

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE MEDICINA DE RIBEIRÃO PRETO
CURSO DE INFORMÁTICA BIOMÉDICA**

LAURA TERESA RICOBONI

**Biomecânica da Fixação de Fratura da Disjunção da Síntese Pélvica
da Pelve Feminina com Osteoporose**

RIBEIRÃO PRETO - SP

2022

LAURA TERESA RICOBONI

**Biomecânica da Fixação de Fratura da Disjunção da Síntese Pélvica
da Pélve Feminina com Osteoporose**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado para obtenção de título de
Bacharel em Informática Biomédica pela
Faculdade de Medicina de Ribeirão
Preto/USP

Área de Concentração: Informática
Biomédica

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos
Shimano

RIBEIRÃO PRETO - SP
2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este trabalho foi apresentado e aprovado pela Comissão Coordenadora do Curso de Informática Biomédica em 15/03/2023.

Ricoboni, Laura Teresa

Biomecânica da Fixação de Fratura da Disjunção da Sínfise Pélvica da Pélve Feminina com Osteoporose.

Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Informática Biomédica, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo. Orientador Prof. Dr. Antonio Carlos Shimano, 2022.

Versão Corrigida.

1. Osteoporose 2. Sínfise Pélvica 3. Elementos Finitos 4. Fratura da Pélve 5. Placa de Reconstrução

Nome: Ricoboni, Laura Teresa

Título: Biomecânica da Fixação de Fratura da Disjunção da Sínfise Pélvica da Pelve Feminina com Osteoporose.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da
Universidade de São Paulo para a obtenção do
título de Bacharel em Informática Biomédica.

Aprovado em: 12/12/2022

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

“Dedico este trabalho à minha mãe, Patrícia Meire Pereira Ricoboni, ao meu pai, Orivaldo Ricoboni e ao meu irmão, Otávio Ricoboni, por serem suporte, amor e cuidado na minha vida.”

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Antônio Carlos Shimano, pela confiança depositada em mim através da oportunidade de aprendizado e crescimento. Por toda orientação, ensinamentos e inspiração. Por ser um exemplo como profissional e pessoa, através da sua competência, empatia e sabedoria. Espero ser uma profissional de impacto no meu meio, assim como o senhor foi na minha vida. Ao senhor, minha eterna admiração.

Aos colaboradores e colegas do Laboratório de Bioengenharia, da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, especialmente: – Engenheira Doutora Ana Paula Macedo, Informata Biomédico Leonardo Rigobello, Graduando de Informática Biomédica Bruno Nishida e ao Prof. Dr. Anderson Freitas, por serem mãos amigas na minha caminhada de pesquisa, e por contribuírem e incentivarem minha visão de pesquisa acadêmica.

A Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, que foi uma realização na minha vida, e me proporcionou um crescimento indescritível.

Ao Prof. Dr. Paulo Mazzoncini de Azevedo Marques, que é um grande exemplo de profissional, por todo apoio e incentivo.

Aos meus colegas que estiveram presentes nas atividades extracurriculares que tive a alegria de vivenciar durante a graduação, como: participação da Comissão Organizadora da Semana Brasileira de Informática Biomédica, presidente e membro da InfoBio Jr. Empresa Júnior de Informática Biomédica, diretora do Centro Estudantil de Informática Biomédica e realização da Iniciação Científica.

Ao SUPERÁ Parque de Inovação e Tecnologia de Ribeirão Preto, onde tive a oportunidade de realizar meu estágio, na vertente educacional e social, por todo o crescimento, flexibilidade e desenvolvimento proporcionado.

A todos que diretamente ou indiretamente me ajudaram e estiveram do meu lado durante minha formação em Informática Biomédica.

DEDICATÓRIAS E AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Aos meus pais, Patrícia Meire Pereira Ricoboni e Orivaldo Ricoboni, que sempre investiram na minha educação em busca do melhor, que me proporcionaram todo suporte e conforto para que eu pudesse viver a fase da graduação, e que sempre me deram tanto amor, carinho e incentivo, fazendo os meus sonhos os deles.

Ao meu irmão, Otávio Ricoboni, pela companhia, calma e por ser meus olhos e coração, cuidando dos nossos pais, enquanto estive ausente.

A minha família - Ricoboni e Pereira, por vibrarem em cada passo dado, e por apoiarem e acreditarem no meu desenvolvimento.

Ao Lucas Bombarda Andraus, por ser companheiro e compreensivo em todas as etapas que compartilhamos, sempre torcendo e se alegrando por cada passo dado.

Aos professores que tive durante minha formação escolar base - na escola SESI (Serviço Social da Indústria) e Toledo, em Araçatuba-SP, por despertarem meu interesse na educação e pesquisa. Especialmente ao Professor Luciano de Souza Andrade, que sempre acreditou em mim, e me apresentou a robótica, que tanto me abriu portas.

EPÍGRAFE

Que a tua vida não seja uma vida estéril. - Sê útil. - Deixa rasto.

São Josemaria Escrivá

RESUMO

A osteoporose é uma doença com grande incidência em todo mundo. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), 1/3 das mulheres brancas acima de 65 anos são portadoras, com cerca de 50% de chance das com mais de 75 anos terem algum tipo de fratura osteoporótica. De modo geral, as fraturas da pelve podem causar sérias complicações futuras ao paciente, e seu tratamento ainda é um desafio para a Ortopedia. Portanto é importante e benéfico a aplicação da Biomecânica através de métodos computacionais - com a exploração de softwares como *Invesalius®*, *Rhinoceros®* e *SimLab®*, que possibilitam a reconstrução, modelagem e análise baseando-se no método dos elementos finitos, a fim de entender o comportamento mecânico e traçar os melhores planos de tratamento. Desta forma, o objetivo é avaliar a biomecânica de duas montagens, utilizando placa de reconstrução, variando o posicionamento de parafusos corticais, na fixação da fratura da disjunção da sínfise púbica em pelve feminina com osteoporose, por meio de comparações das tensões internas geradas na pelve. Após aprovação pelo comitê de ética e pesquisa, foram obtidas imagens de tomografia computadorizada da cintura pélvica com osteoporose, do banco de imagens do Hospital Ortopédico de Brasília. Estas, foram importadas para o software *Invesalius®*, que possibilitou a reconstrução tridimensional das partes de interesse - pelve feminina, gerando um arquivo .STL, que foi importado para o programa *Rhinoceros®*, que possibilitou o desenvolvimento do desenho BioCAD - do osso pélvico, placa de reconstrução e parafuso; que por fim, foi incorporado para o *SimLab®*, que possibilitou a aplicação do método dos elementos finitos. Os resultados buscam analisar e compreender biomecanicamente o deslocamento, tensão máxima e mínima principal e tensão de Von Mises, a fim de projetar o melhor tipo de fixação para casos de fraturas na disjunção da sínfise pública da pelve feminina com osteoporose. Os resultados encontrados neste trabalho mostraram que a utilização dos quatro parafusos posicionados na forma cruzada, provocam menores concentrações de tensões na pelve do que se utilizam os parafusos de forma paralela, de modo que os parafusos intermediários são os mais solicitados.

Palavras-Chave: Osteoporose, Sínfise pública, Elementos finitos, Fratura da pelve, placa de reconstrução.

ABSTRACT

Osteoporosis is a disease with a high incidence worldwide. According to the World Health Organization (WHO), 1/3 of white women over 65 years old are carriers, with about a 50% chance of those over 75 years old having some type of osteoporotic fracture. In general, pelvic fractures can cause serious future complications for the patient, and their treatment is still a challenge for Orthopedics. Therefore, it is important and beneficial to apply Biomechanics through computational methods - with the exploration of software such as Invesalius®, Rhinoceros® and SimLab®, which enable the reconstruction, modeling and analysis based on the finite element method, in order to understand the mechanical behavior and outline the best treatment plans. Thus, the objective is to evaluate the biomechanics of two assemblies, using a reconstruction plate, varying the positioning of cortical screws, in the fixation of the disjunction fracture of the pubic symphysis in a female pelvis with osteoporosis, through comparisons of the internal tensions generated in the pelvis. After approval by the ethics and research committee, computed tomography images of the pelvic girdle with osteoporosis were obtained from the image bank of the Hospital Ortopédico de Brasília. These were imported into the Invesalius® software, which enabled the three-dimensional reconstruction of the parts of interest - female pelvis, generating a .STL file, which was imported into the Rhinoceros® program, which enabled the development of the BioCAD drawing - of the pelvic bone, reconstruction plate and screw; which was finally incorporated into SimLab®, which enabled the application of the finite element method. The results seek to biomechanically analyze and understand the displacement, maximum and minimum principal tension and Von Mises tension, in order to design the best type of fixation for cases of fractures in the disjunction of the pubic symphysis of the female pelvis with osteoporosis. The results found in this work showed that the use of the four screws positioned in a crossed way, cause lower stress concentrations in the pelvis than if the screws are used in parallel, so that the intermediate screws are the most requested.

Keywords: Osteoporosis, Pubic symphysis, Finite elements, Pelvic fracture, reconstruction plate.

Lista de Figuras

Figura 1. Placa de reconstrução.....	23
Figura 2. Medidas do parafuso cortical.....	24
Figura 3. Desenho esquemático das duas montagens propostas, Montagem 1 representada pelo modelo 1 e Montagem 2 representada pelo modelo 2.....	24
Figura 4. Imagem tomográfica no InVesalius® (não editada).....	25
Figura 5. Imagem tomográfica no InVesalius® (editada).....	26
Figura 6. PrintScreen de visão geral no InVesalius®.....	26
Figura 7. Imagem tomográfica acessada no Rhinoceros® (sem edição).....	27
Figura 8. Pelve com as superfícies de corte horizontais.....	27
Figura 9. Linhas geradas pelos cortes.....	27
Figura 10. Superfícies geradas e seccionadas pelas intersecções das linhas.....	28
Figura 11. Vista frontal do modelo da região cortical da pelve feminina com osteoporose (em rosa mostra todas as linhas utilizadas para a modelagem).....	28
Figura 12. Vista frontal do modelo da região trabecular da pelve feminina com osteoporose (em rosa mostra todas as linhas utilizadas para a modelagem).....	29
Figura 13. Vista frontal do modelo da região cortical da pelve feminina com osteoporose (renderizada).....	29
Figura 14. Visão posterior da pelve feminina com a sobreposição da região cortical (azul) e trabecular (verde).....	30
Figura 15. Modelagem placa de reconstrução.....	30
Figura 16. Modelagem parafuso cortical - 3,5 mm.....	30
Figura 17. Montagem 1 (parafusos em paralelo). A numeração dos parafusos da direita para esquerda (de 1 a 4).....	31
Figura 18. Montagem 2 (parafusos cruzados). A numeração dos parafusos da direita para esquerda (de 1 a 4).....	31
Figura 19. Visão em modo perspectiva da fixação - placa e parafuso, pertencente à montagem 1.....	32
Figura 20. Visão da fixação dos parafusos pertencentes à montagem 1.....	33
Figura 21. Vista traseira da pelve feminina com a montagem 1 (seccionada).....	33
Figura 22. Visão em modo perspectiva da fixação pertencente à montagem 2.....	34
Figura 23. Visão da fixação dos parafusos e placa pertencentes à montagem 2.....	34

Figura 24. Vista traseira da pelve feminina com a montagem 2 (seccionada).....	35
Figura 25. Vista traseira da pelve feminina com osteoporose com os locais das fixações.....	35
Figura 26. Vista frontal da pelve com osteoporose estabilizada com placa fixada por parafusos paralelos (M1) e inclinados (M2).....	38
Figura 27. Vista frontal da pelve com osteoporose estabilizada com placa fixada por parafusos paralelos.....	39
Figura 28. Vista frontal da pelve com osteoporose estabilizada com placa fixada por parafusos inclinados.....	40
Figura 29. Vista frontal da pelve com osteoporose estabilizada com placa fixada por parafusos em paralelos.....	41
Figura 30. Vista frontal da pelve com osteoporose estabilizada com placa fixada por parafusos inclinados.....	42
Figura 31 a. Montagem 1 utilizada na fixação de fraturas da pelve com osteoporose.....	43
Figura 31 b. Distribuição da tensão de Von Mises nos parafusos da montagem 1.....	43
Figura 31 c. Arranjo de parafusos da montagem 1, na pelve feminina com osteoporose.....	44
Figura 32 a. Montagem 2 utilizada na fixação de fraturas da pelve com osteoporose.....	44
Figura 32 b. Distribuição da tensão de Von Mises nos parafusos da montagem 2.....	45
Figura 31 c. Fixação da montagem 2, na pelve feminina com osteoporose.....	45

Lista de Quadros

Quadro 1. Quatro parafusos fixados em paralelo, utilizados na fixação da placa (Montagem 1).....	32
Quadro 2. Quatro parafusos fixados cruzados, utilizados na fixação da placa (Montagem 2).....	32
Quadro 3. Número de elementos e nós das montagens 1 e 2 considerando a pelve com Osteoporose.....	35
Quadro 4. Módulos de elasticidade (Young) e coeficientes de <i>Poisson</i> dos materiais das montagens 1 e 2 utilizando a Pelve com osteoporose.....	36
Quadro 5. Quantificação da tensão máxima principal considerando análise óssea.....	40
Quadro 6. Quantificação da tensão mínima principal considerando análise óssea.....	42
Quadro 7. Quantificação tensão de Von Mises considerando parafusos e placa - montagem 1 e 2.....	46

SUMÁRIO

RESUMO	10
1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Anatomia da Pelve	17
1.2. Osteoporose	18
1.3. Fratura da Pelve	19
1.4. Método dos Elementos Finitos	20
2. PROBLEMA	21
3. HIPÓTESE	21
4. OBJETIVO	22
4.1 Objetivo Geral	22
4.2 Objetivos Específicos	22
5. MATERIAL E MÉTODOS	23
5.1 Materiais Utilizados	23
5.1.1 Softwares utilizados	25
5.2 Obtenção de BioCAD® tridimensionais da pelve	25
5.2.1 Geração do arquivo de extensão .STL pelo software InVesalius®	26
5.2.2 Modelagem da estrutura pélvica no Rhinoceros®	26
5.3 Modelagem dos parafusos e placa de reconstrução	30
5.4 Arranjo dos modelos propostos, como modelos de montagens para fixação da pelve	
31	
5.5 Simulação e validação dos modelos propostos	35
5.5.1 Caracterização dos Materiais	35
5.5.2 Condições de Contorno	36
5.5.3 Cálculo de média das Tensões Máximas, Mínimas e Von Mises	37
6. RESULTADOS	38
6.1 Deslocamento	38
6.2 Tensão Máxima Principal	39
6.3 Tensão Mínima Principal	41
6.4 Tensão Equivalente de Von Mises	42
7. DISCUSSÃO	47
8. CONCLUSÃO	50
9. TRABALHOS FUTUROS	51
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1. INTRODUÇÃO

A osteoporose é uma doença com grande incidência em todo mundo. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), 1/3 das mulheres brancas acima de 65 anos são portadoras, com cerca de 50% de chance das com mais de 75 anos terem algum tipo de fratura osteoporótica (GALI, 2001).

De modo geral, as fraturas da pelve podem causar sérias complicações futuras, como a limitação para caminhar, dor crônica, disfunções urológicas, gastrointestinais,性uais e psicológicas (HATEM, 2016).

As fraturas nesta região são mais raras dentre todos os casos de traumatismo, sendo acometido em apenas 3% dos eventos. Isso provavelmente é devido ao fato que, para se comprometer a integridade do anel pélvico, há necessidade de um impacto frontal a pelo menos 50 km/h ou lateral a 40 km/h (CORDTS FILHO et al., 2011).

Segundo o trabalho de Chueire et al. (2004) realizado no Hospital de Base de São José do Rio Preto, SP, os pesquisadores avaliaram 84 pacientes com fratura do anel pélvico, no período de fevereiro de 2000 a setembro de 2001. Nesta pesquisa verificaram um predomínio de vítimas do sexo masculino (67%), com idade média de 37 anos. Os acidentes mais frequentes, foram os relacionados ao trânsito (58%) (acidentes com carro, moto e atropelamento). Geralmente, as lesões graves na pelve ocorrem por traumas de alta energia. Verificaram que devido às atividades da vida moderna, os casos têm aumentado (CHUEIRE et al., 2004).

O tratamento das fraturas que ocorrem na pelve é um desafio para a Ortopedia. Portanto é importante e benéfico avaliar a Biomecânica através de métodos computacionais alinhados a Ortopedia, a dificuldade existente ao tratamento de fraturas localizadas na pelve feminina de pacientes que têm osteoporose, a fim de entender o comportamento mecânico e traçar os melhores planos de tratamento.

Os métodos de fixação utilizados frequentemente no tratamento da disjunção da sínfise pública, se baseiam com placas de reconstrução e parafusos corticais, que podem variar seja pelo posicionamento e comprimento dos parafusos inseridos na placa ou pelo número de placas utilizadas, de forma a existirem quatro tipos de

montagens aplicadas no tratamento desta patologia, sendo eles: placa supra púbica com parafusos paralelos, com parafusos divergentes, trans-sinfisal e com uso de duas placas ortogonais (WRIGHT, 2018).

As diferentes montagens, por considerar a possibilidade de variações nos comprimentos dos parafusos utilizados e o direcionamento implementados aos mesmos, agregam diferentes graus de estabilidade, no entanto as diferentes dimensões pélvicas relacionadas ao gênero do paciente a ser tratado e a densidade mineral óssea são fatores intrínsecos não modificáveis, que podem interferir no resultado biomecânico e com isso no resultado final do tratamento (YU, 2017).

1.1. Anatomia da Pelve

A pelve, está localizada na parte inferior do torso, e é constituída por três ossos: o íleo (maior e principal osso da pélvis), o ísquio (osso da região inferior da pélvis), estes dois ossos estão localizados nas costas, e o púbis (osso mediano da pélvis) está localizado na frente. O conjunto destes ossos formam o encaixe para a extremidade do fêmur, e juntamente com o osso da coxa, formam a articulação do quadril (CAMPAGNE, 2017). Outrossim, segundo Veronez et al. (2012) a bacia é dividida em pelve maior e menor. A pelve maior tem a função de proteger as vísceras abdominais inferiores (íleo e cólon sigmóide). A pelve menor oferece a estrutura óssea para os compartimentos da cavidade pélvica e do períneo (região que inclui o ânus e os órgãos genitais externos, separados pelo diafragma da pelve). A pelve, além de promover a união entre a coluna vertebral e os membros inferiores, tem extrema importância na sustentação do tronco e proteção dos órgãos desta região, e na mulher em gestação, fornece amparo ao feto em desenvolvimento.

Esta estrutura óssea pode ser encontrada nos esqueletos de homens e de mulheres, possuindo como diferença a classificação pelo gênero, por razões funcionais e de desenvolvimento geral (LOURENÇO, 2020). As alterações morfológicas podem ser percebidas entre a pelve feminina e masculina, de modo que as diferenças podem ser percebidas desde o quarto mês de vida fetal. A pelve masculina, geralmente, apresenta-se estreita, com cavidade profunda e um formato mais afunilado, com abertura superior em forma de coração e estreita, com abertura inferior pequena, as impressões musculares são bem marcadas. Já a pelve da mulher, de forma geral é menor, mais superficial e larga, têm formato cilíndrico,

sendo de grande importância para o amparo do feto em desenvolvimento (VERONEZ et al., 2012).

1.2. Osteoporose

A osteoporose é uma doença esquelética sistêmica caracterizada por diminuição da massa óssea e deterioração da microarquitetura do osso, com consequente aumento da fragilidade óssea e susceptibilidade à fratura. Sendo desta maneira considerada um sério problema de saúde pública, devido à alta taxa de morbimortalidade relacionadas com fraturas, particularmente em mulheres idosas (FREIRE et al., 2004).

A forma primária da osteoporose classifica-se em dois tipos, o tipo I, é conhecida como osteoporose pós-menopausa, ocorrendo quando há alta reabsorção óssea, decorrente de uma atividade osteoclástica acelerada; enquanto o tipo II, é nomeada de osteoporose senil ou de involução, ocorrendo quando a reabsorção óssea normal ou levemente aumentada associada a uma atividade osteoblástica diminuída, acometendo homens e mulheres acima dos 70 anos, em ambos os tipos de osso trabecular e cortical, pode levar a fraturas na coluna vertebral, pelve, ossos longos, costelas, quadril e punho. A secundária, por sua vez, está associada a uma grande variedade de condições mórbidas primárias, que podem resultar em distúrbios da absorção intestinal de cálcio ou em hipoestrogenismo precoce.

De modo que em qualquer uma das formas, a osteoporose não demonstra sintomas, sendo as primeiras manifestações clínicas ocorrendo quando já houve perda de 30% a 40% da massa óssea (MARQUES NETO, 1997).

A mesma afeta indivíduos com mais idade, sobretudo mulheres pós-menopausa. De modo que uma mulher de 50 anos apresenta um risco de fratura osteoporótica durante a vida de 17,5% para o colo do fêmur, 15,6% para as vértebras, 16% para o rádio distal, e aproximadamente 40% em qualquer outro local do esqueleto (RADOMINSKI et al., 2004).

1.3. Fratura da Pelve

As fraturas e disjunções da pelve ou anel pélvico envolvem os ossos da bacia e o sacro desde a região posterior, chamada de sacro-ilíaca, até a região anterior, chamada de sínfise púbica (BUSATO, 2014).

As fraturas da pelve geralmente resultam de traumas de alta energia e, em cerca de 90% dos casos, há lesões associadas. Considerando todas as fraturas, os ossos da pelve são acometidos em apenas 3% a 8% das vezes, porém remetem a um índice de mortalidade de até 20%. Em torno de 10% das fraturas pélvicas podem ser classificadas como “complexas”, caracterizando-se por instabilidade mecânica e hemodinâmica, e presença de lesões em outros segmentos corporais. A incidência de fratura da pelve, em pessoas, nos grandes centros urbanos é de aproximadamente 23 para cada 100.000 habitantes e a mortalidade geral varia de 4 a 23% (CORDTS et al., 2011). Segundo estudo epidemiológico de Chueire et al. (2004), na maioria dos pacientes, a lesão pélvica ocorre em 58% das vezes, devido a acidentes de trânsito, seguida de 32% devido às quedas, e em 10% ocorre o esmagamento.

O tratamento das fraturas que ocorrem na pelve é um desafio para a ortopedia, de modo que as vias de acesso principais a estas fraturas são limitadas a pfannenstiel, ilioinguinal e iliofemoral, de forma que as duas últimas são associadas a maior risco de sangramento com lesão de partes moles e das estruturas neurovasculares, com isso dificultando a escolha do local de colocação e fixação dos implantes (BALBACHEVSKY et al., 2006).

O tratamento pode ser classificado como inicial e definitivo. O inicial destina-se ao tratamento de urgência, com o objetivo principal de recuperar a saúde, salvando a vida do paciente, evitando o máximo possível de sequelas. Enquanto, o tratamento definitivo é aquele utilizado para tratar a fratura em si, com estado do paciente estável, sem risco de vida, sendo considerado para definir o tipo de tratamento fatores como: idade, estado de saúde e lesões associadas.

Essas fraturas são também relatadas como estáveis ou instáveis, de maneira que em casos de instabilidade é indicado o tratamento cirúrgico, em razão do paciente estar hemodinamicamente debilitado, necessitando da fixação externa com pinos no osso ilíaco, para cessar possíveis sangramentos. Em contrapartida,

aquelas observadas como estáveis concentram-se em casos de fraturas com baixa energia, com tratamento a partir de medicações analgésicas e anti-inflamatórias (HATEM, 2016).

1.4. Método dos Elementos Finitos

O método dos Elementos Finitos (MEF) tem suas origens no final do século XVIII, quando Gauss propôs a utilização de funções de aproximação para a solução de problemas matemáticos. Entretanto, seu desenvolvimento prático ocorreu por volta de 1950, a partir dos avanços tecnológicos do advento da computação, que permitiu a elaboração e a resolução de equações complexas (LOTTI et al., 2006).

A geometria submetida ao método, é dividida em pequenas partes, denominadas elementos, que permite resolver problemas complexos. O método propõe que o número infinito de variáveis desconhecidas seja substituído por um número limitado de elementos de comportamento definido. As divisões podem apresentar diferentes formas, por exemplo triangular e quadrilateral, de acordo com a função do tipo e dimensão do problema. Os elementos finitos são conectados entre si por pontos, denominados nós ou pontos nodais.

O conjunto de todos esses elementos e nós, nomeia-se de malha (MIRLISENNA, 2016). Deste modo, o Modelo de Elementos Finitos (MEF), pode ser definido como um método matemático, no qual um meio contínuo é subdividido em elementos que mantém as propriedades de quem os originou. Sendo esses elementos descritos através de equações diferenciais e resolvidos por modelos matemáticos para que sejam obtidos os resultados esperados. Sendo de extrema utilidade nas áreas de ciências exatas ou biológicas devido à sua grande aplicabilidade e eficiência em análises de forças, tensões e efeitos aplicados em determinadas estruturas (SILVA et al., 2009).

Sua aplicabilidade no estudo de fratura de pelve pode ser eficaz nas simulações que podem auxiliar o ortopedista, levando em consideração a dificuldade da decisão do local de fixação de implantes, em casos de disjunção da sínfise púbica em pelves femininas normal e com baixa densidade óssea.

2. PROBLEMA

Os ossos da pelve apesar de serem acometidos em poucos casos, remetem a um índice de mortalidade de até 20%, sendo que 10% das fraturas pélvicas podem ser classificadas como “complexas”, de modo a causar sérias complicações futuras ao paciente, como a limitação para caminhar, dor crônica, disfunções urológicas, gastrointestinais,性uais e psicológicas (HATEM, 2016).

O tratamento das fraturas que ocorrem na pelve são um desafio para a ortopedia e a aplicação de simulações computacionais e de métodos como o dos elementos finitos, podem ser de grande valia, uma vez que promovem o auxílio e a promoção de planejamento prévio por parte do ortopedista ao paciente.

Desta forma, este estudo tem como vertente problemática responder qual dos modelos de fixação apresentados, é o melhor, a partir das simulações computacionais, e análise biomecânica, para pacientes com osteoporose.

3. HIPÓTESE

H1: O tratamento da fratura da disjunção da sínfise pélvica em paciente feminina com osteoporose, utilizando a síntese com placa de reconstrução fixados com parafusos variando as direções são mais eficientes, do ponto de vista biomecânico, do que os fixados com parafusos em paralelo.

H0: O tratamento da fratura da disjunção da sínfise pélvica em paciente feminina com osteoporose, utilizando a síntese com placa de reconstrução fixados com parafusos variando as direções não são mais eficientes, do ponto de vista biomecânico, do que os fixados com parafusos em paralelo.

4. OBJETIVO

4.1 Objetivo Geral

Avaliar a biomecânica de duas montagens, utilizando placa de reconstrução, variando o posicionamento de parafusos corticais, na fixação da fratura da disjunção da sínfise púbica em pelve feminina com osteoporose, por meio de comparações das tensões internas geradas na pelve.

4.2 Objetivos Específicos

Realizar reconstruções do quadril feminino com osteoporose, utilizando imagens da Tomografia Computadorizada;

Desenhar a placa e parafuso e as duas montagens, sendo uma utilizando os 4 parafusos fixados paralelamente e outro inclinados;

Realizar a reconstrução dos dois modelos estruturais de fixações das fraturas das disjunções da sínfise púbica em pelves femininas, com osteoporose;

Realizar as simulações utilizando o Método dos Elementos Finitos.

5. MATERIAL E MÉTODOS

Um projeto de pesquisa, utilizado como iniciação científica foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética da Plataforma Brasil, Ministério da Saúde, Conselho Nacional de Saúde, Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP), para aprovação da liberação das imagens tomográficas, cujo o protocolo é 32179520.0.0000.0023. A aprovação para o uso das imagens tomográficas foi concedida dia 27 de Agosto de 2020.

5.1 Materiais Utilizados

Foram utilizadas as imagens de tomografia computadorizada da cintura pélvica de uma paciente com idade acima de 50 anos, com diagnóstico prévio de osteoporose primária, do gênero feminino, que fizeram tomografia da cintura pélvica para seguimento ou pesquisa diagnóstica de qualquer patologia não óssea na referida região, obtidas do banco de dados do Hospital Ortopédico de Medicina Especializada (HOME), Brasília, DF.

Para se efetuar a modelagem estrutural, foi utilizado como referência, placa de reconstrução (3,0mm de espessura, Figura 1) e parafusos corticais (as medidas estão mostradas na Figura 2).

A Figura 3 apresenta desenhos esquemáticos de duas montagens para fixação da pelve. Montagem 1 (modelo 1) - placa de reconstrução fixada com 04 parafusos posicionados em paralelo e Montagem 2 (modelo 2) - placa de reconstrução fixada com 04 parafusos variando a direção de posição, fazendo o cruzamento entre eles.

Figura 1. Placa de reconstrução.



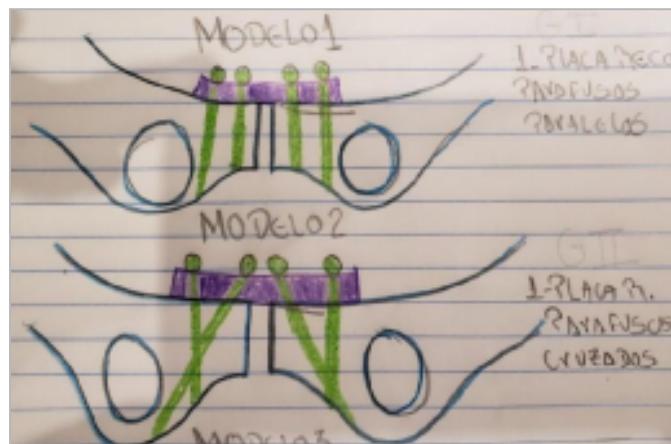
Fonte: Autoria própria.

Figura 2. Medidas do parafuso cortical.



Fonte: Fabricante.

Figura 3. Desenho esquemático das duas montagens propostas, Montagem 1 representada pelo modelo 1 e Montagem 2 representada pelo modelo 2.



Fonte: Autoria Professor Anderson Freitas

5.1.1 Softwares utilizados

Os principais softwares utilizados pertencem ao Laboratório de Bioengenharia da FMRP/USP.

As imagens de tomografia computadorizada do quadril com osteoporose, obtidas no formato de arquivo DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*), foram importadas para o software InVesalius® no qual realizou-se as reconstruções tridimensionais das estruturas de interesse. Após a reconstrução tridimensional, as imagens DICOM foram convertidas para o formato STL (*STereoLithography*).

Por conseguinte, os arquivos STL foram importados para o software

Rhinoceros® para a confecção do desenho BioCAD®. Assim sendo desenhado o complexo utilizado no formato STEP (*Standard for the Exchange of Product model data*).

Por fim, a partir dos arquivos STEP, será realizado as simulações por elementos finitos através do *software* SimLAb® (Altair/HyperWorks).

5.2 Obtenção de BioCAD® tridimensionais da pelve

O Método dos Elementos Finitos, utilizado neste trabalho, requer uma representação digital do objeto a ser estudado, portanto foi preciso criar um modelo tridimensional digital, da cintura pélvica feminina com osteoporose, a partir das imagens de tomografia computadorizada obtidas no banco de dados.

5.2.1 Geração do arquivo de extensão .STL pelo software InVesalius®

Por padrão as imagens tomográficas foram armazenadas no formato DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*), mas para se usar o programa de modelagem Rhinoceros®, a imagem precisa ser convertida para o formato .STL, então foi utilizado o *software* InVesalius® que permite também sua edição (Figura 4).

Figura 4. Imagem tomográfica no InVesalius® (não editada).

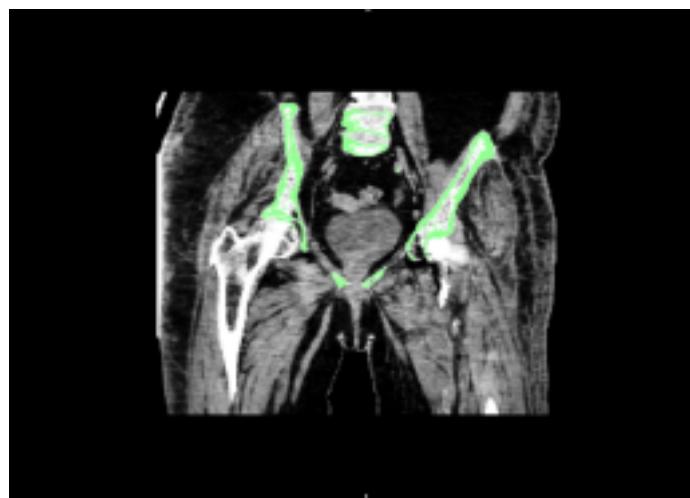


Fonte: Autoria própria

Para facilitar a modelagem, foram utilizados os recursos de edição do

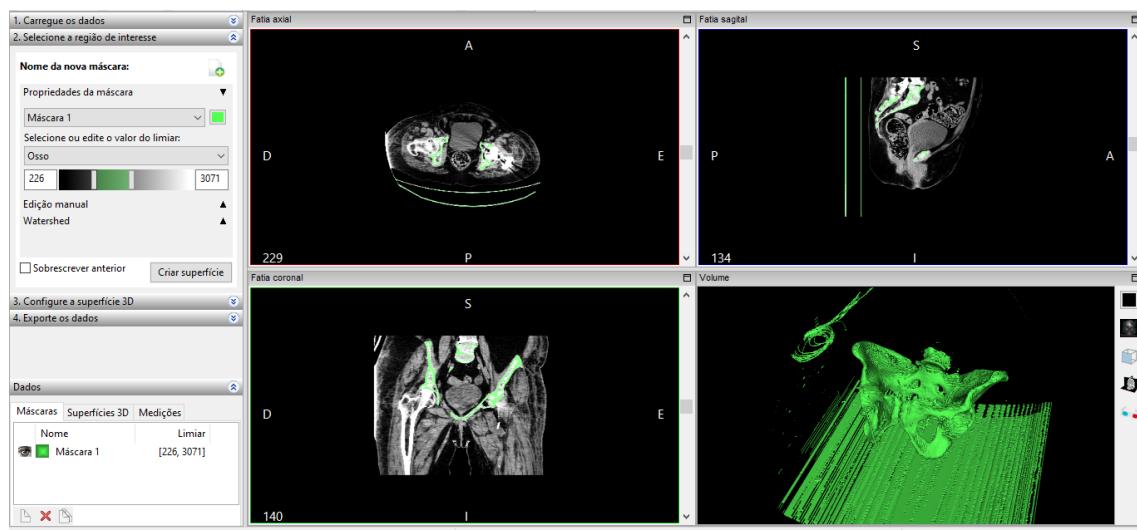
InVesalius®, para remover os fêmures que não são necessários para a proposta do trabalho. O *software* permite que se acesse cada segmento de imagem da tomografia, e selecione as regiões de interesse - destacando-as, como demonstrado na Figura 5. Após a edição, o *software* gera a imagem em formato .STL que é acessada pelo programa de modelagem Rhinoceros®.

Figura 5. Imagem tomográfica no InVesalius® (editada).



Fonte: Autoria própria

Figura 6. PrintScreen de visão geral no InVesalius®



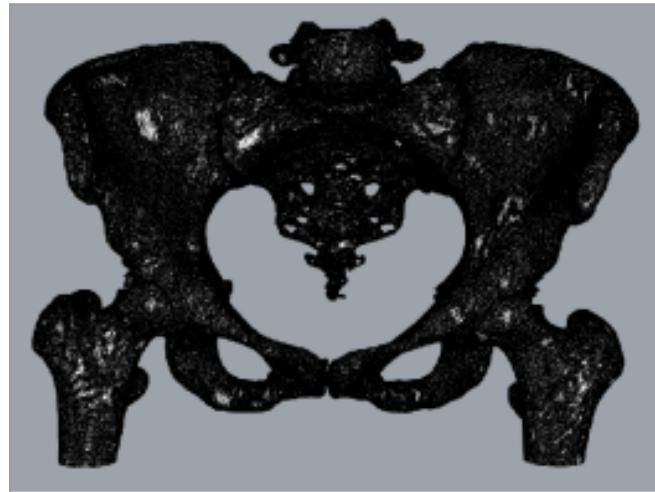
Fonte: Autoria própria

5.2.2 Modelagem da estrutura pélvica no Rhinoceros®

Utilizando a imagem tomográfica como base, foi feita a modelagem tridimensional do quadril e pelve a serem estudados (Figura 7), através do *software*

Rhinoceros®, com licença disponibilizado pelo laboratório de pesquisa.

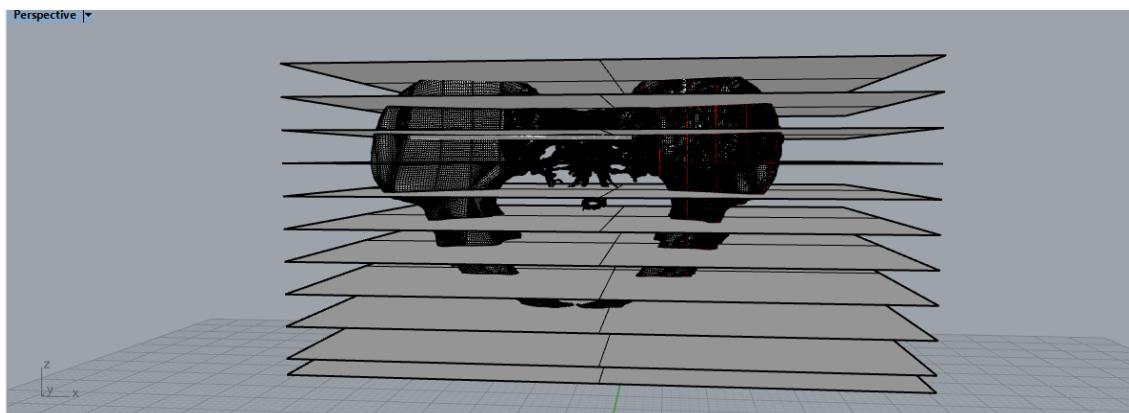
Figura 7. Imagem tomográfica acessada no Rhinoceros® (sem edição).



Fonte: Autoria própria

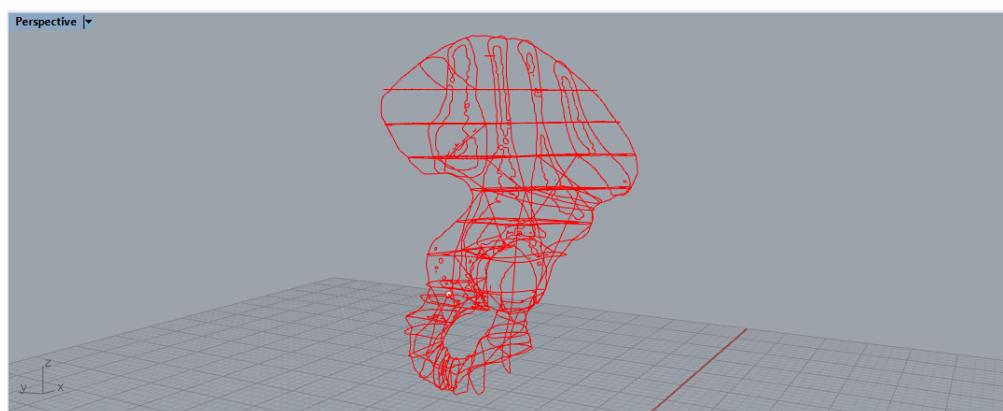
O objeto foi modelado utilizando a imagem como base para fazer “cortes” sobre o osso, criando linhas que permitem a geração de superfícies que dão forma ao objeto. Isso foi feito posicionando planos de secção sobre o osso (Figura 8, 9 e 10).

Figura 8. Pelve com as superfícies de corte horizontais



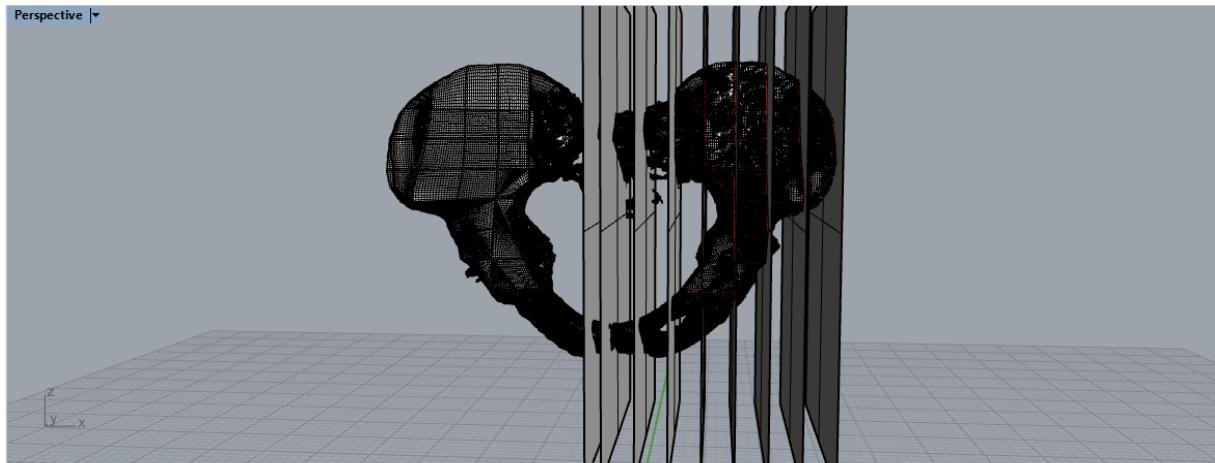
Fonte: Autoria própria

Figura 9. Linhas geradas pelos cortes.



Fonte: Autoria própria

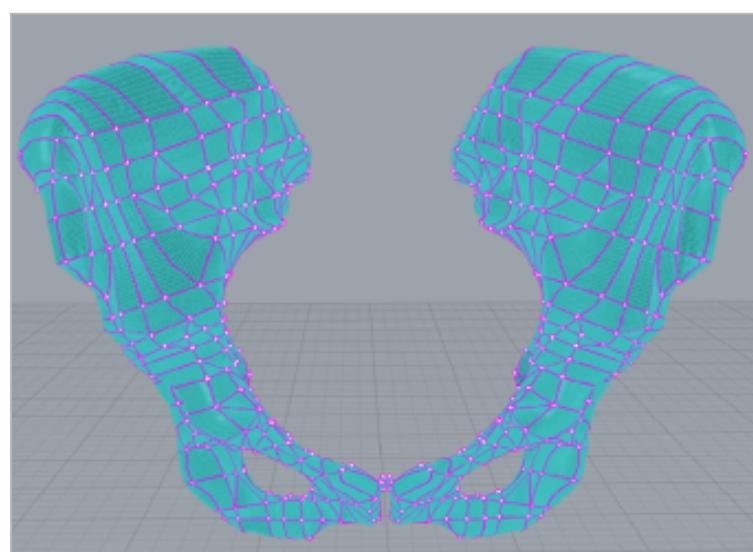
Figura 10. Superfícies geradas e seccionadas pelas intersecções das linhas.



Fonte: Autoria própria

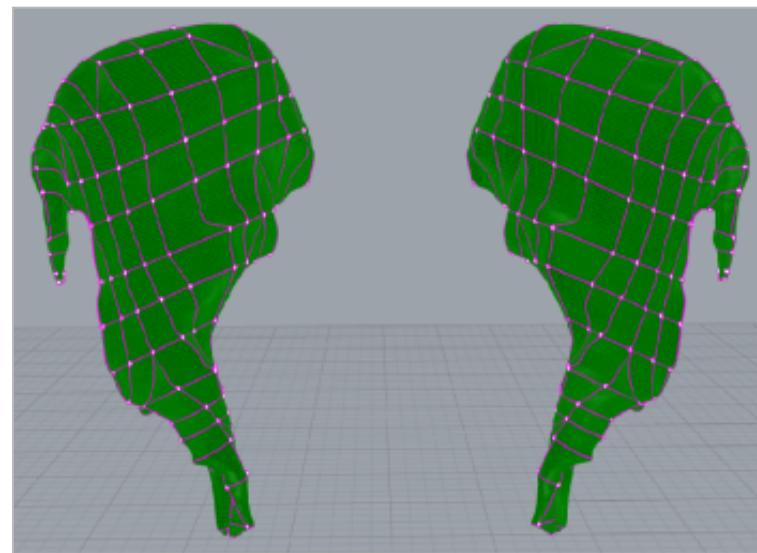
Esse procedimento foi realizado em toda a superfície da porção direita da pelve, modelando tanto a região externa (compacto ou cortical), quanto a interna (esponjoso ou trabecular), e então espelhada do outro lado para obtenção completa da estrutura da pelve (Figuras 11 e 12).

Figura 11. Vista frontal do modelo da região cortical da pelve feminina com osteoporose (em rosa mostra todas as linhas utilizadas para a modelagem).



Fonte: Autoria própria

Figura 12. Vista frontal do modelo da região trabecular da pelve feminina com osteoporose (em rosa mostra todas as linhas utilizadas para a modelagem).



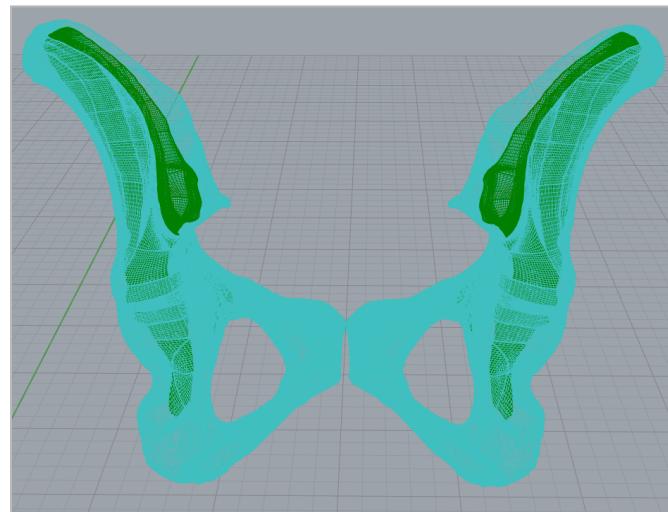
Fonte: Autoria própria

Figura 13. Vista frontal do modelo da região cortical da pelve feminina com osteoporose (renderizada).



Fonte: Autoria própria

Figura 14. Visão posterior da pelve feminina com a sobreposição da região cortical (azul) e trabecular (verde).

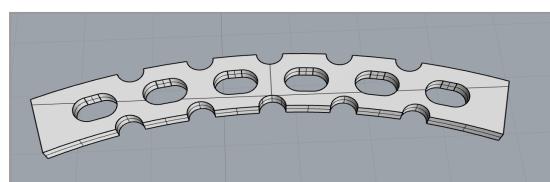


Fonte: Autoria própria

5.3 Modelagem dos parafusos e placa de reconstrução

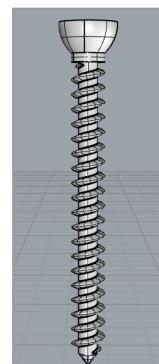
Para a geração dos modelos tridimensionais - figura 15 e 16, através do software Rhinoceros®, foram utilizadas as medidas reais da placa e parafuso - de modo que há variação de acordo com o modelo: montagem 1 - com a placa de reconstrução e quatro parafusos paralelos, como é visto na figura 15; e montagem 2 - com a placa de reconstrução e quatro parafusos cruzados, observado na figura 16.

Figura 15. Modelagem placa de reconstrução. Observação: Imagem sem escala.



Fonte: Autoria própria

Figura 16. Modelagem parafuso cortical - 3,5 mm. Observação: Imagem sem escala.

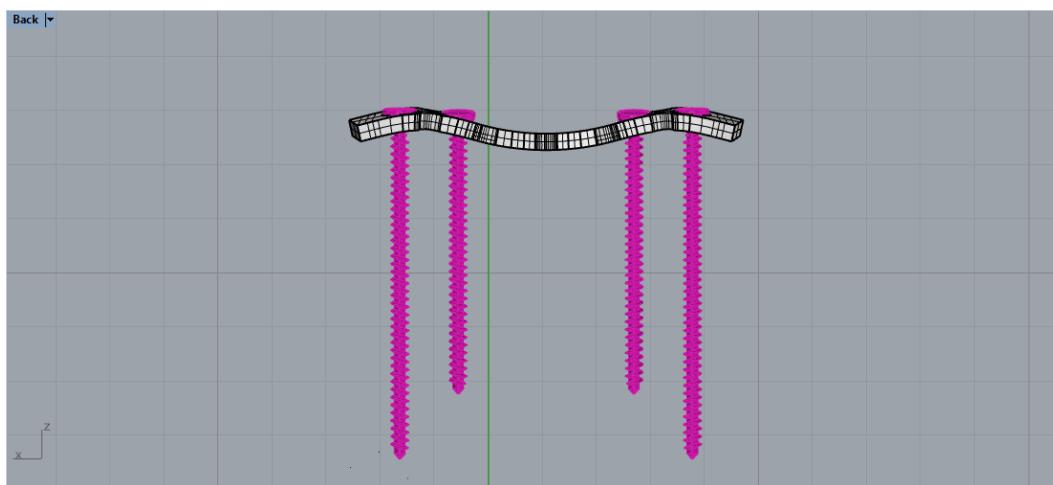


Fonte: Autoria própria

5.4 Arranjo dos modelos propostos, como modelos de montagens para fixação da pelve

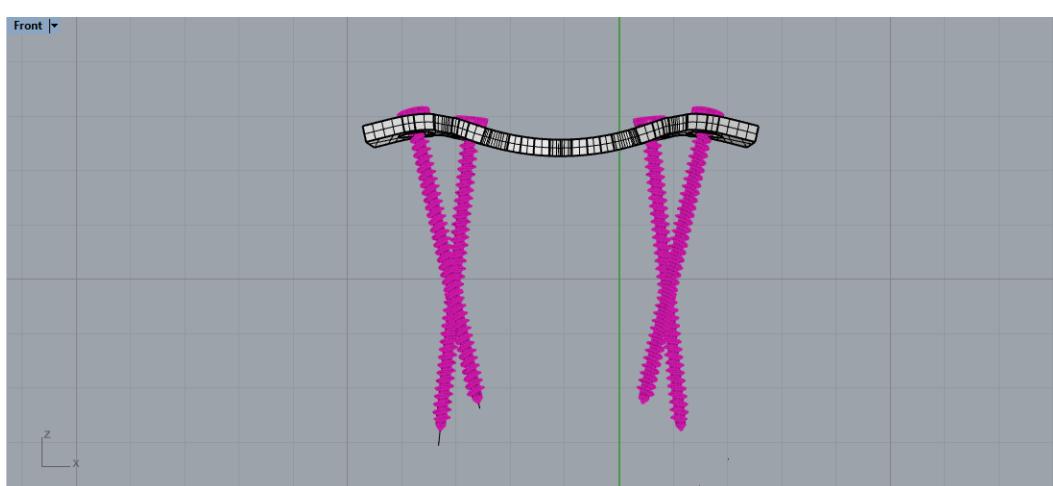
As montagens de fixação foram realizadas utilizando o Software Rhinoceros®, sendo: Montagem 1 - placa de reconstrução fixada com 04 parafusos posicionados em paralelo (Figura 17) e Montagem 2 - placa de reconstrução fixada com 04 parafusos variando a direção de posição, fazendo o cruzamento entre eles (Figura 18). OBS: Foi desenhado para cada parafuso uma variação no seu comprimento (Quadros 1 e 2) para que o mesmo fosse fixado em todo o osso da pelve, assim como realizado dentro da prática cirúrgica.

Figura 17. Montagem 1 (parafusos em paralelo). A numeração dos parafusos da direita para esquerda (de 1 a 4). Observação: Imagem sem escala.



Fonte: Autoria própria

Figura 18. Montagem 2 (parafusos cruzados). A numeração dos parafusos da direita para esquerda (de 1 a 4). Observação: Imagem sem escala.



Fonte: Autoria própria

Parafuso	Comprimento (cm)
1	5,22
2	4,69
3	4,80
4	5,15

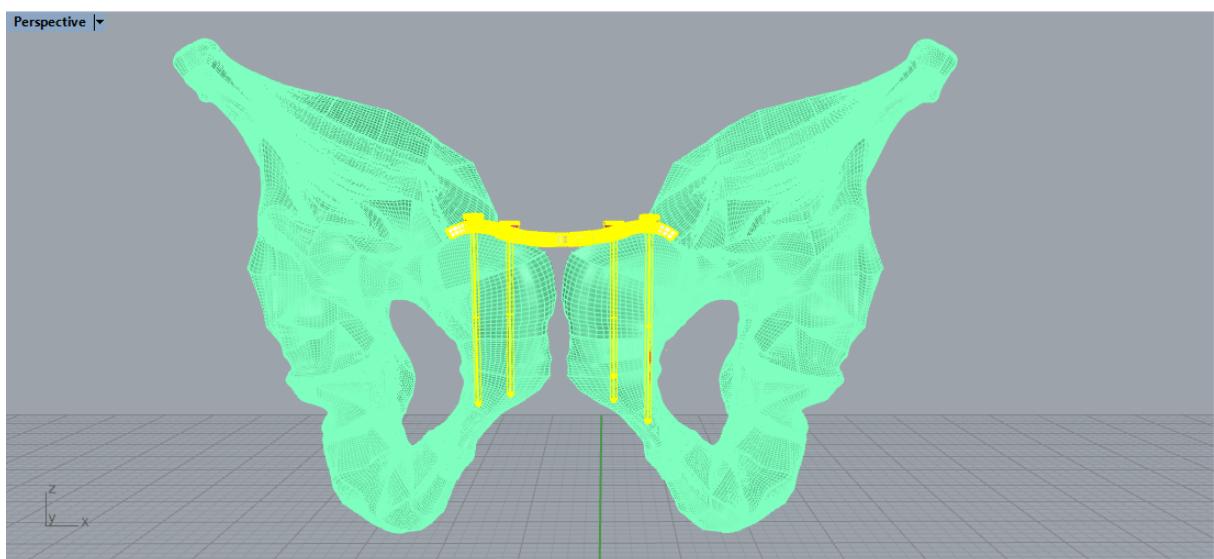
Quadro 1. Quatro parafusos fixados em paralelo, utilizados na fixação da placa (Montagem 1).
Na figura 17, a numeração dos parafusos da direita para esquerda (de 1 a 4)

Parafuso	Comprimento (cm)
1	4,80
2	4,69
3	4,66
4	4,99

Quadro 2. Quatro parafusos fixados cruzados, utilizados na fixação da placa (Montagem 2).
Na figura 18, a numeração dos parafusos da direita para esquerda (de 1 a 4).

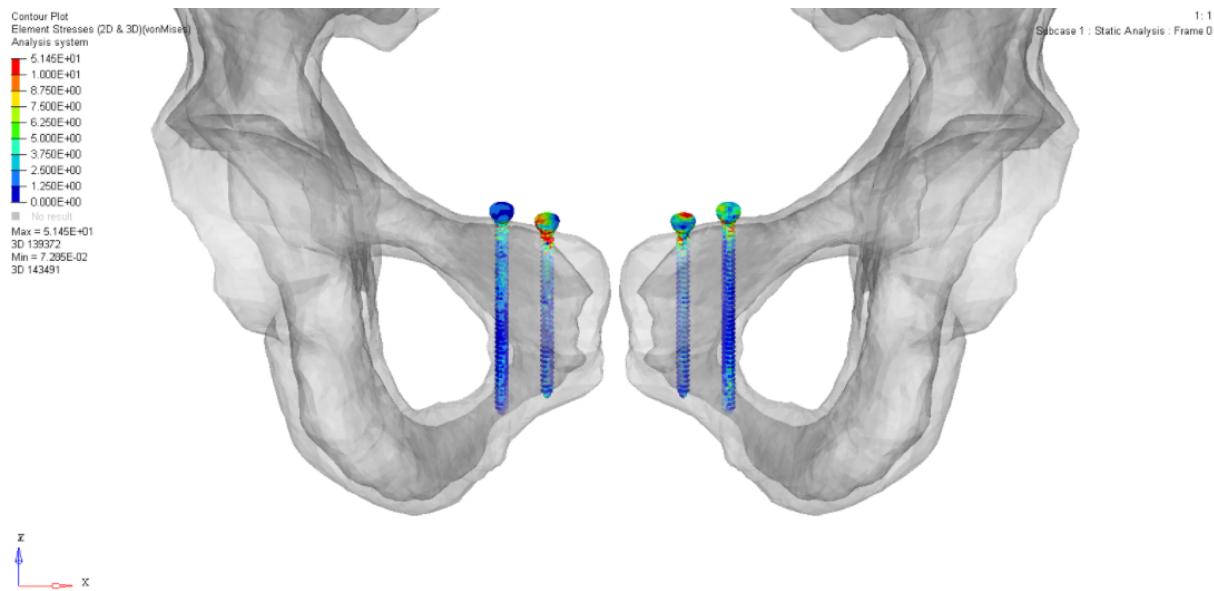
Para a montagem 1, foi realizada a fixação com quatro parafusos posicionados paralelamente com a presença da placa de reconstrução, e visualizados nas figuras 19 a 21.

Figura 19. Visão em modo perspectiva da fixação - placa e parafuso, pertencente à montagem 1.



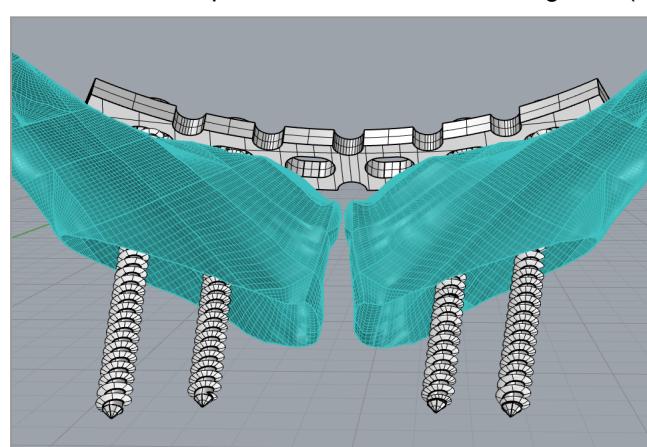
Fonte: Autoria própria

Figura 20. Visão da fixação dos parafusos pertencentes à montagem 1.



Fonte: Autoria própria

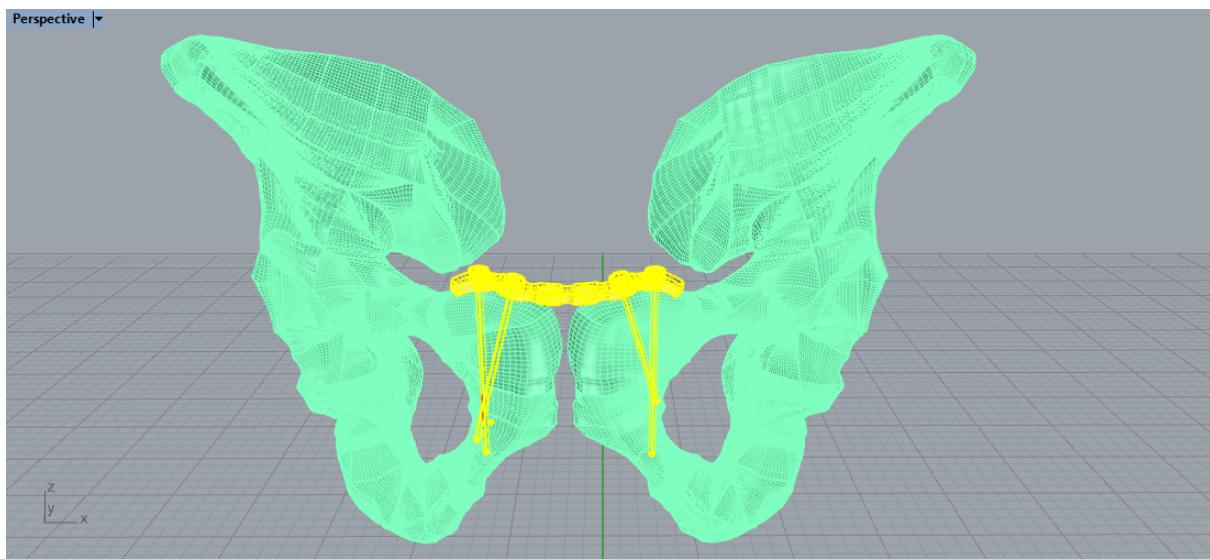
Figura 21. Vista traseira da pelve feminina com a montagem 1 (seccionada).



Fonte: Autoria própria

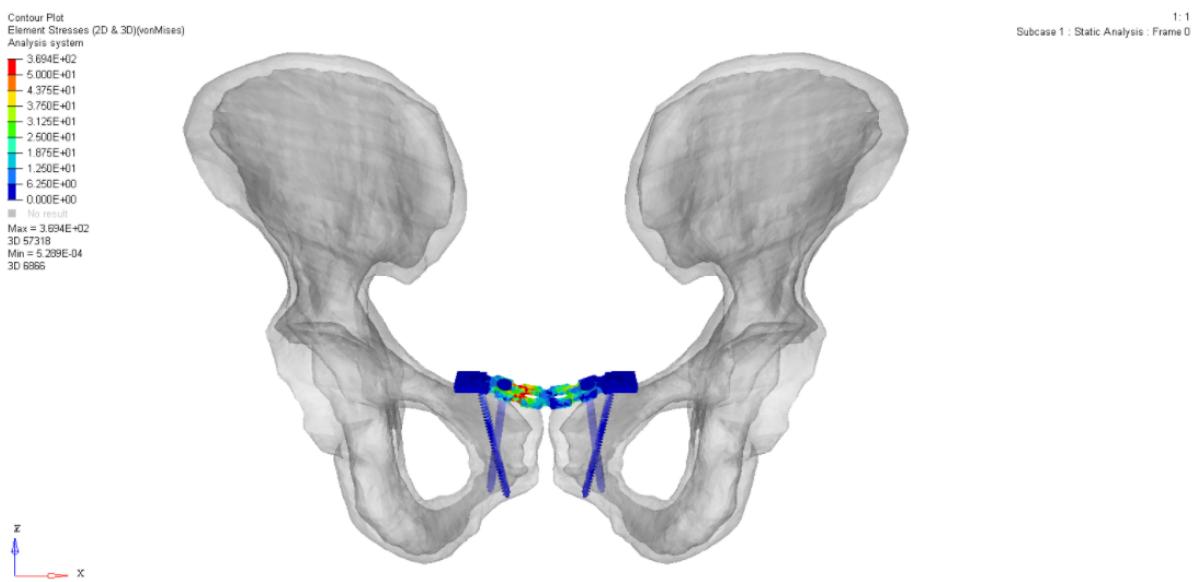
Devido ao fato que, a região interna da sínfise púbica trabalhada é estreita, não foi possível fazer o cruzamento completo entre os parafusos na montagem 2, de modo que para isso, foi feito o posicionamento de forma que os parafusos se aproximasse das extremidades, como visualizado nas figuras 22, 23 e 24.

Figura 22. Visão em modo perspectiva da fixação pertencente à montagem 2.



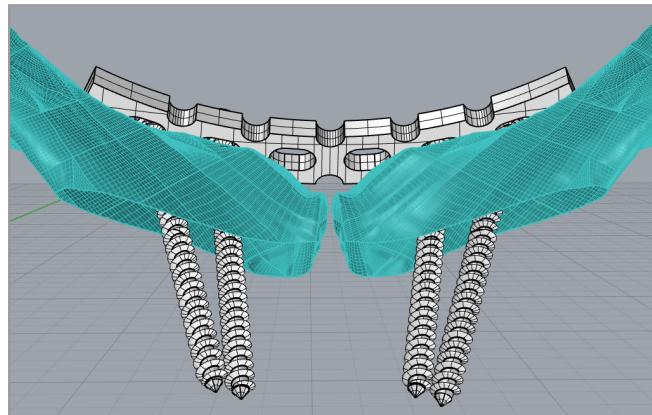
Fonte: Autoria própria

Figura 23. Visão da fixação dos parafusos e placa pertencentes à montagem 2.



Fonte: Autoria própria

Figura 24. Vista traseira da pelve feminina com a montagem 2 (seccionada).



Fonte: Autoria própria

5.5 Simulação e validação dos modelos propostos

O arquivo STEP foi incorporado pelo programa de simulação por elementos finitos SimLAb™. Para a formação das malhas de ambos os modelos foi adotado o formato tetraédrico (tet10).

Em relação à formação das malhas, a quantidade de elementos e nós, considerando o osso, a placa e os parafusos, como apresentado no quadro 3.

	Pelve Osteoporótica			
	Montagem 1		Montagem 2	
	Elementos	Nós	Elementos	Nós
Osso	197366	363350	195623	359114
Placa	2307	4824	2103	4455
Parafuso	7980	16047	1786	4335

Quadro 3. Número de elementos e nós das montagens 1 e 2 considerando a pelve com Osteoporose.

5.5.1 Caracterização dos Materiais

Para a realização do processo de simulação computacional, foi necessário conhecer e definir as propriedades dos materiais, sendo eles: osso cortical, osso

trabecular e liga de titânio. De modo que as propriedades dos materiais, utilizados na simulação, e apresentados no quadro 4, são: Módulo de Elasticidade (Young) e Coeficiente de Poisson.

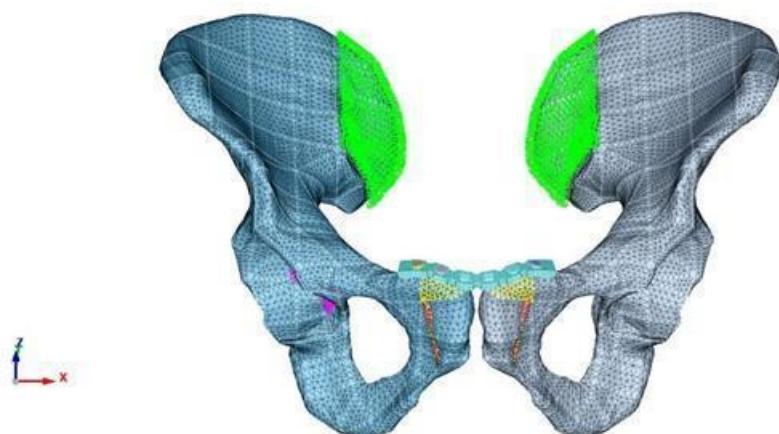
Pelve Osteoporótica		
	Módulo de Young (MPa)	Coeficiente de Poisson
Osso Cortical	13700	0,30
Osso Trabecular	1370	0,30
Liga de Titânio	115000	0,33

Quadro 4. Módulos de elasticidade (Young) e coeficientes de Poisson dos materiais das montagens 1 e 2 utilizando a Pelve com osteoporose

5.5.2 Condições de Contorno

As condições de contorno das duas montagens foram realizadas com fixações na região superior do quadril (região de restrição de movimento), com aplicação de força de 200 N na direção do eixo X e 300 N na direção do eixo Z. Essas condições foram utilizadas para evitar possíveis deslocamentos e/ou rotações, mantendo-se o alinhamento. A figura 25 apresenta os locais onde foram fixadas para a pélve com osteoporose.

Figura 25. Vista traseira da pélve feminina com osteoporose com os locais das fixações.



Fonte: Autoria própria

A partir dos tipos de posicionamento preparados no SimLab® foram

importados para o HyperView® que permitiu a visualização dos resultados. Com isso, foram observadas: Tensão Mínima Principal, Tensão Máxima Principal, Tensão de Von Mises (Tensões observados em estruturas metálicas) e deslocamento.

5.5.3 Cálculo de média das Tensões Máximas, Mínimas e de Von Mises

Utilizando o modelo estrutural das montagens tridimensionais, para que houvesse a quantificação das médias das tensões, foram selecionados quatro elementos nas regiões de maiores concentrações de tensões. Após a seleção dos elementos, o programa SimLab® (Altair/HyperWorks), realiza o cálculo das médias das tensões, apresentadas nos quadros 5, 6 e 7 respectivamente, que são visualizadas a partir do *software* HyperView®.

6. RESULTADOS

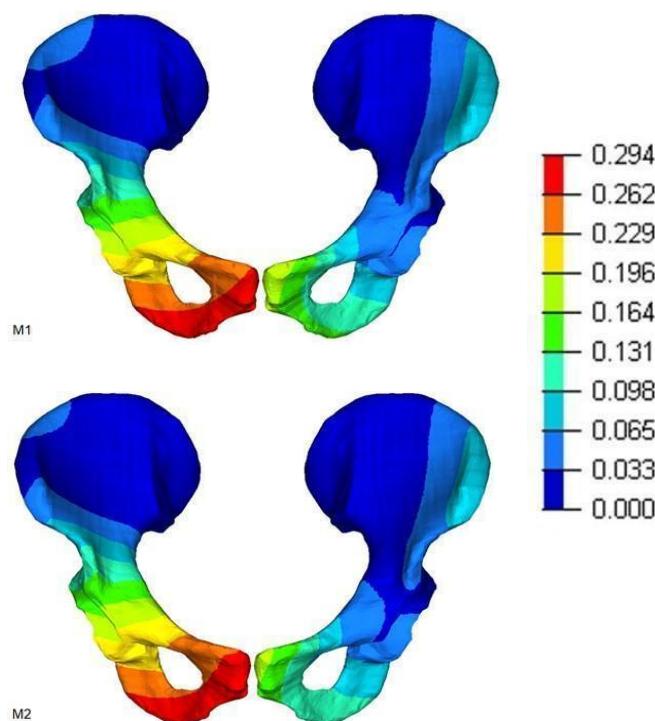
Para os resultados, os parâmetros analisados foram: deslocamento, Tensão Máxima Principal, Tensão Mínima Principal e Tensão de Von Mises (Tensões observados em estruturas metálicas).

6.1 Deslocamento

A cor vermelha nas figuras representa os locais de maiores deslocamentos e em azul as de menores deslocamentos.

A figura 26 apresenta a vista frontal da pelve osteoporótica, com a análise do deslocamento. De modo que a montagem 1 (M1) representa a pelve estabilizada com placa fixada com parafusos paralelos, enquanto a montagem 2 (M2) representa a pelve estabilizada com placa fixada com parafusos inclinados.

Figura 26. Vista frontal da pelve com osteoporose estabilizada com placa fixada por parafusos paralelos (M1) e inclinados (M2)



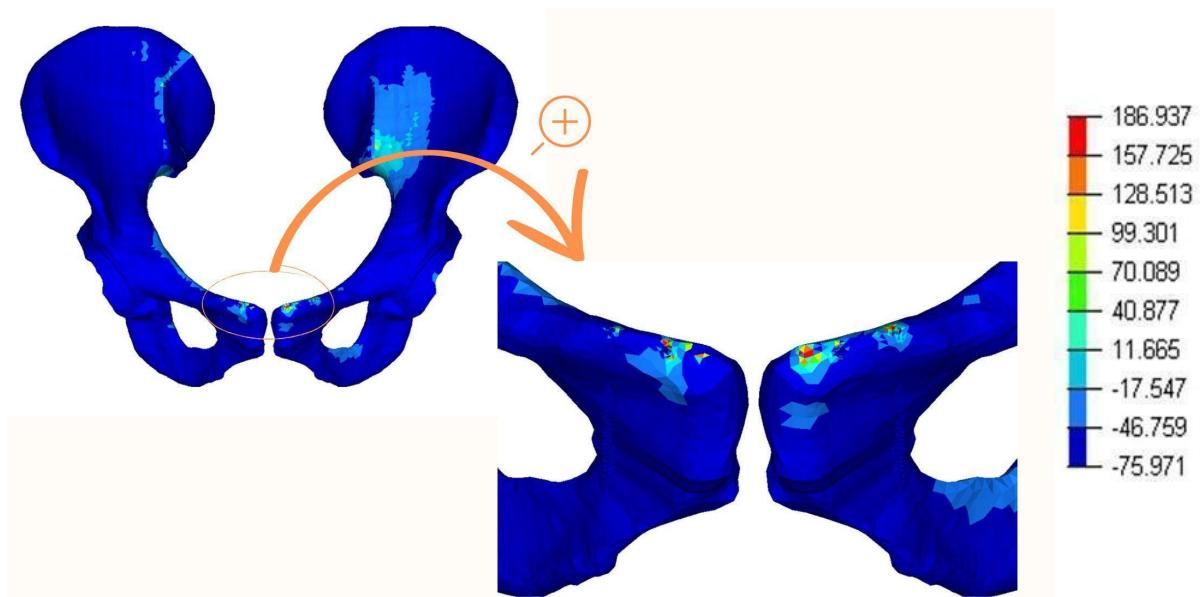
Fonte: Autoria própria

Observando as imagens, e comparando M1 e M2, nota-se que pelos padrões de cores idênticos, na região da pelve, em vermelho, os deslocamentos foram semelhantes, independente da fixação da placa, utilizando parafusos posicionados na forma paralela ou inclinados.

6.2 Tensão Máxima Principal

A figura 27 apresenta a vista frontal da pelve com osteoporose com montagem 1. As cores vermelhas - vistas de forma mais clara a partir da ampliação - representam os locais de maiores concentrações de tensão sob tração, que coincidem com os locais das fixações dos parafusos.

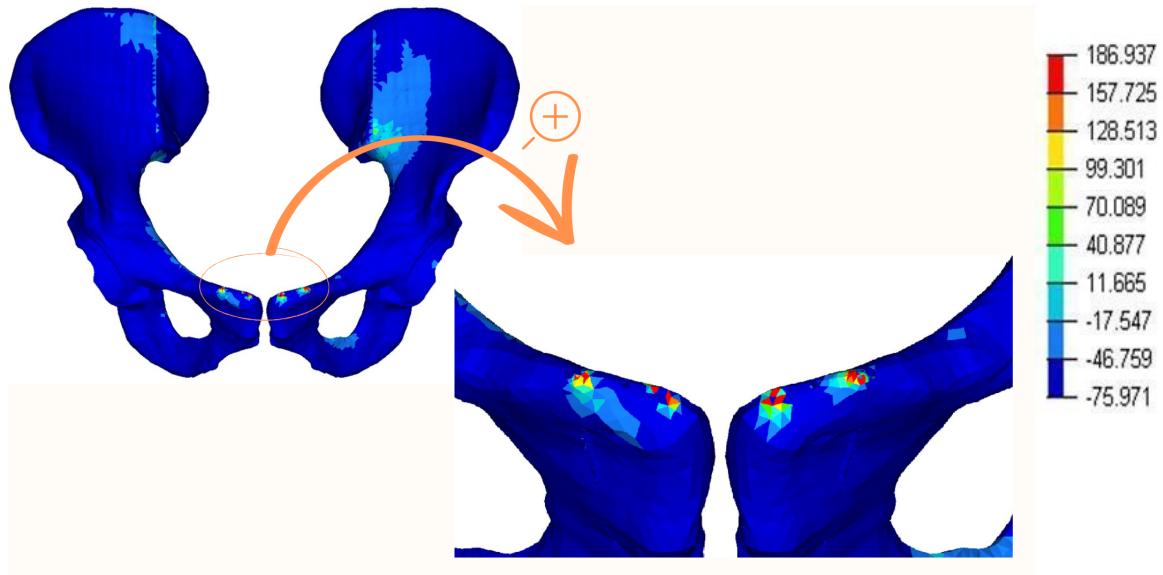
Figura 27. Vista frontal da pelve com osteoporose estabilizada com placa fixada por parafusos paralelos.



Fonte: Autoria própria

A figura 28 apresenta a vista frontal da pelve com osteoporose com montagem 2. As cores vermelhas representam os locais de maiores concentrações de tensão sob tração, que coincidem com os locais das fixações dos parafusos.

Figura 28. Vista frontal da pelve com osteoporose estabilizada com placa fixada por parafusos inclinados.



Fonte: Autoria própria

Desta forma, considerando a área de restrição de movimento, observada na figura 25, com um carregamento no sentido X e Z, tem-se as análises visuais, vistas nas figuras 27 e 28, que são confirmadas com os valores numéricos, apresentadas no quadro 5 - utilizando a medida de Mega Pascal (MPa). Os valores das médias das Tensões Máxima Principais foram observados nos locais onde os parafusos foram fixados em paralelo na montagem 1, maior no Parafuso 2 (11,92 MPa) e depois 3 (5,02 MPa), que são os dois intermediários. Na montagem 2, observa-se que os dois parafusos intermediários 2 (0,41 MPa) e 1 (1,18 MPa) tiveram tensões menores comparado com os demais., mostrando que as inclinações dos parafusos aliviaram as tensões observadas na pelve.

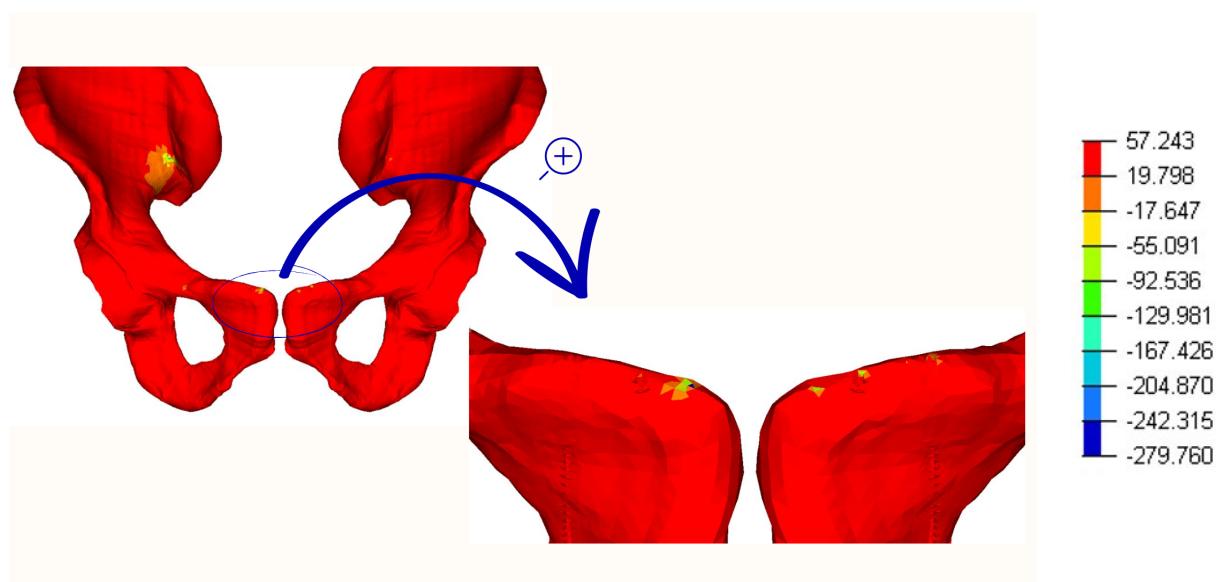
Tensão Máxima Principal (MPa): Osso					
	Parafuso 1	Parafuso 2	Parafuso 3	Parafuso 4	Média
Montagem 1	4,83	11,92	5,02	3,94	6,42
Montagem 2	1,18	0,41	1,61	2,94	1,53

Quadro 5. Quantificação da tensão máxima principal considerando análise óssea.

6.3 Tensão Mínima Principal

A figura 29 apresenta a vista frontal da pelve com osteoporose com montagem 1. Ao contrário da avaliação das Tensões Máximas Principais, para as análises das Tensões Mínimas Principais, as cores azuis representam os locais de maiores concentrações de tensão sob compressão, que novamente coincidem com os locais das fixações dos parafusos.

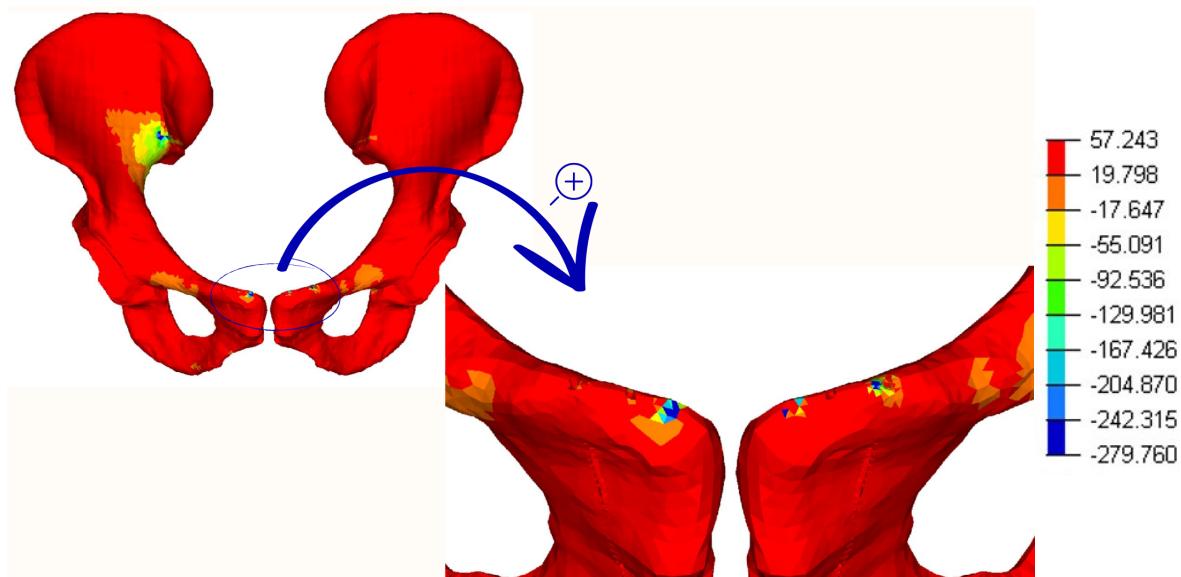
Figura 29. Vista frontal da pelve com osteoporose estabilizada com placa fixada por parafusos em paralelos.



Fonte: Autoria própria

A figura 30 apresenta a vista frontal da pelve com osteoporose com montagem 2. De modo que as cores azuis representam os locais de maiores concentrações de tensão sob compressão, que coincidem com os locais das fixações dos parafusos.

Figura 30. Vista frontal da pelve com osteoporose estabilizada com placa fixada por parafusos inclinados



Fonte: Autoria própria

Comparando as tensões mínimas principais da montagem 1 representada na figura 26 e da montagem 2 representadas na figura 27, observa-se que a média da maior Tensão Mínima Principal foi observada no parafuso 3 (-8,35 MPa) na montagem 1. Ao contrário, observando a Tensão Mínima Principal do Parafuso 3 da montagem 2, foi a menor (-0,08 MPa).

Levando em consideração, as informações numéricas obtidas, considera-se o quadro 6.

Tensão Mínima Principal (MPa): Osso					
	Parafuso 1	Parafuso 2	Parafuso 3	Parafuso 4	Média
Montagem 1	- 0,26	- 3,91	- 8,35	- 6,78	- 4,82
Montagem 2	- 0,22	- 1,07	- 0,08	- 3,96	- 1,33

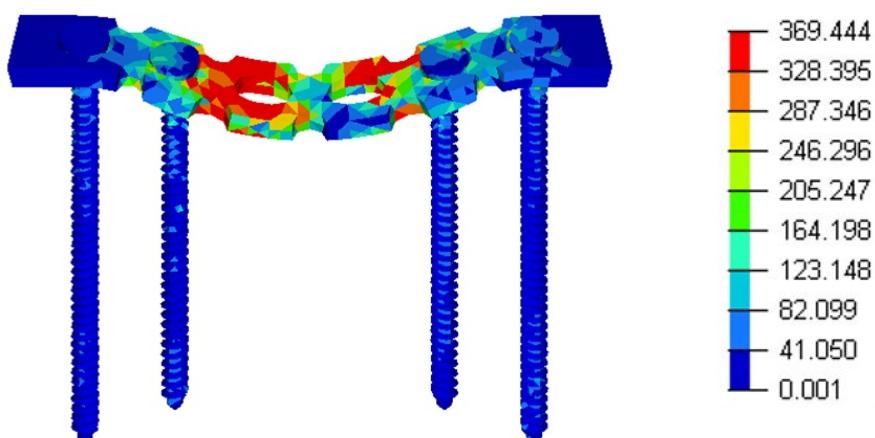
Quadro 6. Quantificação da tensão mínima principal considerando análise óssea.

6.4 Tensão Equivalente de Von Mises

A figura 31 a. apresenta a placa e os quatro parafusos posicionados em

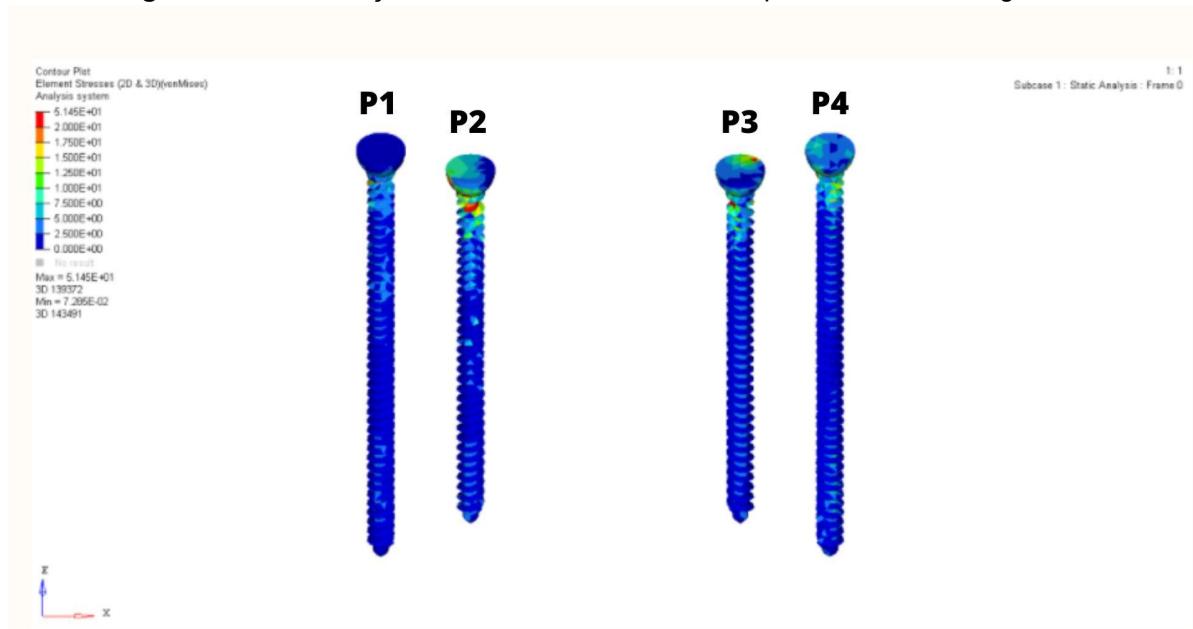
paralelo - que também podem ser visualizados separadamente na figura 31 b., que se refere a montagem 1, e a figura 32 a. , a montagem 2, com a placa e quatro parafusos posicionados de maneira inclinada, que podem ser vistos individualmente na figura 32 b. As cores vermelhas representam os locais de maiores concentrações de tensão, de modo que estas montagens foram utilizadas para estabilizar a fratura da pelve osteoporótica.

Figura 31 a. Montagem 1 utilizada na fixação de fraturas da pelve com osteoporose.



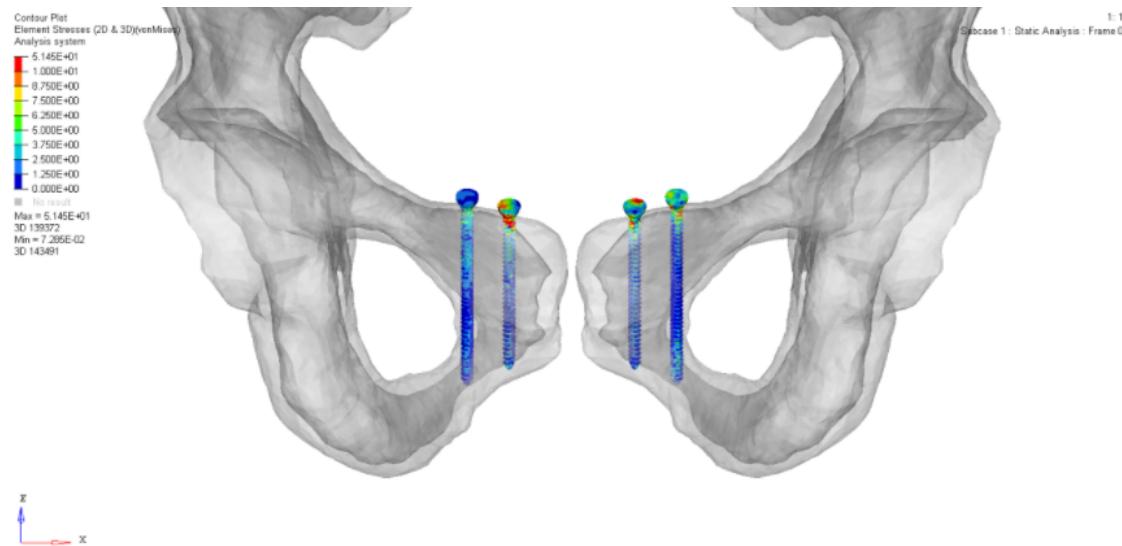
Fonte: Autoria própria

Figura 31 b. Distribuição da tensão de Von Mises nos parafusos da montagem 1.



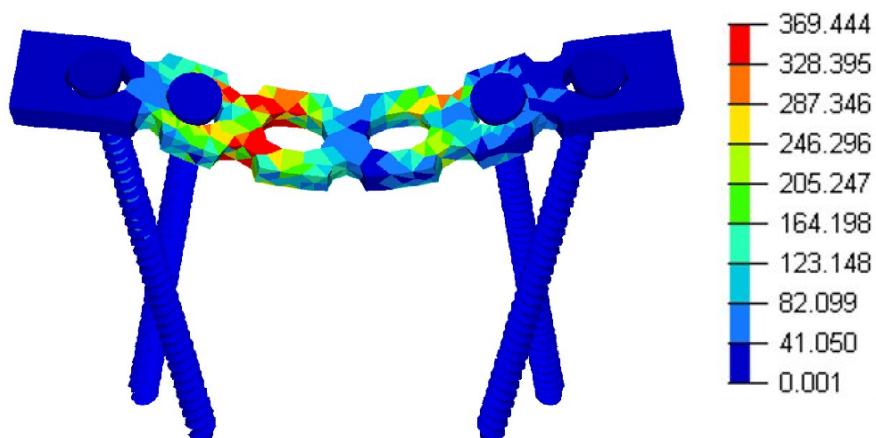
Fonte: Autoria própria

Figura 31 c. Arranjo de parafusos da montagem 1, na pelve feminina com osteoporose.



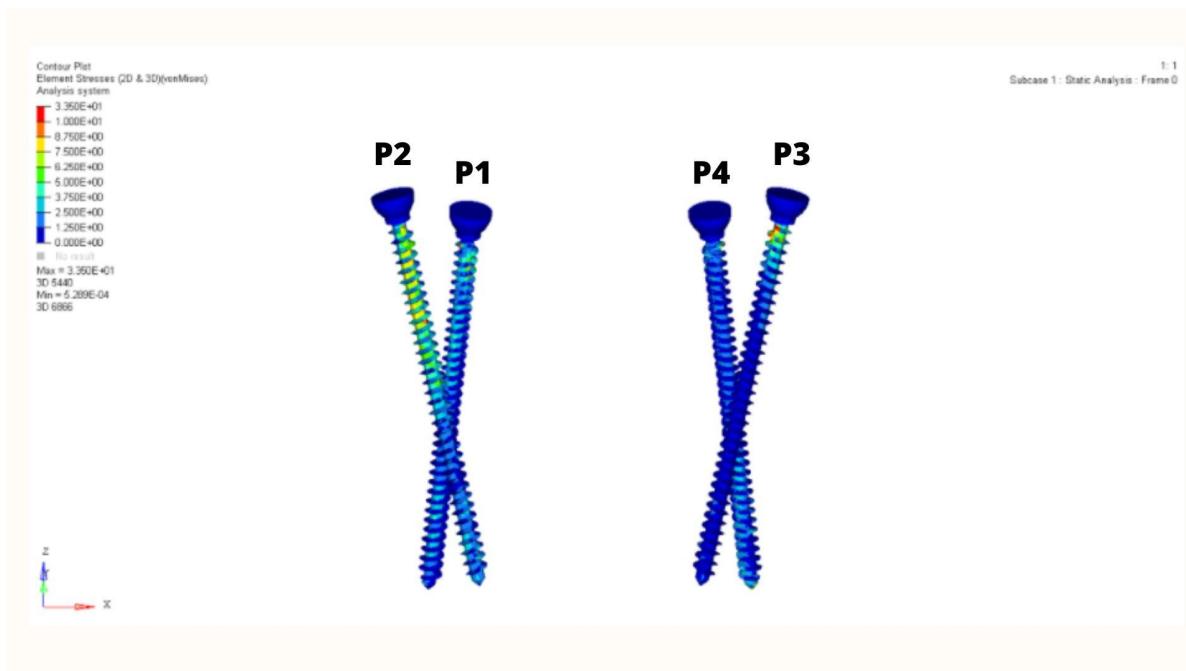
Fonte: Autoria própria

Figura 32 a. Montagem 2 utilizada na fixação de fraturas da pelve com osteoporose.



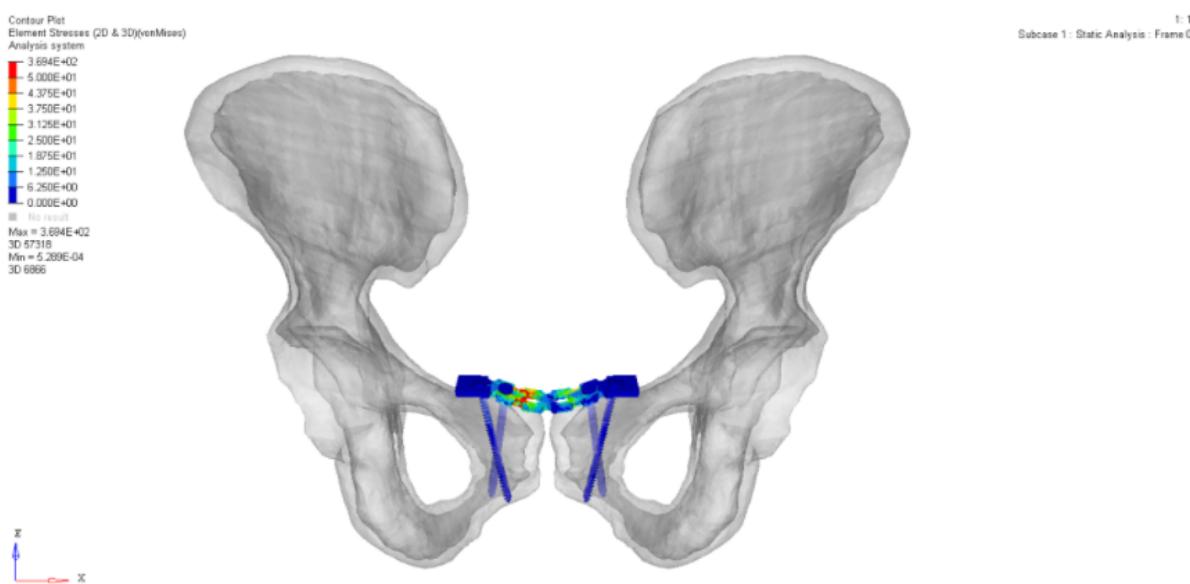
Fonte: Autoria própria

Figura 32 b. Distribuição da tensão de Von Mises nos parafusos da montagem 2.



Fonte: Autoria própria

Figura 32 c. Fixação da montagem 2, na pelve feminina com osteoporose.



Fonte: Autoria própria

Nas placas utilizadas para as fixações das fraturas da pelve com osteoporose, foram necessários fazer dobras para que houvesse um melhor acoplamento e acomodação da placa na fixação da fratura.

Observando a montagem 2 na figura 32 a. constata-se que houve menores concentrações de tensões, nesse caso, onde os parafusos foram posicionados de forma inclinada, se comparada aos parafusos da montagem 1.

Numericamente, com análise de Von Mises voltadas para as estruturas metálicas - placa e parafuso, tem-se considerando a unidade de medida de Mega Pascal (MPa), as medidas do quadro 7.

Von Mises (MPa)					
Montagem 1					
Parafuso	P1	P2	P3	P4	Média
	2,34	31,24	18,44	6,72	14,68
Placa	2,18	35,21	7,72	5,03	12,53
Montagem 2					
Parafuso	P1	P2	P3	P4	Média
	0,24	5,70	8,32	2,03	4,07
Placa	5,36	30,78	8,96	3,19	12,07

Quadro 7. Quantificação tensão de Von Mises considerando parafusos e placa - montagem 1 e 2.

7. DISCUSSÃO

Considerando a execução do projeto, houve a necessidade de aprendizado e compreensão de cada um dos processos e ferramentas que o projeto demandou em sua execução, sendo dedicado tempo para aprendizado durante o processo de pesquisa de iniciação científica, aulas da disciplina RIB0113 - Projeto em Informática Biomédica III e RIB0114 - Trabalho de Conclusão de Curso.

A etapa que mais demandou tempo, foi o processo de modelagem da estrutura pélvica tridimensional, através do software Rhinoceros®. Uma vez que o programa é complexo, exige o desenvolvimento de um olhar cuidadoso e com foco na tridimensionalidade. No caso deste estudo, foi trabalhado com a estrutura óssea com osteoporose, que apresenta grandes irregularidades e superfície não homogênea. O trabalho contribuiu com os resultados das simulações realizadas, que permitem avaliar o melhor tipo de fixação para as fraturas originadas na disjunção da sínfise púbica da pelve feminina com osteoporose, observando os locais com maiores concentrações de tensões, que consequentemente serão mais sensíveis e suscetíveis a fraturas.

Para as análises dentro das simulações computacionais, foram fatores determinantes: deslocamento, tensão máxima principal, tensão mínima principal e tensão de Von Mises.

As Tensões Mínimas Principais, correspondem aos efeitos do carregamento na estrutura sob compressão, quando a estrutura tem a sensação de estar sendo "comprimida", enquanto as Tensões Máximas Principais representam os efeitos do carregamento na estrutura analisada sob tração, quando a estrutura é "tracionada". Já as Tensões de Von Mises são tensões observadas em estruturas metálicas. E as análises destas tensões, permitem analisar os locais de maiores e menores concentrações de tensões, inclusive realizar uma análise detalhada do comportamento mecânico da estrutura.

Diante disso, e considerando o local de restrição de movimento, na região superior do quadril, onde o paciente terá maior apoio, tem-se as análises. De maneira quantificada, notou-se que o deslocamento, independente das fixações, ocorreu de maneira parecida. Por sua vez, na análise da tensão máxima principal, foi observado diferença entre os tipos de fixações analisadas, de forma que, a montagem 1 (com a fixação da placa e quatro parafusos paralelos), apresentou

média das tensões máximas nos locais dos 4 parafusos de 6,42 MPa. O parafuso 2, foi o que provocou a maior média da tensão máxima principal (segundo parafuso do lado direito da pelve). Enquanto a montagem 2 (com a fixação da placa e quatro parafusos cruzados), apresentou média das tensões nos locais dos 4 parafusos de 1,53 MPa. O parafuso 3 é o que provocou maior concentração de tensão na pelve (primeiro parafuso do lado esquerdo da pelve).

Considerando a análise de tensão mínima principal, tem-se que, na montagem 1, a média estabelecida foi de - 4,82 MPa, com destaque no parafuso 1, primeiro da direita, que apresentou - 0,26 MPa. E na montagem 2, a média das tensões mínimas foi de - 1,33 MPa, com destaque ao parafuso 3 (primeiro parafuso da esquerda da pelve). Desta forma, a montagem 1, com a combinação da placa de reconstrução e quatro parafusos fixados em paralelo, apresentou maiores tensões mínimas principal (pelve sujeito a compressão).

Observando a última vertente de análise, a tensão de Von Mises, que é concentrada no entendimento envolvendo a placa e o parafuso, tem-se que se comparada às médias simples obtidas no cálculo da placa de reconstrução, e no parafuso, foram encontradas maiores concentrações na montagem 1, quando comparada com a montagem 2. A diferença foi de 10,61 MPa maior para a montagem 1. Na montagem 1, observa-se que as maiores concentrações de Von Mises, são observados nos parafusos 2 e 3, respectivamente, visualizados na figura 31 b, e em valores no quadro . Na montagem 2, as maiores concentrações de tensões se repetem, respectivamente nos parafusos 2 e 3, porém com valores de tensões maiores. As diferenças foram de 25,54 MPa, para o parafuso 2 e 10,12 MPa, para o parafuso 3. Em relação a placa, a diferença foi de 0,62 MPa, situando a montagem 1 e 2, como houve uma moldagem na forma das placas para realizar melhor acomodação na pelve, as tensões observadas foram de acordo com o tipo de fixação dos parafusos em paralelo ou cruzados.

No trabalho de Iniciação Científica do graduando Bruno Nishida (PUB - Programa Unificado de Bolsas da USP), foram analisados utilizando como modelo pelve feminina com normal, utilizando as mesmas fixações das montagens 1 e 2, apresentados neste trabalho. A conclusão foi que para a fixação da pelve normal, as duas montagens se comportaram de forma semelhante. Diferentemente deste trabalho que foi utilizado como modelo pelve osteoporótico, onde foram observados maiores concentrações de tensões na pelve quando utilizado parafusos em

paralelos.

Por fim, é necessário ressaltar o grande potencial que encontra-se na aplicação dos métodos utilizados neste trabalho, desde a reconstrução tri-dimensional do quadril, utilizando imagens da Tomografia computadorizadas, definindo as melhores opções de tratamento ortopédico, no caso das fixações de fraturas utilizando placa e parafusos até as simulações utilizando o método dos elementos finitos. As possibilidades são muitas na área da saúde, com olhar especial a ortopedia, uma vez que é oferecido a disponibilidade de manuseio, entendimento e visualização da atuação dos carregamentos nas diferentes estruturas, possibilitando um estudo de caso voltado para a o melhoramento do tratamento, e a promoção da medicina personalizada.

8. CONCLUSÃO

Os resultados encontrados neste trabalho mostraram que a utilização dos quatro parafusos posicionados na forma cruzada, provocam menores concentrações de tensões na pelve do que se utilizam os parafusos de forma paralela. E os parafusos intermediários são os mais solicitados.

Para obter os resultados, foram necessários reconstruir o quadril feminino com osteoporose utilizando imagens da tomografia computadorizada, desenhar as placas, e parafusos utilizados nas duas montagens. Houve a necessidade também de realizar as reconstruções das duas montagens de forma estrutural das fixações das fraturas das disjunções da sínfise púbica em pelves femininas. Com as montagens prontas, foram realizadas as simulações utilizando o método dos elementos finitos, e com isso foi possível avaliar e sugerir a melhor montagem a ser utilizado para fixar fraturas na disjunção da sínfise púbica da pelve feminina com osteoporose.

9. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

As sugestões para futuros trabalhos, nesta mesma linha de pesquisa são:

- 1- Variar com diferentes valores e diferentes direções e sentidos do carregamento, como a simulação de queda e comparar com posição ortostática;
- 2- Variar as condições de contorno, restringindo o movimento em apenas um dos lado quadril;
- 3- Modelar e simular a placa de reconstrução em outro formato, com intuito de observar se há diferença;
- 4- Variar os tipos de materiais de parafusos.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALBACHEVSKY, Daniel et al. Tratamento das fraturas da pelve e acetáculo pela via de Stoppa modificada. *Acta Ortopédica Brasileira.*, São Paulo, v. 14, n. 4, p. 190-192, 2006. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-7852200600400002&lng=pt&nrm=iso>.
- BUSATO, Thiago S. Fraturas na pelve e acetáculo. Dr. Thiago Busato S - Cirurgia no Quadril, 2014. Disponível em: <<https://medicinadoquadril.com.br/site/fraturas-da-pelve-e-do-acetabulo/>>.
- CAMPAGNE, Danielle. Fraturas Pélvicas. Manual MSD. Agosto de 2017. Disponível em:<<https://www.msdmanuals.com/pt/profissional/les%C3%B5es-intoxica%C3%A7%C3%A3o/fraturas/fraturas-p%C3%A9lvicas>>.
- CORDTS FILHO, Roberto de Moraes et al. Fratura de pelve: um marcador de gravidade em trauma. *Revista Coluna Brasileira Cirúrgica*, Rio de Janeiro, v. 38, n. 5, p. 310-316, Oct. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69912011000500005&lng=en&nrm=iso>.
- CHUEIRE, Alceu Gomes et al. Fraturas do anel pélvico: estudo epidemiológico. *Acta Ortopédica Brasileira*. São Paulo, v. 12, n. 1, p. 05-11, março de 2004. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-78522004000100001&lng=en&nrm=iso>.
- FREIRE, F. C. et al. Osteoporose: um artigo de atualização. PUC Goiás. 2004. Disponível em: <http://www.pucgoias.edu.br/ucg/institutos/nepss/monografia/monografia_12.pdf>.
- GALI, Julio Cesar. Osteoporose. *Acta Ortopédica Brasileira*. São Paulo, v. 9, n. 2, p. 53-62, junho de 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-78522001000200007&lng=en&nrm=iso>.
- HATEM, Munif. Fraturas da Pelve e Bacia. Dr. Munif Hatem, 2016. Disponível em: <<https://www.quadrilcirurgia.com.br/fraturas-da-bacia-e-acetaacutebulo.html>>.
- LOTTI, Raquel S. et al. Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos. *Ortodontia Ortopedia Facial*, Maringá, v. 11, n. 2, p. 35-43, Apr. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-54192006000200006&lng=en&nrm=iso>.
- LOURENÇO, Rafael. Pelve. Kenhud. Disponível em: <<https://www.kenhub.com/pt/library/anatomia/pelve>>.
- MARQUES NETO, João Francisco. Osteoporose: Epidemiologia. *Acta Fisiática*. 1997; Disponível em:<<https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/publisher.gn1.com.br/actafisiatica.org.br/pdf/v4n2s1a02.pdf>>.

MIRLISENNA, Giuseppe. Método dos Elementos Finitos: o que é? Blog ESSS. Disponível em: <<https://www.esss.co/blog/metodo-dos-elementos-finitos-o-que-e/>>.

RADOMINSKI, SC et al. Osteoporose em mulheres na pós-menopausa. Revista Brasileira Reumatologia, São Paulo, v. 44, n. 6, p. 426-434, Dec. 2004. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0482-50042004000600006&lng=en&nrm=iso>.

SILVA, B. R et al. Aplicação do Método de Elementos Finitos em Odontologia: análise da publicações científicas de 1999 a 2008. International Journal of Dentistry, 2009. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/dentistry/article/view/14036>>.

VERONEZ, D. A. DA L.; VIEIRA, M. P. M. M. Anatomia da Pelve. Journal of Chemical Information and Modeling, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2013.

WRIGHT JR, RAYMOND D. Indications for open reduction internal fixation of anterior pelvic ring disruptions. Journal of orthopaedic trauma 32 (2018): S18-S23.

YU, H. E., et al. Biomechanical characteristics of four fixation methods in treatment of pubic symphysis disruption: a finite element analysis. Chinese Journal of Orthopaedic Trauma 19.4 (2017): 317-322.