015): 77-81.

ANGELINI, F. J., *et al.* **External fixator for treatment of the sub-acute and chronic multi-ligament-injured knee**. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 23.10 (2015): 3012-3018.

UNAL, C.; GERCEK, H. **Use of custom-made stockings to control postoperative leg and foot edema following free tissue transfer and external fixation of fractures**. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, v. 51, n. 2, p. 246-248, 2012.

MERCADANTE, M. T., *et al.* **Resistência mecânica às forças de tração e flexão: proposta de novo desenho para os pinos de Schanz dos fixadores externos monolaterais**. *Rev Bras Ortop*, v. 43, n. 6, p. 248-55, 2008.

LIPPERT, L. S. **Cinesiologia Clínica e Anatomia**. 5ed. Editora Guanabara Koogan. 2013.

SINHA, S., CAMPBELL, A. C. **Orthofix pin: a method of small bone fragment stabilisation.** Injury, v. 31, n. 8, p. 631-633, 2000.

LAVINI, F., *et al.* **Treatment of non-union of the humerus using the Orthofix® external fixator.** Injury, v. 32, p. 35-40, 2001.

MIYAZAKI, A. N., *et al.* **Tratamento do cotovelo rígido com artroplastia de interposição associada ao fixador externo articulado.** Rev Bras Ortop, v. 44, n. 4, p. 336-41, 2009.

ZILKENS, C., *et al.* **Treatment of acute and chronic elbow instability with a hinged external fixator after fracture dislocation.** Acta Orthopædica Belgica, v. 75, n. 2, p. 167, 2009.

MANISCALCO, P., *et al.* **Hinged external fixation for complex fracture-dislocation of the elbow in elderly people.** Injury, v. 45, p. S53-S57, 2014.

BIGAZZI, P., *et al.* **A new autocentering hinged external fixator of the elbow: a device that stabilizes the elbow axis without use of the articular pin.** Journal of shoulder and elbow surgery, v. 24, n. 8, p. 1197-1205, 2015.

STERNICK, M. B., *et al.* **Relação entre rigidez de fixador externo e quantidade de pinos: análise computacional por elementos finitos.** Rev Bras Ortop, v. 47, n. 5, p. 646-50, 2012.