



ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DA FIXAÇÃO DE ENXERTO SUÍNO EM BLOCO DE POLIURETANO, SIMULANDO CIRURGIA DE LCA DO JOELHO, POR MEIO DE PARAFUSO DE INTERFERÊNCIA FABRICADO EM PLA ATRAVÉS DE IMPRESSÃO 3D.

Juliana Pereira de Oliveira¹, Rodrigo Nogueira de Codes², Diego Ariel de Lima³

Resumo: Entre as lesões ligamentares do joelho mais comuns, tem-se as lesões no ligamento cruzado anterior (LCA), sendo este ligamento fundamental para a locomoção humana. Neste contexto, geralmente se é indicado que o paciente lesionado passe por um procedimento cirúrgico de reconstrução do ligamento, utilizando a técnica de substituição por um enxerto fixado através de parafusos de interferência. Diante disso, essa estrutura se tornou alvo de numerosos estudos clínicos relacionados às causas e tratamentos destas lesões. O presente artigo apresenta resultados sobre o estudo mecânico em relação à potencial utilização do polímero Ácido Polilático, conhecido como PLA, na fabricação de parafusos de interferência, impressos em impressoras 3D, para cirurgias de reconstrução do ligamento cruzado anterior através de simulação. Nesta operação cirúrgica, habitualmente se utiliza parafusos de interferência feito de metal ou polímeros bioabsorvíveis, que por sua vez tem como principal objetivo fixar o enxerto que irá substituir o ligamento rompido, no conjunto ósseo, evitando seu escorregamento. Com isso, na realização deste estudo, utilizou-se blocos de poliuretano, que possuem densidade equivalente à densidade óssea humana, para a inserção do conjunto parafuso-enxerto, sendo estes submetidos a ensaios de tração axial. Os resultados encontrados mostram que o parafuso impresso a base de PLA conseguiu fornecer uma boa fixação, gerando resultados satisfatórios e promissores, tomando como base estudos realizados com o parafuso de interferência feito de titânio, que já é comercializado no mercado.

Palavras-chave: Ácido Polilático (PLA); Parafuso de interferência; Ligamento cruzado anterior (LCA); Impressora 3D; Bloco de poliuretano.

1. INTRODUÇÃO

A cirurgia de reconstrução do ligamento cruzado anterior vem sendo estudada e aprimorada com o passar dos tempos, sendo este o procedimento cirúrgico ortopédico mais realizado atualmente. Vários avanços se tiveram em relação às técnicas de reconstrução, inclusive no método de fixação do enxerto, que demonstraram a eficiência do método de fixação através de parafusos de interferência com resultados bastante satisfatórios [1].

O joelho é uma parte primordial ao corpo humano e o mais suscetível a ter problemas, sendo uma articulação complexa, estabilizada por ligamentos, músculos e pela capsula articular, onde o LCA se faz primordial dentre as articulações, sendo este essencial para a locomoção humana, por proporcionar a estabilidade rotacional do joelho [2]. Infelizmente, o rompimento deste ligamento acarreta diversas adversidades ao paciente, limitando a capacidade funcional de seu joelho, e é comumente ocasionado, representando cerca de 50% de todas as lesões em ligamentos, o que torna esse fato alvo de vários estudos, principalmente a cerca de suas causas e reparos, bem como desenvolvimento de técnicas cirúrgicas e protocolos de tratamento [3].

Na grande maioria dos casos em que se acontece o rompimento do LCA, é indicada sua reconstrução em operações cirúrgicas, onde o mesmo é substituído, geralmente por um tendão portador de características semelhantes ao ligamento rompido, que recebe o nome de enxerto. A fixação do enxerto na estrutura óssea é feita através de parafusos de interferência que tem como principal objetivo impedir o deslizamento do mesmo. Entretanto, tal prática possui um alto valor aquisitivo, tendo em vista os materiais utilizados, sobretudo o parafuso de interferência geralmente encontrado no mercado a base de metal ou polímeros bioabsorvíveis.

Diante disto, este trabalho traz uma análise da fixação de enxerto suíno em bloco de poliuretano através de parafuso de interferência feito a base do polímero bioabsorvível Ácido Polilático, conhecido como PLA, impresso em impressora 3D, simulando cirurgia de reconstrução do ligamento cruzado anterior e tomando materiais já presentes no mercado como amostra controle, a fim de trazer ao mercado mais acessibilidade em relação aos custos dessa cirurgia, considerando o baixo valor aquisitivo do material utilizado e método de fabricação proposto.

2. CIRURGIA DE RECONSTRUÇÃO DO LCA E ANATOMIA DO JOELHO

O joelho é uma parte primordial ao corpo humano, sendo uma articulação complexa formada pelo encontro de três ossos: fêmur, tíbia e patela. Essas estruturas são unidas através de ligamentos, cruzados e colaterais, que por sua vez são responsáveis pela estabilidade do joelho como um todo. Os ligamentos cruzados, anterior e posterior, são estruturas esbeltas, semelhantes a uma “corda”, dispostos em formato de “X” no interior da articulação do joelho, controlando seus movimentos. Especificamente, o ligamento cruzado anterior tem o papel de impedir que a tíbia desloque para a frente do fêmur, conferindo-o estabilidade rotacional para a estrutura [2,4].

O problema mais comum no joelho humano é o rompimento do LCA, sendo uma lesão extremamente frequente, representando 50% de todas as lesões em ligamentos, acarretando diversas adversidades ao paciente como a instabilidade, lesões secundárias nas articulações e limitação da capacidade funcional de seu joelho. Dentre as principais causas das lesões deste ligamento, pode-se citar mudanças abruptas de direção, interrompimento repentino de movimentos e colisão, fatores esses que são comuns na realidade de atletas, aumentando a probabilidade de o LCA ser lesionado neste tipo de pessoa. No entanto, vale salientar que, apesar de atletas estarem mais propícios a sofrerem essas lesões, nada impede o seu acontecimento ao realizar atividades diárias. [2,3].

Na maioria dos casos, há indicação do tratamento cirúrgico para a reconstrução destes ligamentos, pois uma vez rompido, o LCA não pode ser reparado, normalmente acontecendo sua substituição por um enxerto (Figura 1). Em geral esses enxertos são tendões retirados do próprio paciente, que tem características biomecânicas similares ao ligamento cruzado anterior substituído, sendo possível que o mesmo consiga cumprir o papel do ligamento rompido [5,6]. Para a fixação do enxerto na estrutura óssea, utiliza-se um parafuso de interferência, geralmente fabricado de metal ou materiais bioabsorvíveis, a fim de evitar deslizamentos.



Figura 1. Representação do procedimento de reconstrução do LCA. (FUKUDA, 2020).

2.1 Parafuso de interferência

Como foi dito, o parafuso de interferência é o nome que se dá ao parafuso utilizado em cirurgias de reconstrução do ligamento cruzado anterior, sendo o método padrão para a fixação do conjunto enxerto-osso pelo fato de possuir boa resistência e capacidade de integração óssea [7]. Tais instrumentos são fabricados em formato rosqueado de maneira tal que, ao ser introduzido entre o enxerto e o túnel ósseo, o enxerto seja comprimido em direção as paredes desse túnel, garantindo assim sua fixação e evitando o seu deslizamento.

No mercado atual, geralmente são comercializados parafusos de interferência fabricado a base de metal, sobretudo o titânio, ou de materiais bioabsorvíveis como alguns polímeros, principalmente o ácido-L-polilático (PLLA) ou ácido-poliglicólico (PGA). Porém, alguns pontos de atenção são levantados em relação aos mesmos como, em relação ao parafuso de metal: parafuso permanentemente mantido no túnel ósseo trazendo possíveis complicações em caso de revisão cirúrgica e exame de ressonância magnética, e em relação ao parafuso bioabsorvível: o alto valor aquisitivo, tendo em vista seu método de fabricação, o que impacta diretamente no custo final da cirurgia. Em consideração a isso, a escolha do material para a fabricação deste tipo de parafuso tem se tornado fonte de estudo científico devido, principalmente, à diferença no custo, resistência, complicações pós operatória e fixação a longo prazo [6,7,8].

3. ÁCIDO POLILÁCTICO

O Poli(Ácido-lático) é um polímero composto por moléculas de Ácido-Lático, retirado de fontes renováveis, principalmente do amido de milho e do bagaço da cana-de-açúcar. Tal composto possui uma vasta usabilidade sendo frequentemente encontrado no mercado em utensílios, embalagens e equipamentos biomecânicos. São vastos os atributos desse material, sobretudo a biocompatibilidade e a biodegradabilidade, ou seja, a garantia de que tal material terá compatibilidade com órgãos e tecidos humanos, evitando a sua rejeição, e sua capacidade de degradação biológica, respectivamente, o que justifica o interesse da indústria da saúde e científica sobre este elemento [9].

Tais atributos tornam promissor a utilização do PLA na fabricação de parafusos de interferência, pois garante ao paciente que este material será aceito por seus tecidos e órgãos, sem causar prejuízos a médio e longo prazo, acompanhado da certeza de que, com o tempo, esse “corpo estranho”, que será introduzido em seu organismo, se degradará, diminuindo a probabilidade de futuras complicações, como no caso em que se utiliza parafusos metálicos [10].

4. IMPRESSORA 3D

A impressora 3D tem se tornado frequente no mercado, em diversas linhas industriais, incluindo a indústria da saúde, onde se teve alguns feitos importantes como a impressão de células tronco embrionárias, impressão de cartilagens, ossos, próteses e vários outros dispositivos. A construção das peças é feita através do método de deposição de camada, onde um modelo virtual previamente elaborado guia a produção, depositando uma camada do material utilizado por vez. Tal equipamento se tornou objeto auxiliar em estudos e desenvolvimento, devido a vasta variedade de materiais que podem ser utilizados como matéria prima para a confecção dos mais diversos tipos de artefato, a depender da criatividade de quem opera a máquina, garantindo maior flexibilidade e possibilidades de adaptação [11].

A utilização do filamento de PLA como matéria para a impressora 3D é uma realidade, sendo uma das principais matérias usadas na indústria da saúde, tendo em vista algumas vantagens como o baixo valor aquisitivo deste material, quando comparado com materiais já existentes no mercado, o baixo impacto ambiental devido a biodegradabilidade e maleabilidade do material quando aquecido, facilitando sua moldagem [11,12].

Dados apontam que, com esse tipo de fabricação, o custo de produção sofre uma redução de cerca de 70%, quando comparado ao custo proveniente da usinagem de materiais. Logo, o método de fabricação por impressora 3D vem se popularizando pela facilidade de sua obtenção [13].

Fazendo uma estimativa de custo para a impressão do parafuso de interferência, levando em consideração apenas o material utilizado, tem-se que o quilo de filamento do PLA, encontrado no mercado, custa em média R\$ 109,90 (cento e nove reais e noventa centavos), desse total, para a produção do parafuso, é necessário 0,002 kg de material de acordo com o software Ulltimaker. Fazendo uma simples relação entre esses valores, pode-se chegar a um custo de R\$ 0,22 (vinte e dois centavos) por impressão de parafuso, o que é um valor significativamente baixo [14].

5. MÉTODO DE ENSAIO

Diante de tudo o que foi exposto até agora, a fabricação de parafusos de interferência em impressoras 3D se torna uma realidade próxima. Ainda assim, faz-se necessário realizar ensaios acerca de suas propriedades mecânicas a fim de evidenciar sua competência. Para isto, serão abordados nos próximos tópicos os materiais e métodos utilizados na realização do ensaio de tração axial no conjunto parafuso-enxerto fixado no bloco de poliuretano que, por sua vez, possui densidade igual a densidade óssea humana.

5.1. Fabricação do parafuso de interferência

Para a fabricação do parafuso de interferência, utilizou-se a impressora 3DMax A1v2 e o software Autodesk Fusion 360 para a elaboração do modelo virtual 3D, auxiliado pelo Ultimaker Cura, software responsável pelo fatiamento e análise dos parâmetros de impressão do modelo, onde é possível, previamente, obter uma amostra de como ficará a peça impressa e mapear todo o seu processo de desenvolvimento.

O parafuso impresso (Figura 2) e objeto de estudo, possui 30 mm de comprimento, 9 mm de diâmetro e 2 mm de passo de rosca e os parâmetros usados para a sua impressão foram:

- Temperatura da mesa: 60 °C;
- Temperatura do bico: 200 °C;
- Velocidade de impressão: 50 mm/s;
- Altura da camada: 0,16 mm;
- Preenchimento da peça: 100%;
- Orientação das fibras: Concêntrico.



Figura 2. Parafuso impresso a partir do filamento de PLA (autoria própria).

5.2. Preparo da amostra ensaiada

Para o preparo das amostras ensaiadas, foi efetuada uma “simulação” do que aconteceria em uma cirurgia real, onde um orifício foi aberto no bloco de poliuretano, representando o “túnel ósseo”, para que posteriormente fosse possível promover a inserção do enxerto, fixando-o com o parafuso de interferência, como aconteceria na prática. De tal forma, esse procedimento foi realizado em dois conjuntos de bloco, onde em um deles o enxerto foi fixado em ambas as suas extremidades com parafusos de PLA, impresso na impressora 3D (Figura 3a) e no outro, o enxerto foi fixado com parafusos de titânio nas suas duas extremidades (Figura 3b). Destaca-se que em ambas as amostras ensaiadas, os parafusos de PLA e titânio possuíam dimensões iguais para um melhor comparativo.

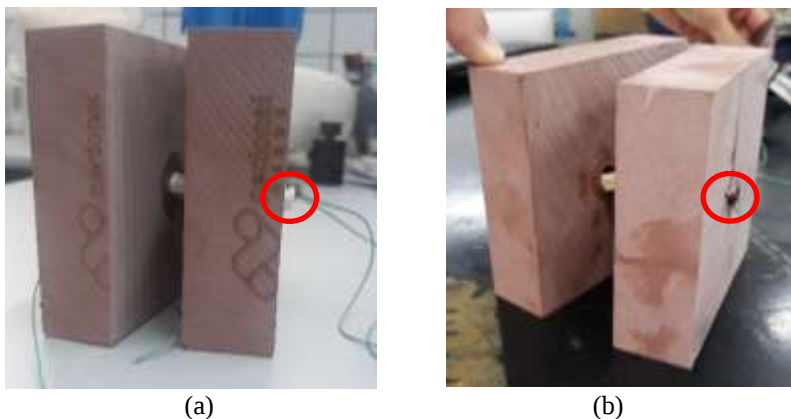


Figura 3. (a) Conjunto enxerto-parafuso de PLA fixado no bloco de poliuretano. (b) Conjunto enxerto-parafuso de titânio fixado no bloco de poliuretano. (Autoria própria).

Ainda em relação à preparação das amostras, os blocos de poliuretano foram encontrados no mercado com dimensões avantajadas e para o modo de fixação do parafuso ser o mais fiel possível ao que acontece na prática, visando uma melhor fixação do enxerto no bloco, fez-se necessário a serragem dos blocos de poliuretano, ao meio, diminuindo sua espessura.

5.3. Realização do ensaio

O ensaio foi realizado através da máquina eletromecânica de ensaios universais, EMIC DL 10000, especificamente, utilizando o seu modo de tração axial a fim de averiguar a eficiência de fixação do enxerto através dos parafusos de interferência, acompanhada de um computador para registrar os dados obtidos. Para auxiliar em uma maior estabilidade das amostras preparadas na máquina, além de se utilizar a garra auto travante da própria máquina, Lavor (2021) desenvolveu uma morsa que proporciona a imobilização do material estudado [15] de forma eficiente para auxiliar nesse processo.

Ao todo, foram realizados dois ensaios onde, inicialmente, para o primeiro ensaio, foi utilizado a amostra que continha o enxerto fixado em ambas as suas extremidades com os parafusos de interferência feitos de titânio (Figura 4), com o comprimento útil do enxerto medindo 40,05 mm. Para se obter o valor da velocidade de ensaio, faz-se uma correlação do comprimento útil da amostra pela derivada da deformação em relação ao tempo, que previamente foi estipulada como sendo $10^{-3}/s$, o que levou a uma velocidade de ensaio de 0,04 mm/s. O aparato montado na máquina de ensaios é mostrado na Figura 4ª.

Ao iniciar o ensaio 1, chegou-se à conclusão de que a velocidade adotada foi muito baixa, preferindo-se então pausar o ensaio, sem variar a carga que estava sendo aplicada, a fim de aumentar velocidade que foi multiplicada

por 10, adotando-se 0,4 mm/s (Figura 4.b). Feito isto, o conjunto continuou em tração até que o enxerto se rompeu (Figura 4.c).

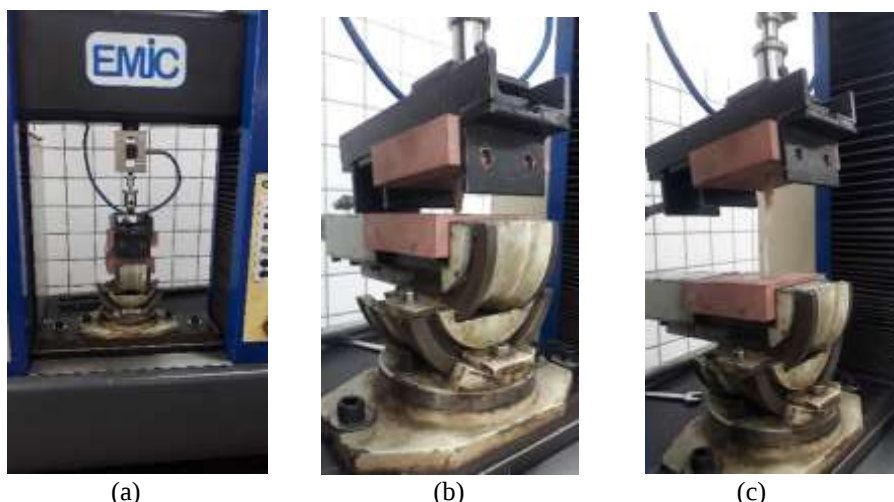


Figura 4. Ensaio utilizando amostra com o enxerto fixado em ambas as suas extremidades através do parafuso de titânio. (4.a) Posicionamento do conjunto na máquina de ensaios. (4.b) ensaio em andamento. (4.c) Finalização do ensaio com o enxerto sendo rompido (Autoria própria).

Para o segundo ensaio, utilizou-se a amostra onde o enxerto foi fixado em ambas as suas extremidades através do parafuso de PLA, impresso na impressora 3D (Figura 5) com o comprimento útil do enxerto medindo 27,01 mm, o que levou a uma velocidade de ensaio adotada de 0,27 mm/s. Novamente, todo o aparato foi montado para dar-se início ao ensaio (Figura 5.a), onde a amostra foi mantida sob tração, com velocidade constante durante todo o processo (Figura 5.b), porém, diferente do primeiro ensaio, neste caso, não aconteceu o rompimento do enxerto. O enxerto se deformou de tal forma que sua secção transversal diminuiu consideravelmente, mas não chegou à ruptura. (Figura 5.c).

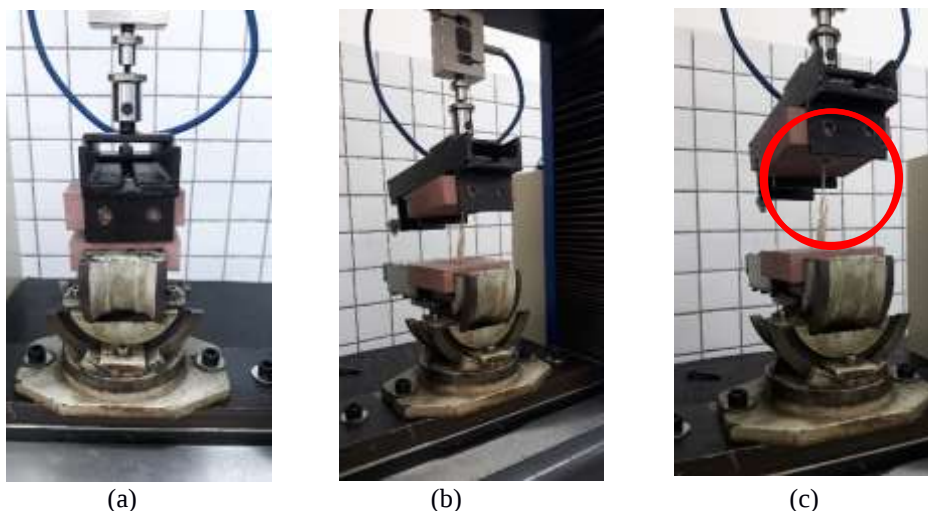


Figura 5. Ensaio utilizando amostra com o enxerto fixado em ambas as suas extremidades através do parafuso de PLA impresso na impressora 3D. (5.a) Posicionamento do conjunto. (5.b) Ensaio em andamento. (5.c) Finalização do ensaio com o enxerto deformado, mas não rompido (Autoria própria).

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados obtidos a partir dos ensaios são o tempo (s), a deformação (mm) e a Força (N) a qual a amostra foi submetida. Com esses dados, foram confeccionados gráficos da Força (N) em relação à deformação (mm) sofrida pela amostra fixada com o parafuso de titânio (Figura 6), e pela amostra quando fixada com o parafuso de PLA (Figura 7), para uma melhor análise.

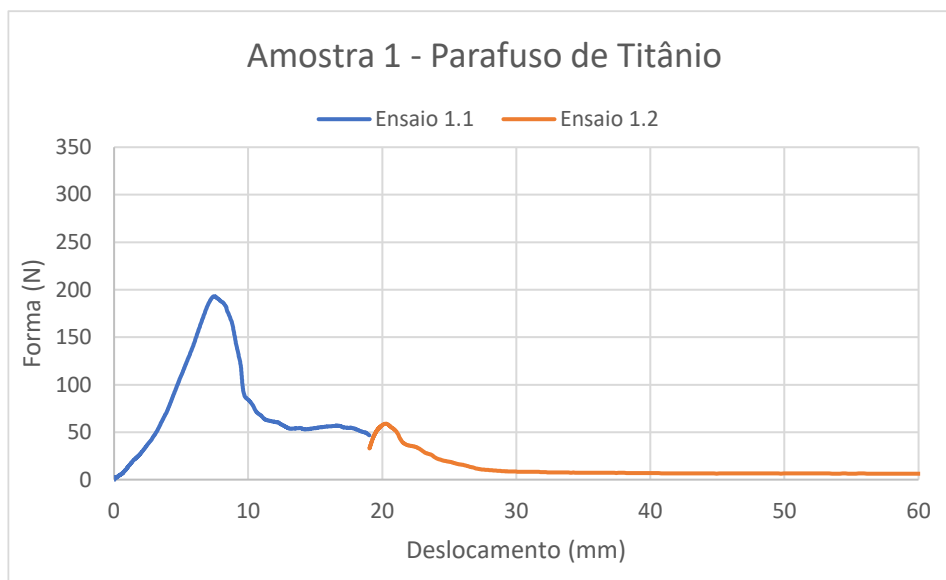


Figura 6. Gráfico dos resultados obtidos através do primeiro ensaio, antes e depois da pausa (Autoria própria).

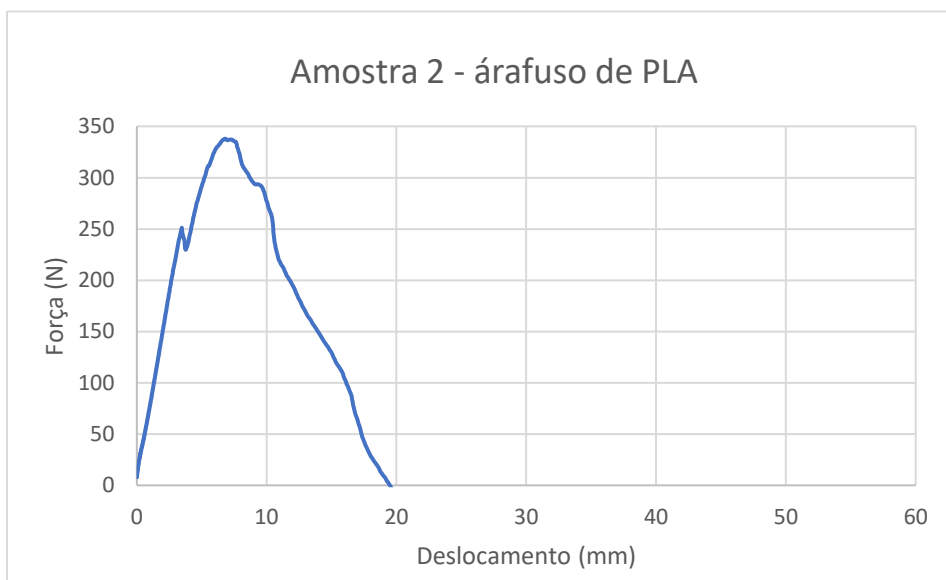


Figura 7. Gráfico dos resultados obtidos através do segundo ensaio (Autoria própria)

Diante destes resultados, analisando o gráfico, para a primeira amostra, onde o enxerto foi fixado em suas extremidades com parafusos de interferência feitos de titânio, obteve-se um pico de força de 193 N para a deformação máxima do enxerto, apesar de se esperar um pico de força maior, tendo em vista resultados obtidos em ensaios anteriores. Todavia, como era previsto para a amostra 1, o parafuso de titânio ofereceu uma boa fixação ao enxerto no bloco de poliuretano, sem apresentar nenhum tipo de deslizamento ou deformação aparente. Para esta amostra, o ensaio culminou no rompimento do enxerto.

Ainda para o primeiro ensaio, é válido mencionar que a interrupção mencionada anteriormente aconteceu após a deformação máxima do enxerto, próximo de 20 mm de deslocamento, onde o ensaio estava se encaminhando para os instantes finais além de também ser a faixa de deslocamento estudado no segundo ensaio. Sendo assim, para a comparação exposta nesse trabalho não gerou nenhum tipo de prejuízo.

Agora, analisando o gráfico da segunda amostra e fazendo uma comparação com a primeira, tem-se um pico de força de 338 N para a deformação máxima do enxerto, um pico de força muito maior do que o visto no parafuso de titânio, o que pode ser explicado quando se considera fatores como a qualidade do enxerto e intermitência na abertura do orifício no bloco, “túnel ósseo”. Durante o ensaio, o parafuso de PLA também apresentou uma boa fixação ao enxerto no bloco, sem apresentar nenhum sinal de escorregamento até o fim do ensaio que não culminou no rompimento desse enxerto. Neste caso o enxerto se deformou de tal forma que, seu diâmetro reduziu consideravelmente, assumindo espessura parecida com a de uma folha de papel, mas se manteve fixo ao bloco.

Vale evidenciar que, após o fim do ensaio e a coleta dos dados, a título de conhecimento e análise, a máquina

continuou funcionando e tracionando o conjunto no intuito de se evidenciar até que ponto o enxerto suportaria a carga sob a qual estava sendo submetido, sem se romper. A Figura 8 mostra uma sequência de fotos tiradas ao final deste ensaio para registra o ocorrido.

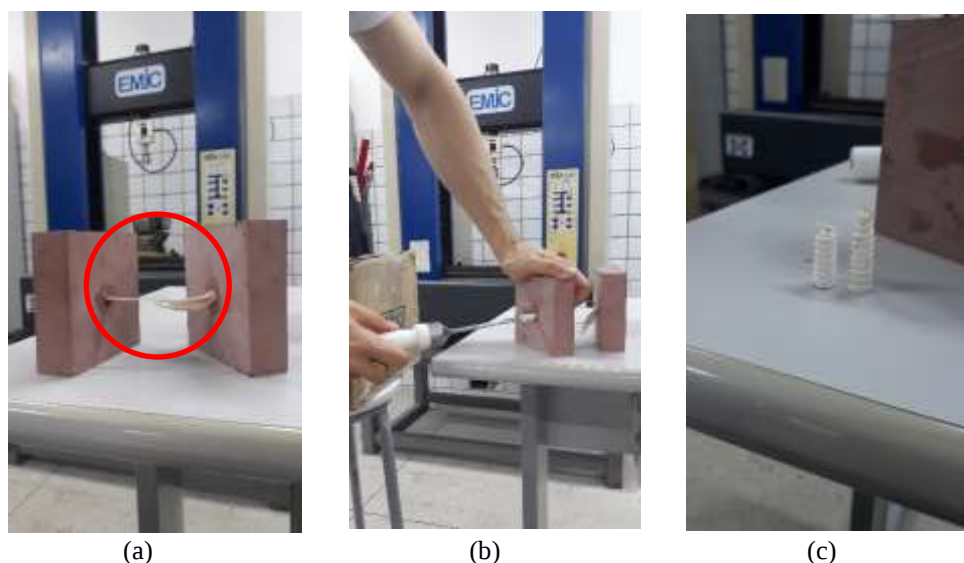


Figura 8. Registro do final do ensaio referente a amostra 2, com parafuso de PLA. (a) Retirada da amostra da máquina, com o enxerto fixo no bloco. (b) Retirada dos parafusos de PLA do conjunto. (c) parafusos após o ensaio.

7. CONCLUSÃO

Este trabalho trouxe a análise da realização de um ensaio de tração axial no conjunto composto por um enxerto fixado em suas extremidades no bloco de poliuretano, através de parafusos de interferência, simulando uma cirurgia de reconstrução de ligamento cruzado anterior a fim de analisar o comportamento do conjunto, em especial o enxerto e sua fixação pelos parafusos no orifício, que representa o “túnel ósseo” feito em uma cirurgia real. Com isso, o objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento e usabilidade de um parafuso de interferência feito do polímero bioabsorvível e biocompatível, ácido polilático, conhecido como PLA, impresso em uma impressora 3D para a realização de cirurgias de reconstrução do LCA.

Com os resultados expostos, foi evidenciado que o parafuso impresso na impressora 3D, a base do filamento de PLA, assim como o parafuso de titânio, desempenhou um papel bastante satisfatório na fixação do enxerto no bloco de poliuretano durante os ensaios, suportando um elevado carregamento de tração axial. Assim sendo, utilização do parafuso de PLA, impresso na impressora 3D é promissora e pode trazer ao mercado uma maior viabilidade econômica para a realização das cirurgias de reconstrução do LCA, tomando como amostra controle o parafuso de titânio já utilizado no mercado.

Todavia, a utilização do parafuso de interferência impresso, apesar de demonstrar um grande potencial e um futuro promissor, está em fases iniciais e para trabalhos futuros, é importante a realização de novos testes e estudos acerca dos parâmetros para a impressão do parafuso, para um aperfeiçoamento dos atributos do equipamento, somado a realização de novos ensaios direcionado ao parafuso impresso, regido por normas específicas, que visem, além do estudo mecânico, o seu comportamento a variação de temperatura e o tempo de sua degradação quando alojado dentro do corpo humano para uma maior certeza de que o mesmo ficará alojado tempo suficiente para o enxerto consiga cicatrizar na estrutura óssea do joelho, dispensando assim sua utilização.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ZEK CER, A.; SILVA, R.S.; FILHO, M.C. Reconstrução anatômica do LCA com duplo feixe: primeiros 40 casos. *Revista Brasileira de Ortopedia*. São Paulo/SP. v.46 n.3 p.262-65, 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/rbort/a/DtwJsfZjmvB3xdCr7FkswkF/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 07 abril 2022.
- [2] PINHEIRO, A. Lesão do ligamento cruzado anterior: Apresentação clínica, diagnóstico e tratamento. *Revista Portuguesa de Ortopedia e Traumatologia*. v.23 n.4 p.320-329, 2015. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/515776185/v23n4a05>>. Acesso em: 07 abril 2022.
- [3] PIMENTA, T.S. et al., Protocolos de tratamento fisioterápico após cirurgia do ligamento cruzado anterior. *Acta Biomedica Brasiliensia*. v.3 n.1 p.1-8, 2012.
- [4] ORTHOINFO. Lesões do ligamento cruzado anterior (LCA) (Anterior cruciate ligament (ACL) injuries).

Disponível em: <<https://orthoinfo.aaos.org/pt/diseases--conditions/lesoes-do-ligamento-cruzado-anterior-lca-acl-injuries/>>. Acesso em: 07 abril 2022.

[5] FUKUDA, T. Cirurgia De Ligamento Cruzado Anterior (LCA). 2020. Disponível em: <<https://www.institutotrata.com.br/cirurgia-de-ligamento-cruzado-anterior-lca/>>. Acesso em: 07 abril 2022.

[6] MENDES, G.H.; ABDALLA, K.B. Reconstrução do ligamento cruzado anterior com parafusos de interferência: pela técnica transtibial e outside in. 2011. 97p. dissertação (Monografia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

[7] PUCCI, P.B. Estudo experimental de avaliação da resistência de fixação do parafuso de interferência bioabsorvível na reconstrução do ligamento cruzado anterior. 2010. 31p. dissertação (Monografia) - Universidade Federal de Santa Catarina.

[8] SMITH & NEPHEW COMÉRCIO DE PRODUTOS MÉDICOS LTDA. Instruções de uso: Parafuso de Interferência Absorvível. We are Smith & Nephew, p.1-10, abril 2016.

[9] LASPRILLA, A.J. Síntese do Poli-Ácido láctico a partir do ácido láctico para aplicação biomédica. 2011. 138 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

[10] JAHNO, V.D. Síntese e caracterização do Poli(L-Ácido Láctico) para uso como biomaterial. 2005. 94p. dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

[11] JÚNIOR, J.L. Impressora 3d no desenvolvimento de pesquisas com próteses. Rev. Interinst. Bras. Ter. Ocup. Rio de Janeiro. v.2 n.2 p.398-413, 2018. Disponível em: <<https://revistas.ufrj.br/index.php/ribto/article/view/15022>>. Acessado em: 07 abril 2022.

[12] OLIVEIRA, A.V. et al. Análise do comportamento mecânico de enxertos suínos fixados com parafusos de interferência fabricados em PLA em impressora 3d por meio de ensaios de tração de montagem representando a cirurgia de reconstrução do LCA. ENEBI: Encontro Nacional de Engenharia Biomecânica. Goiânia – GO. P.1-6. maio 2022.

[13] GUIMARÃES, O.S. Engenharia no século XXI. Belo Horizonte. v.23 ed.1 p.9-15. 2021. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20220104235408id_/https://www.poisson.com.br/livros/engenharia/volume23/ES-EC23.pdf#page=14>. Acessado em: 07 de abril de 2022.

[14] KABUM, maior E-commerce de tecnologia. Disponível em: <<https://www.kabum.com.br/produto/158341/filamento-pla-para-impressora-3d-3dlab-branco-2013010121>>, Acessado em: 02 de junho de 2022.

[15] LAVOR, M.V.; CODES, R.N.; LIMA, D.A. Construção de uma morsa para fixação de enxerto de ligamento suíno para ensaio de arrancamento axial de parafusos de interferência. 2021. 14p. Curso de Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi Árido.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Centro de Engenharias – CE

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 14:30 horas do dia dez de junho de dois mil e vinte e dois, por meio de reunião remota, utilizando ferramenta Google Meet, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de trabalho de conclusão de curso de autoria da aluna **JULIANA PEREIRA DE OLIVEIRA**, aluna do curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia desta universidade, N° de matrícula **2018010861**, com o título **“ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DA FIXAÇÃO DE ENXERTO SUÍNO EM BLOCO DE POLIURETANO, SIMULANDO CIRURGIA DE LCA DO JOELHO, POR MEIO DE PARAFUSO DE INTERFERÊNCIA FABRICADO EM PLA ATRAVÉS DE IMPRESSÃO 3D”**. A Banca Examinadora ficou assim constituída por três membros: Prof. Dr. RODRIGO NOGUEIRA DE CODES, presidente da banca e orientador do Trabalho de Conclusão de Curso; Prof. Dr. DIEGO ARIEL DE LIMA, co-orientador, e Prof. Dr. ZOROASTRO TORRES VILAR, como membro. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pela banca examinadora, em reunião fechada, tendo o aluno sido considerado APROVADA. E para constar, eu, RODRIGO NOGUEIRA DE CODES, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada, será assinada por todos.

Mossoró, 10 de junho de 2022.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.

RODRIGO NOGUEIRA DE CODES:62534670344

Assinado de forma digital por RODRIGO NOGUEIRA DE CODES:62534670344
Dados: 2022.06.16 16:31:28 -03'00'

Prof. Dr. Rodrigo Nogueira de Codes – UFERSA
Presidente e orientador

Diego Ariel

Digitally signed by Diego Ariel
Date: 2022.06.17 09:41:49 -03'00'

Prof. Dr. Diego Ariel de Lima – UFERSA
Primeiro Membro e co-orientador

ZOROASTRO TORRES VILAR:04417246475

Assinado de forma digital por ZOROASTRO TORRES VILAR:04417246475
Dados: 2022.06.17 08:30:45 -03'00'

Prof. Dr. Zoroastro Torres Vilar - UFERSA
Segundo Membro