

PROPOSTA DE IMPRESSÃO EM 3-D DO OSSO FÊMUR DE PESSOAS IDOSAS VITIMADAS DE FRATURA

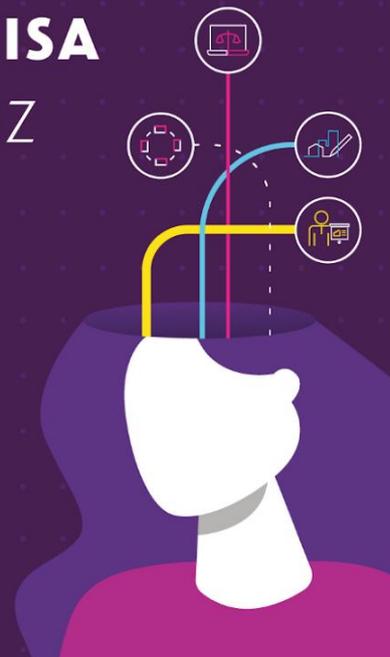
Professor orientador: Linconl Agudo Oliveira Benito

Alunos: Guilherme de Paula Storti Meirelles e
Sarah Valadares Bomtempo

PROGRAMA DE
INICIAÇÃO CIENTÍFICA
PIC/CEUB

RELATÓRIOS DE PESQUISA
VOLUME 9 Nº 1- JAN/DEZ
•2023•

ISSN: 2595-4563





**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - CEUB
PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

**GUILHERME DE PAULA STORTTI MEIRELLES
SARAH VALADARES BOMTEMPO**

**PROPOSTA DE IMPRESSÃO EM 3-D DO OSSO FÊMUR DE PESSOAS IDOSAS
VITIMADAS DE FRATURA**

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e Pesquisa.

Orientação: Linconl Agudo Oliveira Benito.

BRASÍLIA

2024

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com a ajuda de diversas pessoas, dentre as quais agradeço:

Ao nosso orientador, Professor Dr. Linconl Agudo Oliveira Benito, o qual nos incentivou ao aprofundamento deste tema e apoiou-nos em cada parte dessa trajetória.

À equipe de Engenharia do CEUB que nos auxiliou nos testes de compressão doando seu tempo para nos auxiliar.

Ao Veterinário Lucas que sem ele não seria possível a impressão da estrutura Fêmur.

Aos nossos pais, pelo amor incondicional, e por sempre nos apoiarem e fazerem de tudo para nossa carreira ser o melhor possível.

À FAPDF, pelo apoio financeiro e por acreditar no nosso trabalho.

E por fim, queríamos agradecer a nós mesmos por nossa dedicação, nossa força de vontade e por nossa união, que foi imprescindível para a criação e finalização desse projeto.

“A enfermagem é uma arte, e para realizá-la como arte, requer uma devoção tão exclusiva, um preparo tão rigoroso, quanto a obra de qualquer pintor ou escultor.”

Florence Nightingale

RESUMO

A invenção da impressora 3-D em 1984 por Charles Hull revolucionou a fabricação de objetos complexos e personalizados, abrindo um leque de possibilidades em diversos campos, incluindo a medicina. O método “Fused deposition modeling” (FDM), amplamente utilizado por sua acessibilidade e versatilidade, permite a criação de estruturas corporais, como órgãos e ossos, impulsionando avanços na medicina regenerativa. O presente estudo experimental, comparativo e descritivo, com abordagem quanti-qualitativa, teve como objetivo a impressão 3-D de um protótipo de fêmur para fins educacionais, com foco em pessoas idosas vítimas de fraturas, um grupo particularmente vulnerável devido à prevalência de condições como osteoporose e osteomalácia, que fragilizam os ossos e aumentam o risco de fraturas. A pesquisa envolveu a tomografia de um fêmur sintético e natural, seguida da configuração e impressão 3-D do protótipo utilizando o método FDM e o filamento PLA PRO, um material biocompatível e acessível. Testes de compressão demonstraram que o protótipo suporta uma carga média de 10.33 KN, equivalente a 1.053 toneladas-força, indicando sua resistência e potencial para aplicações em substituição de transplantes, suportando o peso de um paciente e resistindo à tração. A impressão 3-D de estruturas ósseas apresenta-se como uma alternativa promissora e econômica em comparação com próteses convencionais, com potencial para beneficiar pacientes e sistemas de saúde, além de contribuir para a educação médica, permitindo a criação de modelos anatômicos precisos para planejamento cirúrgico e treinamento. No entanto, mais pesquisas são necessárias para avaliar a segurança e a eficácia a longo prazo da aplicação dessa tecnologia em situações cotidianas, como quedas, especialmente em populações idosas, considerando as necessidades clínicas específicas desse grupo. A impressão 3-D tem o potencial de revolucionar o tratamento de fraturas e outras condições ósseas, oferecendo soluções personalizadas e acessíveis, impulsionando avanços na área da saúde e melhorando a qualidade de vida dos pacientes. Adicionalmente, a tecnologia pode democratizar o acesso a próteses e implantes, tornando-os mais acessíveis a pessoas em países em desenvolvimento.

Palavras-chave: Fêmur; Idosos; Impressora 3-D.

ABSTRACT

PROPOSAL FOR 3-D PRINTING OF THE FEMUR BONE OF ELDERLY PEOPLE VICTIMS OF FRACTURES

The invention of the 3-D printer in 1984 by Charles Hull revolutionized the manufacturing of complex and personalized objects, opening up a range of possibilities in several fields, including medicine. The “Fused deposition modeling” (FDM) method, widely used due to its accessibility and versatility, allows the creation of body structures, such as organs and bones, driving advances in regenerative medicine. This experimental, comparative and descriptive study, with a quantitative and qualitative approach, aimed to 3-D print a femur prototype for educational purposes, focusing on elderly people who have suffered fractures, a particularly vulnerable group due to the prevalence of conditions such as osteoporosis and osteomalacia, which weaken bones and increase the risk of fractures. The research involved the tomography of a synthetic and natural femur, followed by the configuration and 3-D printing of the prototype using the FDM method and PLA PRO filament, a biocompatible and affordable material. Compression tests demonstrated that the prototype supports an average load of 10.33 kN, equivalent to 1,053 tons-force, indicating its resistance and potential for applications in transplant replacement, supporting the weight of a patient and resisting traction. 3-D printing of bone structures presents itself as a promising and cost-effective alternative to conventional prosthetics, with the potential to benefit patients and health systems, in addition to contributing to medical education, allowing the creation of accurate anatomical models for surgical planning and training. However, more research is needed to evaluate the long-term safety and efficacy of applying this technology in everyday situations, such as falls, especially in elderly populations, considering the specific clinical needs of this group. 3-D printing has the potential to revolutionize the treatment of fractures and other bone conditions, offering personalized and affordable solutions, driving advances in healthcare and improving patients' quality of life. Additionally, the technology can democratize access to prosthetics and implants, making them more accessible to people in developing countries.

Key-words: Femur; Elderly; 3D Printer.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 11 |
| OBJETIVOS | 13 |
| 2. FUNDAMENTA TEÓRICA | 13 |
| 3. MÉTODO | 18 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 21 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 31 |
| 6. REFERÊNCIAS | 33 |
| APÊNDICE A - Certificado do trabalho aprovado para apresentação junto ao VI Simpósio Internacional de Ciências e Tecnologias em Saúde (VI SICTS/PPGCTS/FCE/UnB) | 35 |
| APÊNDICE B - Certificado de Premiação “Menção Honrosa” do trabalho aprovado para apresentação junto ao VI Simpósio de Ciências e Tecnologias em Saúde (VI SICTS/PPGCTS/FCE/UnB) | 36 |
| APÊNDICE C – Certificado do trabalho aprovado para apresentação junto ao IV Encontro Internacional de Inovação em Saúde, II Feira de Inovação Tecnológica do Distrito Federal (IV INOVATEC) | 37 |
| APÊNDICE D – Banner do Trabalho aprovado para apresentação junto ao IV Encontro Internacional de Inovação em Saúde, II Feira de Inovação Tecnológica do Distrito Federal (IV INOVATEC) | 39 |
| APÊNDICE E – Comprovante da mensagem eletrônica encaminhada para a Comissão Organizadora do IV Encontro Internacional de Inovação em Saúde, II Feira de Inovação Tecnológica do Distrito Federal (IV INOVATEC) sobre a publicação do Resumo do Trabalho apresentado no BOOK ABSTRACT do Congresso no Journal of Global Innovation (JGI) da Biopropectum do Parque Tecnológico do Porto (Portugal) , volume 5, 2024 | 40 |
| APÊNDICE F – Comprovante da mensagem eletrônica encaminhada para a Comissão Organizadora do IV Encontro Internacional de Inovação em Saúde, II Feira de Inovação Tecnológica do Distrito Federal (IV INOVATEC) sobre a publicação do Resumo do Trabalho apresentado no BOOK ABSTRACT do Congresso no Journal of Global Innovation (JGI) da Biopropectum do Parque Tecnológico do Porto (Portugal) , volume 5, 2024 | 41 |
| APÊNDICE G - Primeiro artigo publicado na forma de Editorial, do projeto de pesquisa de iniciação científica, possuidora do título “Proposta de impressão em 3-D do osso fêmur de pessoas idosas vitimadas de fratura: Considerações preliminares” | 42 |
| APÊNDICE H - Comprovante de aceite de resumo submetido para apresentação junto ao 26° Congresso Brasileiro dos Conselhos de Enfermagem (26° CBCENF) | 55 |

INTRODUÇÃO

O aumento da longevidade da população mundial, resultado de avanços na medicina e saúde pública, desenvolveu um desafio crescente: o aumento das doenças crônicas não transmissíveis (DCNTs) sendo a população idosa a mais afetada por isso. Dentre essas doenças, a osteoporose, que fragiliza os ossos, diminuindo a neoformação da matriz óssea, ao mesmo tempo que aumenta a sua reabsorção, fazendo com que o risco de fraturas cresça, sendo definida como um problema de saúde pública de grande impacto, especialmente em países como o Brasil, onde o número de idosos está em constante crescimento. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que, até 2050, a população mundial com 60 anos ou mais duplicará, atingindo 2,1 bilhões de pessoas. As fraturas, particularmente as de fêmur, frequentemente resultam em hospitalizações prolongadas, perda de autonomia e, em alguns casos, até mesmo em mortalidade, impondo um ônus considerável tanto para os indivíduos afetados, quanto para o Sistema Único de Saúde (SUS). Dessa forma, Estudos epidemiológicos apontam que existem mais de 30 mil casos de internações anuais devido às fraturas de fêmur em idosos no Brasil, gerando um custo estimado de 58 milhões de reais para os cofres públicos (SOARES *et al.*, 2014).

Nesse contexto, a bioengenharia e a manufatura aditiva, comumente chamada de impressão 3-D, emergem como áreas de pesquisa promissoras na busca por soluções inovadoras para o tratamento de fraturas e outras condições ósseas. A impressão 3-D em específico permite a fabricação de estruturas personalizadas, individualizadas e complexas, abrindo portas para a criação de implantes, próteses e 3-D *scaffolds* sob medida, com potencial de contribuir para melhora da qualidade de vida dos pacientes e reduzir os custos associados aos tratamentos convencionais. Um exemplo notável é o caso das próteses de fêmur, onde o custo médio de um tratamento cirúrgico para fratura de fêmur, incluindo a prótese convencional, pode chegar a R\$ 39.160,75. Em contrapartida, a produção de um modelo ósseo através da impressão 3-D, utilizando materiais como o PLA, pode representar uma economia substancial, com custos estimados em cerca de R\$ 400, considerando o valor do material e o tempo de impressão (ARNDT; TELLES; KOWALSKI, 2011; FERREIRA, 2014). Além da redução de custos, a impressão 3-D oferece uma grande variedade de possibilidades para o

tratamento de fraturas e outras condições ósseas. A tecnologia 3-D permite a criação de guias cirúrgicos personalizados, que auxiliam o cirurgião no posicionamento preciso de implantes e parafusos, minimizando o tempo de cirurgia e o risco de complicações. Esses modelos anatômicos precisos, podem também ser utilizados para o planejamento pré-operatório, treinamento médico e educação do paciente, resultando em um tratamento mais eficaz e seguro. Já os *scaffolds* (estruturas de suporte) promovem a regeneração óssea, proporcionando uma alternativa promissora para o tratamento de grandes defeitos ósseos e doenças degenerativas.

A relevância deste tema é destacada pela crescente necessidade de novas alternativas eficazes ao tratamento convencional para o tratamento de fraturas em idosos, que muitas vezes envolve cirurgias invasivas e longos períodos de recuperação, podendo ser particularmente problemático para os mesmos, que frequentemente apresentam outras comorbidades que podem aumentar o risco de complicações pós-operatórias e dificultam a reabilitação. Aliada ao potencial da manufatura aditiva é possível revolucionar a área de tratamento de fraturas. Autores como Silva *et al.* (2020), Navarro *et al.* (2008) e Liu e Ma (2004) têm se destacado na contribuição significativa para o aprimoramento e aprofundamento do conhecimento nesse campo, investigando materiais, técnicas, métodos e aplicações da impressão 3-D na área ortopédica.

Diante do impacto socioeconômico das fraturas em idosos e do potencial da impressão 3-D na medicina regenerativa, este projeto de iniciação científica (PIC) se insere nesse cenário com o objetivo principal de investigar a viabilidade da impressão 3-D de um protótipo de osso fêmur para fins educacionais, com foco na população idosa vítima de fraturas. A pesquisa se aprofundou na exploração dos métodos de impressão 3-D, buscando identificar os materiais mais adequados e as propriedades mecânicas essenciais para a criação de estruturas ósseas não apenas funcionalmente eficazes, mas também biocompatíveis, garantindo a integração segura com o tecido humano. Adicionalmente, a pesquisa se dedicou a compreender os desafios e as limitações da aplicação da impressão 3-D no contexto da saúde em específico do tratamento de fraturas em idosos, considerando as particularidades dessa população e suas necessidades clínicas específicas. A pesquisa foi realizada no Centro Universitário de Brasília (CEUB), sob a orientação do professor Lincoln Agudo Oliveira Benito, e envolveu

a utilização de tecnologias de ponta, como a tomografia computadorizada, prensa hidráulica e a impressora 3-D, para a criação e análise do protótipo de osso fêmur.

OBJETIVOS

Este estudo se propôs a aprofundar o conhecimento sobre a impressão 3-D de estruturas ósseas, com o intuito de contribuir para o desenvolvimento de soluções inovadoras, que possam beneficiar a população idosa e melhorar a qualidade de vida (QV) destas pessoas. Desta forma, este estudo teve como objetivo geral, pesquisar sobre um meio de auxiliar futuramente, junto à cirurgias de substituição do osso fêmur em pessoas idosas acometidas por fraturas, fraturas de cabeça de fêmur, e enfermidades como por exemplo, a osteoporose. Com a definição do material utilizado, sendo ele biocompatível, biodegradável e que proporciona uma resistência à tração e ao impacto, foi impresso estruturas ósseas no formato 3-D e, posteriormente a essa atividade, às mesmas foram testadas para analisar a sua resistência.

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No ano de 1984, foi criada a primeira impressora 3-D pelo engenheiro norte-americano Dr. Charles Hull, sendo que, antes disso, mais especificamente a quatro (04) anos, o japonês Dr. Hideo Kodama, desenvolveu a técnica de estereolitografia, que consiste em uma prototipagem rápida, que possui o intuito de criar objetos usando luz ultravioleta (UV), ou ainda, um projetor para endurecer uma resina líquida em plástico sólido e resistente, ficando posteriormente conhecida como a sigla SLA (WOHLERS; GORNET, 2016; PALMA; KAPPLER, 2015). Após dois (02) anos, em 1986, Hull patenteou a técnica de Estereolitografia (SLA) e, com isso, ele teve a oportunidade de desenvolver a *3-D Systems Corp* presente até hoje, sendo ela uma das maiores empresas do ramo e, desta forma, o primeiro objeto então escolhido por Charles para ser impresso, foi uma lâmpada feita com resina, um plástico sintético (WOHLERS; GORNET, 2016; PALMA; KAPPLER, 2015).

Em 1989, a impressora 3-D já estava no mercado, competindo com a recém-criada 3-D Modeler (CUNICO, 2015). O Dr. Scott Crump introduziu o método FDM (Fused Deposition Modeling), amplamente utilizado hoje (SILVA, 2021; CALIGNANO, 2017), que possibilita a produção de objetos por sobreposição de materiais como resinas, cerâmicas, plásticos e até tecidos humanos e alimentos (SILVA, 2021; CALIGNANO, 2017). Apesar de mais lento que a estereolitografia, dependendo do objeto a ser impresso (CALIGNANO, 2017; CUNICO, 2015), o FDM se tornou popular. Na década de 90, o alto custo das impressoras 3-D (cerca de um milhão de dólares) limitava seu uso a grandes instituições e empresas (R3-DY, 2020; CALIGNANO, 2017; CUNICO, 2015). Contudo, pesquisas médicas sobre a criação de próteses e órgãos humanos avançaram.

Em 1999, o Instituto Wake Forest® implantou a primeira bexiga artificial impressa em 3-D, feita com células do próprio paciente, reduzindo o risco de rejeição (R3-DY, 2020; CUNICO, 2015). No início dos anos 2000, a impressão 3-D se tornou mais acessível, levando à criação de um rim artificial em 2000 utilizando o método FDM. Em 2005, o Dr. Adrian Bowyer iniciou o projeto RepRap, com o objetivo de criar uma impressora 3-D capaz de se auto replicar, ou pelo menos grande parte de suas peças (R3-DY, 2020; SILVA, 2021; CALIGNANO, 2017; PALMA; KAPPLER, 2015).

Esse objetivo foi alcançado em 2008 com a impressora Darwin (R3-DY, 2020; SILVA, 2021; CALIGNANO, 2017). No mesmo ano, a primeira prótese de perna humana foi impressa com sucesso. Em 2013, o primeiro transplante de rim utilizando uma impressora 3-D marcou um avanço significativo na área da saúde e da biotecnologia, abrindo caminho para novas possibilidades na medicina regenerativa (R3-DY, 2020; SILVA, 2021; CALIGNANO, 2017; PALMA; KAPPLER, 2015).

A manufatura aditiva abrange uma variedade de técnicas que possibilitam a criação de objetos tridimensionais a partir de um modelo digital. Na área da saúde, diversos métodos de impressão 3-D têm sido empregados, cada um com suas particularidades, vantagens e desvantagens. O método de Modelagem por Fusão e Deposição (FDM), amplamente utilizado devido ao seu baixo custo e à facilidade de operação, é uma técnica versátil e acessível, amplamente utilizada na fabricação de protótipos, modelos anatômicos e dispositivos médicos personalizados (Silva *et al.*, 2020).

O processo envolve a extrusão de um filamento termoplástico através de um bico aquecido, depositando-o camada por camada para formar o objeto desejado. Possuindo uma ampla variedade de filamentos disponíveis, incluindo opções biocompatíveis. No entanto, sua resolução limitada e a necessidade de acabamento posterior podem restringir sua aplicação em casos que exigem alta precisão (Silva *et al.*, 2020). Mesmo com essas desvantagens, a técnica FDM segue sendo o método mais utilizado na atualidade (Silva *et al.*, 2020).

A técnica de Estereolitografia (SLA) como dita anteriormente foi o primeiro método existente utilizando um laser para solidificar seletivamente uma resina líquida fotossensível, criando o objeto camada por camada (Gao *et al.*, 2018). É uma técnica de alta resolução e precisão, com um excelente acabamento superficial, ideal para a fabricação de modelos anatômicos detalhados, guias cirúrgicos e protótipos funcionais, dessa forma, dispensa a necessidade de pós-processamento em muitos casos. No entanto, o custo mais elevado e a necessidade de manuseio cuidadoso das resinas fotossensíveis podem ser limitações para o uso do método (Gao *et al.*, 2018).

O método chamado de Sinterização Seletiva a Laser (SLS) utiliza um laser para fundir um pó termoplástico, criando o objeto camada por camada. Oferecendo grande liberdade de design e permitindo a fabricação de peças com alta resistência mecânica, sendo ideal para aplicações que exigem durabilidade e desempenho (Wong & Hernandez, 2012). Não necessitando de estruturas de suporte, permitindo a fabricação de peças com geometrias complexas. Possuindo também uma grande variedade de materiais disponíveis, incluindo opções biocompatíveis e de alta resistência mecânica. No entanto, o alto custo e a necessidade de pós-processamento diminui sua utilização, sendo trocada, em alguns casos, pelo FDM (Wong & Hernandez, 2012).

A técnica de Processamento Digital de Luz (DLP) é bastante similar à SLA, utilizando um projetor de luz digital para solidificar uma resina líquida fotossensível. Porém possuem diferenças significativas, enquanto a SLA utiliza um laser que se move ponto a ponto para traçar cada camada do objeto, a DLP utiliza um projetor digital para curar uma camada inteira de uma só vez. Com isso a DLP geralmente oferece maior velocidade de impressão em comparação à SLA. Porém por curar uma camada inteira de uma vez só, a SLA tende a ter uma ligeira vantagem na produção de detalhes

extremamente finos devido à natureza precisa do laser (Gao *et al.*, 2018). O custo dos equipamentos e materiais para SLA e DLP é comparativamente alto em relação a outras tecnologias de impressão 3-D, como a FDM. No entanto, o custo da DLP pode ser ligeiramente inferior ao da SLA devido à menor complexidade do sistema óptico. Por isso, a escolha entre SLA e DLP depende das necessidades específicas de cada aplicação. Se a velocidade de impressão for prioritária, a DLP pode ser a melhor opção. Se a precisão e o acabamento superficiais forem críticos, a SLA pode ser mais adequada (Zhang *et al.*, 2017).

O método de Jateamento de Material (MJ) utiliza um cabeçote de impressão para depositar pequenas gotas de um material fotossensível ou aglutinante sobre um leito de pó, criando o objeto camada por camada. Permitindo a impressão de peças com múltiplos materiais e cores em uma única impressão. Dessa forma é possível ter grande flexibilidade na escolha de materiais e cores (Lipson & Kurman, 2013). E no fim estruturas totalmente personalizadas podem ser criadas com essa técnica. No entanto é necessário um pós-processamento para remover o material de suporte e melhorar o acabamento superficial, além de possuir um alto custo (Lipson & Kurman, 2013).

A impressão 3-D evoluiu de uma tecnologia cara e limitada a uma ferramenta acessível e revolucionária, se destacando com suas aplicações que vão desde a criação de objetos personalizados, fabricação de próteses e implantes personalizados até a produção de órgãos humanos, transformando a maneira como interagimos com o mundo e impulsionando avanços na medicina e em outras áreas (Silva, 2021). Uma das maiores utilizações da impressora 3-D é a criação de modelos anatômicos precisos e personalizados, que podem ser utilizados para planejamento cirúrgico, facilitando a comunicação entre a equipe médica e o paciente, além de auxiliar na tomada de decisões e no planejamento cirúrgico (Milano *et al.*, 2019). Com esses modelos é possível uma representação tangível da anatomia do paciente, permitindo aos cirurgiões visualizar estruturas complexas e planejar procedimentos com maior precisão (Martelli *et al.*, 2018).

Outra aplicação é o desenvolvimento de próteses personalizadas, permitindo melhor ajuste, conforto e funcionalidade, se adaptam perfeitamente à anatomia e às necessidades funcionais de cada paciente, melhorando o conforto, a funcionalidade e a

qualidade de vida, além de serem mais leves e acessíveis do que as próteses convencionais (Li *et al.*, 2020). Essas próteses representam um avanço significativo no campo da cirurgia reconstrutiva e ortopédica, democratizando o acesso a essa tecnologia regenerativa tornando-as mais acessíveis e permitindo que pessoas com deficiência em países em desenvolvimento se beneficiem dessa tecnologia. Tendo seu foco em próteses dos membros inferiores - MMII (Alfaqawi *et al.*, 2022; Ciotti *et al.*, 2023; Araújo *et al.*, 2021).

Além disso com a impressão 3-D, algo nunca antes pensado é possível, como a engenharia de tecidos, a bioimpressão 3-D, ela é capaz de combinar células, biomateriais e fatores de crescimento em estruturas tridimensionais, fazendo com que essa seja uma abordagem promissora para a regeneração de tecidos e órgãos, com potencial para revolucionar o tratamento de diversas condições médicas (Vijayavenkataraman *et al.*, 2018). A possibilidade de fabricar construções biológicas complexas e funcionais pode mudar todo o rumo das cirurgias de transplantes de órgãos pois não será mais necessário que exista uma busca exaustiva pelo órgão compatível pois um tecido poderá ser impresso com as células do próprio paciente (Vijayavenkataraman *et al.*, 2018).

Recentemente essa tecnologia está sendo usada na reabilitação de crianças com deficiência congênita de membros superiores, oferecendo soluções personalizadas e acessíveis para suas necessidades. As crianças com deficiência congênita de membros superiores enfrentam desafios significativos em seu desenvolvimento físico, emocional e social (Vijayavenkataraman *et al.*, 2018). A falta de um membro pode afetar sua autoestima, confiança e participação em atividades diárias. Sendo sua reabilitação um processo complexo e multidisciplinar, que envolve fisioterapia, terapia ocupacional e apoio psicológico. A utilização das próteses impressas em 3-D, oferecem uma série de vantagens em relação às próteses tradicionais, incluindo menor custo, maior personalização, leveza e facilidade de ajuste (Vijayavenkataraman *et al.*, 2018).

Além disso, a possibilidade de criar designs divertidos e coloridos pode aumentar a aceitação e o uso das próteses por parte das crianças. Além disso, estudos demonstraram que o uso de próteses impressas em 3-D pode melhorar significativamente a função, a autoestima e a qualidade de vida de crianças com deficiência congênita de membros superiores (Ten Kate *et al.*, 2017). As próteses

permitem que elas realizem atividades de vida diária (AVD) com mais facilidade, participem de brincadeiras e esportes e se sintam mais confiantes em sua aparência. Com o aumento do uso da impressão 3-D é possível revolucionar a reabilitação de crianças com deficiência congênita de membros superiores, oferecendo soluções personalizadas e acessíveis para suas necessidades. Beneficiando um número crescente de crianças em todo o mundo (Ten Kate *et al.*, 2017).

2. MÉTODO

Trata-se de uma pesquisa classificada enquanto experimental, comparativa, descritiva e de abordagem quanti qualitativa, que se propõe realizar um protótipo impresso no formato tridimensional (3-D) de um osso do tipo “fêmur” para fins educacionais. Por entender que será utilizado para esse experimento um osso humano, e também, um similar no processo comparativo, será encaminhado para o “Comitê de Ética e Pesquisa (CEP)” do “Centro Universitário de Brasília (CEUB)”, um projeto de pesquisa, objetivando realizar análise e tratamento bioético do presente estudo.

Nesse sentido, é entendido que serão respeitados os dispositivos expostos junto a Resolução de número 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde (CNS), relacionada as “Diretrizes e normas regulamentadoras em pesquisas utilizando seres humanos”. Após recepção do aceite e liberação do Comitê de Ética e Pesquisa (CEP) do Centro Universitário de Brasília (CEUB), se procederá a realização da pesquisa, tendo enquanto etapas constitutivas (1) Aquisição da(s) imagem(s) dos objetos a serem impressos no formato 3-D, (2) Processo de modelagem com ferramenta de software 3-D, (3) Configuração e impressão em 3-D do modelo (protótipo) e, (4) Descrição dos processos da técnica implementados.

Objetivando realizar o processo de captura da imagem e posterior digitalização da estrutura óssea femoral, será utilizado um Scanner manual da marca Sense® 3-D, que possui em suas capacidades, mas dimensões de “17.8cm x 12.9cm x 3.3cm”, campo de visão “horizontal: 45º, vertical: 54.7º e diagonal: 69º” e temperatura de operação de “10-40º”. Em relação ao Scanner manual da marca Sense® 3-D, sua faixa de operação é

de “Min 0.35m / Max 3m”, sua Espacial x/y resolução @ 0.5m é de “0,9mm”, e o seu volume de escaneamento é de “Min: 0.2 x 0.2 x 0.2m / Min: 0.2 x 0.2 x 0.2m”.

Ainda em relação ao Scanner manual da marca Sense® 3-D, o tamanho da profundidade da imagem é de “240(L) x 320(A) px”, a profundidade de res. @ 0.5mm é de “1mm” e o tamanho da imagem a cores é de “240 (L) x 320(A) px”. Posterior a esse processo e, objetivando potencializar o processo de “fatiamento”, ou seja, cortes da imagem scanniada, para proporcionar a melhor impressão da estrutura óssea no formato tridimensional, será utilizado o software “CURA Ultimaker®”, em sua versão de número “4.6”, for “Windows®”.

Nesse contexto, o software “CURA Ultimaker® em sua versão de número 5.3.0”, possui a capacidade de transformar um determinado modelo 3-D, na forma de camadas que, quando as mesmas se encontram sobrepostas, permitem a transformação de um determinado objeto que será posteriormente impresso. Desta forma, o software “CURA Ultimaker®”, é um dos mais utilizados em todo o mundo para o processo de fatiamento da imagem que posteriormente será impressa em 3-D, sendo desenvolvido pelo Dr. David Braam, enquanto importante ferramenta para esse complexo processo.

Para o processo de impressão tridimensional, será utilizada uma impressora da marca “GTMAX 3D Core H4 Cor Black 110v/220v com tecnologia de impressão FDM”, existente junto ao “Espaço Institucional HUB de Inovação” do Centro Universitário de Brasília (CEUB). Essa impressora possui enquanto Resolução mínima da capa / Resolução máxima da capa “0.4 mm - 0.05 mm”, e dimensões de “Comprimento da impressora 3D: 510 mm, Largura da impressora 3D: 490 mm e Alto da impressora 3D: 745 mm”.

Para fins interpretativos e metodológicos, a tecnologia do tipo “Fused Deposition Modeling” (FDM), desenvolve suas atividades, por meio de impressoras do tipo 3-D, classificadas enquanto, especializadas, e também, termoplásticas de grau de produção, objetivando desenvolver a construção de peças mais fortes, duráveis, além de dimensionalmente mais estáveis e, com precisão mais apurada.

Serão utilizados no processo de busca bibliográfica eletrônica junto as bases de dados eletrônicas os Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) da Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), sendo eles “Acidentes por Quedas” com o Identificador DeCS “19050” e o

ID do descritor “D000058”, “Enfermagem em Ortopedia e Traumatologia” com o Identificador DeCS “59454” e o ID do descritor “D000084826”, “Fraturas do Fêmur” com o Identificador DeCS “5368” e o ID do descritor “D005264”, “Fraturas Ósseas” com o Identificador DeCS “50518” e o ID do descritor “D050723”, “Fraturas do Quadril” com o Identificador DeCS “6778” e o ID do descritor “D006620”, “Idoso” com o Identificador DeCS “20174” e o ID do descritor “D000368”, “Impressão Tridimensional” com o Identificador DeCS “55768” e o ID do descritor “D066330”, “Ortopedia” com o Identificador DeCS “10162” e o ID do descritor “D009985”, “Osso e Ossos” com o Identificador DeCS “1867” e o ID do descritor “D001842”, “Procedimentos Ortopédicos” com o Identificador DeCS “33575” e o ID do descritor “D019637”, “Reabilitação” com o Identificador DeCS “12467” e o ID do descritor “D012046”, “Resistência à Flexão” com o Identificador DeCS “57598” e o ID do descritor “D000077298”, “Traumatologia” com o Identificador DeCS “19369” e o ID do descritor “D014194”.

Após a impressão da estrutura óssea no formato tridimensional, será implementado teste do tipo ensaio, utilizando uma “prensa de compressão simples”, existente no Laboratório de Ciências da Saúde (LABOCIEN), com sede no bloco 10 do CEUB, conforme proposto e, respeitando às orientações e diretrizes expostas junto a “NBR 5.739/1994”, relacionada às “Disposições de Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos”, proposta e sustentada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Nesse contexto analítico e metodológico, a referida “NBR 5.739/1994”, sustenta que a prescrição do método pelo qual, devem ser ensaiados à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos de concreto, moldados conforme a NBR 5738 e extraídos conforme “NBR 7.680”. 1 É de suma importância lembrar e esclarecer ainda que, na aplicação desta Norma, é necessário consultar a NBR 5.738 de “Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto - Método de ensaio”, a NBR 6.156 relacionada à “Máquina de ensaio de tração e compressão - Verificação - Método de ensaio”, a NBR 7.680 relacionada a “Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto – Procedimento, e a NBR 9.479 relacionada às “Câmaras úmidas para cura de corpos-de-prova de cimento e concreto – Especificação”.

Um dos objetivos deste ensaio, embora aplicado a estruturas de concreto até a compressão e resistência máxima antes da ruptura, é utilizar a mesma metodologia aplicada ao corpo de prova, no caso, a estrutura óssea e avaliar a resistência da peça, com vistas a testes que podem ser aplicados a peças como próteses que irão suportar com segurança o peso de pacientes. Para o processo de associação e conjugação dos descritores selecionados, foram utilizados os operadores lógicos booleanos de pesquisa “and”, “or” e “not”, conforme estratégia proposta pela “Ebsco Connect. Discovery & Search”, presente em seu portal eletrônico [<https://connect.ebsco.com/>].

É importante destacar que a presente iniciativa só foi possível graças à importante parceria desenvolvida pela Faculdade de Enfermagem pertencente à Faculdade de Ciências e Educação em Saúde (FACES), junto com as Faculdades de Engenharia, integrantes da Faculdade de Tecnologia e Ciência Sociais Aplicadas (FATECS) do Centro Universitário de Brasília (CEUB).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No processo de realização de manipulação das peças de fêmur natural e similar, para realização do exame de Tomografia Computadorizada (TC), impressão no formato 3-D, e também, na realização do teste de resistência a peso, foram utilizados equipamentos de proteção individual (EPIs), pelos discentes, docentes e técnicos que auxiliaram em sua implementação. Todas as medidas protetivas e de segurança foram respeitadas, enquanto forma de prevenção de acidentes e melhor qualidade nos procedimentos desenvolvidos.

De acordo com o projeto, foi possível adquirir um melhor entendimento no que se refere à temática impressão no formato 3-D de estruturas anatômicas humanas e, além disso, o presente estudo explorou a viabilidade deste procedimento num protótipo de fêmur para fins educacionais, com foco na população idosa. A partir da tomografia computadorizada (TC) de um fêmur sintético e de um natural, foi possível obter as especificações para a criação de um modelo digital e, sua posterior impressão

no formato 3-D, sendo utilizado o filamento do tipo “PLA PRO”, optando pelo método “FDM”.

A análise dos resultados dos testes de compressão e resistência ao peso, revelou que o protótipo impresso em 3-D, demonstrou resistência mecânica a carga empregada. No primeiro teste, realizado junto ao fêmur seccionado, foi possível verificar que a carga de ruptura foi de aproximadamente 10.29 KN, ou seja, de aproximadamente 1.05 toneladas-força. No segundo teste, com o fêmur seccionado, a metade contendo a área da cabeça femoral, não suportou a configuração da prensa, sendo necessário utilizar a outra metade. Apesar disso, essa metade resistiu a uma carga de aproximadamente 10.33 KN, antes de sua ruptura.

O terceiro teste, com um protótipo de extremidades planas, resultou em uma carga de ruptura de aproximadamente 8.85 KN, sendo este, um valor menor em relação aos outros testes, o que mostrou ser uma surpresa, pois, se acreditou que este protótipo aguentaria mais peso que os anteriores.

Esses resultados sugerem que o corpo de prova, ou seja, o protótipo de fêmur impresso em 3-D, apresentava resistência suficiente para suportar o peso de um paciente e, desta forma, iria resistir ao processo de tração, o que é crucial para sua aplicação em situações cotidianas, como por exemplo, quedas, especialmente na população idosa. Adicionalmente, a capacidade de resistir às cargas superiores a 1 tonelada-força (tf), demonstrou o potencial do corpo de prova, impresso em 3-D e, também, na criação de próteses e implantes ósseos funcionais.

Além disso, a semelhança entre os ossos naturais, sintéticos e os impressos em 3-D mostra a grande capacidade de precisão e também, de sua fidelidade em reproduzir estruturas anatômicas complexas. Na imagem de número 01, é apresentada imagem parada retirada pelos discentes da iniciação científica, no que se refere às duas (02) estruturas, sendo uma o osso natural e o segundo, o similar.

Imagem 01 – Apresentação da imagem do osso fêmur natural (esquerda) e do osso sintético (direita) utilizados para digitalização:



Fonte: Imagem dos autores, 2024.

Na imagem de número 02, é apresentada imagem parada dos discentes da iniciação científica, no processo de organização para realização do exame de tomografia computadorizada, no que se refere ao osso natural e o segundo, o similar. É importante sustentar que todas as medidas protetivas de segurança e de boas práticas foram tomadas integralmente.

Imagem 02 – Apresentação por meio fotográfico do preparo para realização do exame de tomografia computadorizada (TC) para digitalização do osso e da estrutura similar:



Fonte: Imagem dos autores, 2024.

Na figura de número 03, é apresentada imagem parada do momento exato da realização do exame de TC, no que se refere ao osso natural e o segundo, o similar.

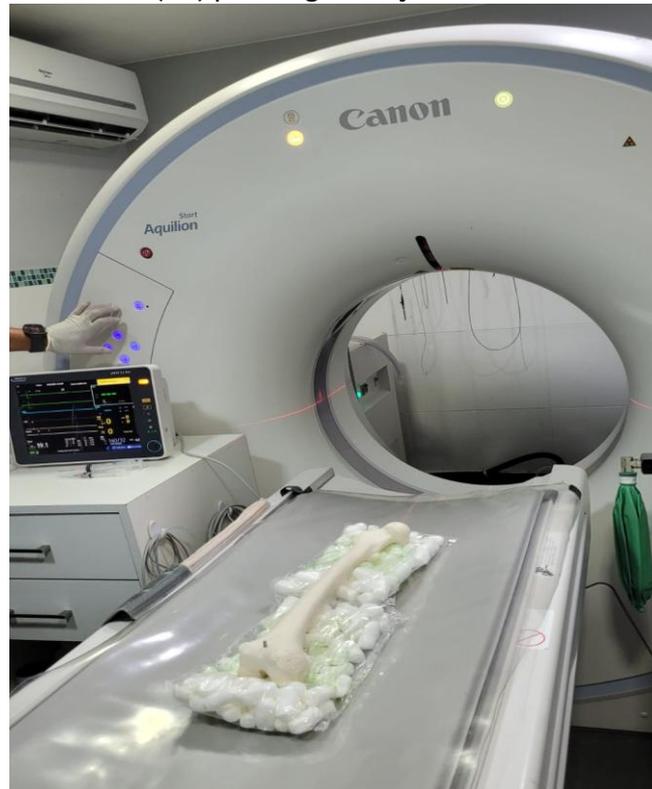
Imagem 03 – Apresentação por meio fotográfico do preparo da realização do exame de tomografia computadorizada (TC) para digitalização do osso natural:



Fonte: Imagem dos autores, 2024.

Na figura de número 04, é apresentada a imagem parada referente a segunda etapa dos exames de TC, no que se refere ao osso natural e o segundo, o similar, respectivamente.

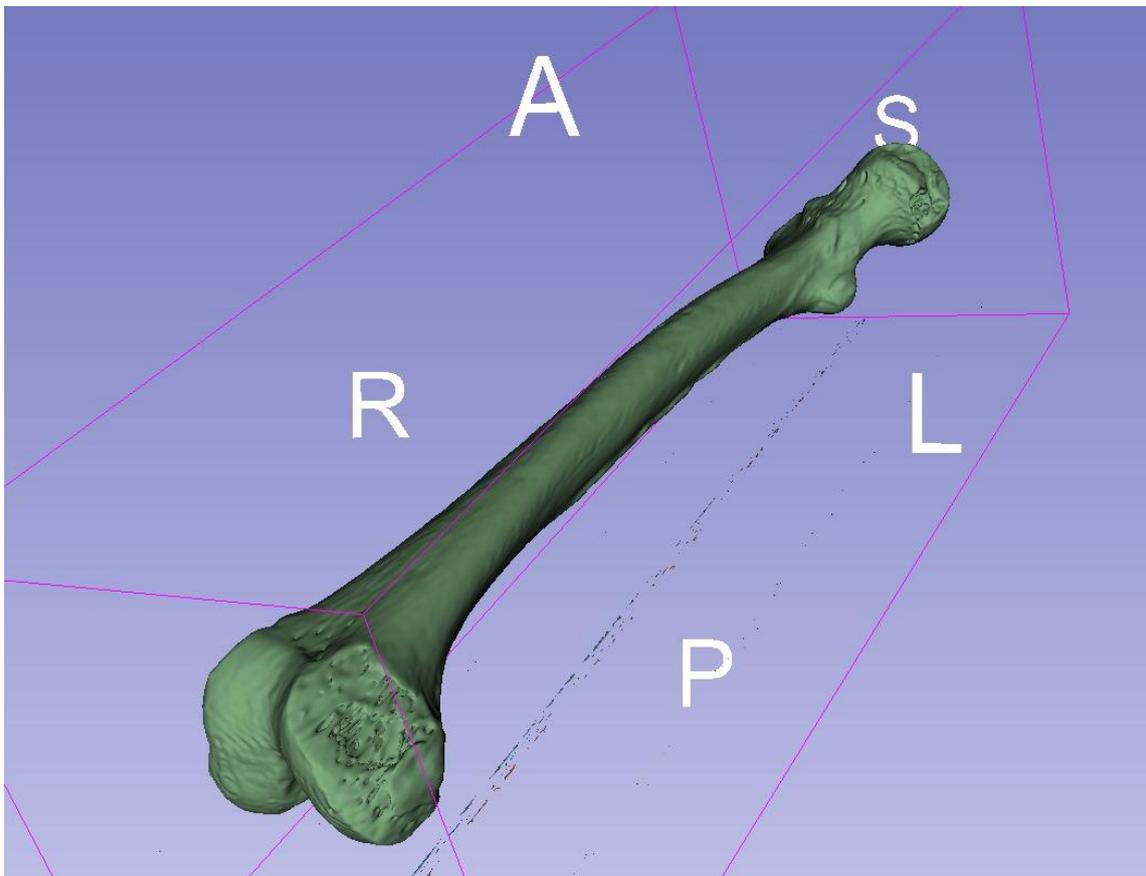
Imagem 04 – Apresentação por meio fotográfico do preparo da realização do exame de tomografia computadorizada (TC) para digitalização do osso similar:



Fonte: Imagem dos autores, 2024.

Na figura de número 05, é apresentada a imagem parada, referente ao processo de modelagem e de digitalização pós exame de TC. Nesse Contexto, é importante destacar a importância desta etapa, enquanto forma de preparo e idealização do corpo de prova que será impresso no formato 3-D.

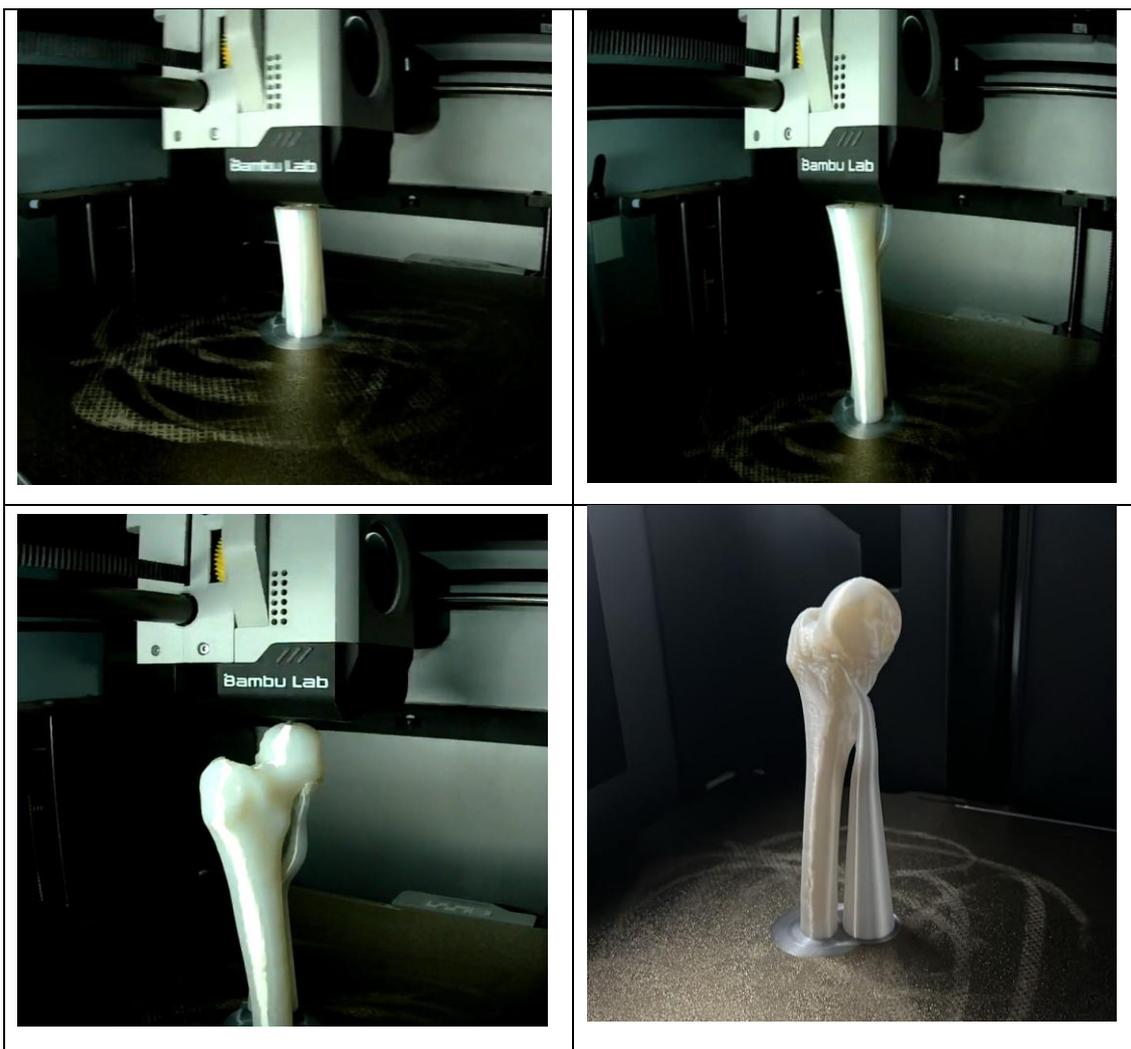
Imagem 05 – Apresentação da digitalização após a realização do exame de tomografia computadorizada (TC) do osso e da estrutura similar:



Fonte: Imagem dos autores, 2024.

Já na sexta (6ª) figura, são apresentadas quatro (4) imagens paradas, referentes a evolução do processo de impressão do corpo de prova no formato 3-D. Nessa etapa, também é importante destacar que, anteriormente a impressão no formato 3-D, a referida impressora foi calibrada, estando a mesma pronta para a realização do processo, e também, livre de qualquer possibilidade de erro ou desperdício de matéria empregado.

Imagem 06 – Apresentação das etapas do processo de impressão 3-D do osso natural:



Fonte: Imagem dos autores, 2024.

Na figura de número sete (07), são apresentadas imagens paradas, referentes a etapa de realização do teste de resistência do corpo de prova impresso no formato 3-D. Desta forma, é possível verificar que os cuidados e precauções de segurança, foram respeitados integralmente, sendo que este importante processo foi realizado com a presença de dois (02) docentes do Centro Universitário de Brasília (CEUB), sendo o primeiro da Faculdade de Engenharia e o segundo da Faculdade de Enfermagem.

O docente da Faculdade de Enfermagem, também se constitui enquanto orientador da iniciação científica e, desta forma, pode acompanhar os processos implementados. Ainda enquanto forma de facilitar a realização da referida etapa, também se encontrava presente um técnico em laboratório para sanar qualquer

eventualidade existente, ou que, por ventura pudesse surgir. Também é importante destacar que, para realização do teste, foi fechada a gaiola integrante da prensa utilizada, objetivando evitar que algum fragmento do corpo de prova testado, pudesse provocar algum acidente junto aos integrantes presentes da equipe de pesquisadores.

Imagem 07 – Apresentação das etapas do processo de teste de resistência a peso da impressão 3-D do osso natural:



Fonte: Imagem dos autores, 2024.

Na imagem de número 08, são apresentadas as áreas do corpo de prova que, nitidamente apresentaram fissuras, após a realização dos testes de resistência utilizando a prensa estabelecida. Já a outra parte integrante do corpo de prova, é possível verificar a quebra do corpo de prova em fragmentos maiores, o que aponta a sua resistência.

Imagem 08 – Apresentação dos resultados obtidos após a realização do teste de resistência de peso no corpo de prova proveniente da impressão 3-D do osso natural:



Fonte: Imagem dos autores, 2024.

Foi realizada uma pesquisa sobre a população mais idosa e as complicações mais comuns nessa idade. A principal população estudada são os idosos, pois, eles são os mais acometidos, eles por apresentarem uma idade mais avançada estão sujeitos a enfermidades debilitantes, como por exemplo, a osteoporose, a osteomalácia e, fenômenos como a queda da própria altura, podendo gerar risco para sua saúde e integridade.

Decorrida várias pesquisas, leituras de artigos, teses e dissertações, foi definido que o material mais acessível e próprio para esse procedimento seria o PLA PRO. Esse material combinada com o método o *Fused Deposition Modeling* (FDM) que, além de ser a segunda (2ª) técnica mais utilizada, traz diversas vantagens, como por exemplo, menor custo de produção, uma maior disponibilidade de materiais necessários, e também, menor desperdício de material proporcionando maior economia (SILVA *et al.*, 2020; RODRIGUES *et al.*, 2017).

Após essa decisão, foi realizada uma pesquisa e encontrou-se o filamento de PLA no “Mercado Livre” e foi realizada a compra. No princípio foi comprado somente 1 filamento, no decorrer do projeto foi necessário comprar mais 1 para poder imprimir outros ossos para poder realizar os testes propostos.

Após esse acontecimento, foi pedido ao laboratório da Faculdade um empréstimo da estrutura definida, no caso o fêmur sintético, para que pudesse realizar a tomografia do mesmo e assim adquirir as especificações completas. Quando realizada a tomografia, foram definidas algumas características principais do osso como peso, tamanho e comprimento.

Após o pedido da estrutura sintética, foi feito um novo pedido para o empréstimo de uma peça natural do nosso laboratório de práticas. Com esse empréstimo, foi possível a realização de mais uma tomografia para poder realizar a comparação entre os dois ossos em tamanho, peso, etc. As tomografias foram realizadas em um tomógrafo da marca "*Canon*" e do modelo "*Aquilion Start*".

Todos esses acontecimentos serviram de base para a criação do modelo digital no Software 3-D Slicer e para realizar o fatiamento foi utilizado o Bambu Studio. Após essa criação da modelagem, foi preciso adaptar ao tamanho da impressora que seria utilizada, pois o osso tinha um tamanho maior do que a impressora 3-D comportava. Foi-se decidido então imprimir um Fêmur seccionado na metade estilo macho e fêmea, um fêmur reduzido e outro partido pela metade. Todos os dois impressos na impressora 3-D Bambu A1.

Durante a impressão do osso, foi definido o tipo de preenchimento que seria utilizado e qual seria a principal funcionalidade da impressão. Existem vários tipos de malha de preenchimento e a escolhida para nosso projeto foi o de resistência. Durante a impressão do osso, foi definido o tipo de preenchimento que seria utilizado e qual seria a principal funcionalidade da impressão. Existem vários tipos de malha de preenchimento e, desta forma, a escolhida para nosso projeto foi o de resistência.

Realizada a impressão, foi pedido para o laboratório de engenharia um auxílio para poder realizar o teste de compressão com uma prensa hidráulica presente na própria faculdade e foram realizados dois testes de compressão. Um dos objetivos deste ensaio, embora aplicado a estruturas de concreto, é avaliar a resistência da peça, utilizando testes que podem assegurar que as próteses irão aguentar o peso corporal dos pacientes.

No primeiro teste de pressão, o fêmur teve um resultado de 1.05 TF (tonelada-força), o equivalente a 10.29 KN (quilonewton). Na realização do segundo teste, foi utilizada a impressão seccionada, porém o lado que apresentava a cabeça do fêmur, não conseguia dar suporte necessário para a prensa funcionar, então foi necessário utilizar a outra metade. Durante o realização do teste foi possível perceber que a peça aguentaria um valor estimado de 10.33 KN, rompendo a peça em duas partes.

Em contrapartida, no terceiro teste também realizado no CEUB, a peça utilizada tinha as extremidades planas, auxiliando em sua fixação na prensa. No decorrer do procedimento, foi possível ouvir um “estalo” e em seguida a peça se rompeu em três partes, aguentando um peso de 8.85 KN. A prensa utilizada no primeiro teste, foi da marca AMC, nos outros dois (02) testes, foi utilizado outro aparelho da marca EMIC presente na própria faculdade.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS (OU CONCLUSÕES):

O presente estudo, motivado pelo impacto de fraturas e enfermidades geradas em pessoas idosas, bem como, pelo potencial da impressão 3-D em seu futuro cuidado, tratamento, e reabilitação, investigando a sua viabilidade no desenvolvimento de um protótipo do osso fêmur. A pesquisa se desdobrou em uma jornada que abrangeu desde a seleção criteriosa do material de impressão o PLA PRO, escolhido por sua biocompatibilidade, acessibilidade e resistência, até a realização de testes de resistência de compressão, para avaliar a resistência mecânica do protótipo.

Os resultados obtidos demonstraram que o modelo impresso em 3-D suporta cargas significativas, indicando seu potencial para aplicações, e até mesmo como ferramenta objetivando auxiliar futuramente, no planejamento cirúrgico e na reabilitação de pacientes. A impressão 3-D de estruturas ósseas, como o fêmur, apresenta-se como uma alternativa promissora e econômica em comparação com próteses convencionais. Além disso, essa tecnologia permite a criação de modelos anatômicos personalizados, que podem ser utilizados para o planejamento pré-

operatório (PO), treinamento médico e educação do paciente, contribuindo para um tratamento mais eficaz e seguro.

No entanto, é fundamental reconhecer que a pesquisa representa apenas um passo inicial nessa área. A continuidade dos estudos, é essencial para explorar o potencial da impressão 3-D, na criação de implantes e próteses funcionais, que possam ser utilizados em situações clínicas reais. A avaliação da biocompatibilidade, da durabilidade e da funcionalidade a longo prazo desses dispositivos, é crucial para garantir a segurança e a eficácia do seu uso em pacientes.

Dessa forma, este estudo abre portas para futuras pesquisas, que explorem o potencial dessa tecnologia, na medicina regenerativa e no tratamento de fraturas, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida (QV) dos pacientes e, impulsionar avanços na área da saúde. Por fim, a impressão 3-D tem o potencial de “revolucionar” o tratamento de fraturas e outras condições ósseas, oferecendo soluções personalizadas e acessíveis, impulsionando avanços na área da saúde e melhorando a qualidade de vida dos pacientes. Complementando o que foi dito, a tecnologia pode ainda “democratizar” ainda mais, o acesso a próteses e implantes, tornando-os mais acessíveis a pessoas em países em desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, W. V. et al. 3-D printing of personalized implants: A review of current applications and future perspectives. *Revista Brasileira de Ortopedia*, v. 56, n. 3, p. 301-309, 2021.
- ARNDT, Â. B. M.; TELLES, J. L.; KOWALSKI, S. C. O custo direto da fratura de fêmur por quedas em pessoas idosas: análise no setor privado de saúde na cidade de Brasília, 2009. *Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia*, v. 14, n. 2, p. 221-231, 2011.
- CIOTTI, B. J. M. et al. Rapid fabrication of personalized upper limb prostheses using 3-D scanning and printing technologies. *Prosthetics and Orthotics International*, v. 47, n. 2, p. 154-162, 2023.
- FERREIRA, L. C. V. Estudo comparativo de efetividade e custo das próteses de ATQ utilizando UHMWPE e cabeça femoral de metal e UHMWPE tipo cross-link e cabeça femoral de cerâmica. 2014. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ortopedia e Traumatologia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- GAO, W. et al. The application of 3-D printing in orthopedics. *Bio-Design and Manufacturing*, v. 1, n. 1, p. 34-43, 2018.
- LI, Y.; WANG, H.; LIU, X. 3-D printing for personalized prosthetics and orthotics: A review. *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*, v. 10, n. 3, p. 545-553, 2020.
- LIPSON, H.; KURMAN, M. *Fabricated: The new world of 3-D printing*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2013.
- LIU, X.; MA, P. X. Polymeric scaffolds for bone tissue engineering. *Annals of Biomedical Engineering*, v. 32, n. 3, p. 477-486, 2004.
- MARTELLI, N. et al. Three-dimensional printing in surgery: A review of current surgical applications. *Cirurgia e Cirurgiões*, v. 86, n. 5, p. 384-392, 2018.
- MILANO, C. et al. 3-D printing in cardiology: A review of current applications and future directions. *International Journal of Cardiology*, v. 292, p. 252-259, 2019.
- NAVARRO, M. et al. Biomaterials in orthopaedics. *Journal of the Royal Society, Interface*, v. 5, n. 27, p. 1137-1158, 2008.
- PALMA, M. L. B.; KAPPLER, C. E. Gestão de estoques na cadeia de suprimentos: um estudo de caso em uma indústria de implementos agrícolas. *Revista Gestão Industrial*, v. 11, n. 2, p. 1-16, 2015.
- R3DY. Quando surgiu a impressão 3D. Disponível em: <https://r3dy.com.br/blog/quando-surgiu-a-impressao-3d/>. Acesso em: 25 mar. 2023.
- SILVA, P. C. et al. Impressão 3-D: um guia prático / 3-D Printing: A Practical Guide. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 11, p. 84478-84493, 2020.
- TEN KATE, W. et al. The use of 3-D printing in the rehabilitation of children with upper limb deficiency. *Journal of Children's Orthopaedics*, v. 11, n. 3, p. 214-221, 2017.

TRADUKKA. Conversor de unidades. 1,05 tonelada-força [tonf] para quilonewton [kN]. Disponível em: <https://tradukka.com/unit/force/ton-force-metric/kilonewton/1.05?hl=pt>. Acesso em: 13 ago. 2023.

VIJAYAVENKATARAMAN, S. et al. 3-D bioprinting for organ fabrication and drug testing applications. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, v. 106, n. 6, p. 1481-1491, 2018.

WOHLERS, T.; GORNET, T. History of additive manufacturing. *Wohlers Report*, 2016.

WONG, K. V.; HERNANDEZ, A. A review of additive manufacturing. *ISRN Mechanical Engineering*, 2012.

ZHANG, X. et al. 3-D printing of personalized medicine: A review. *Journal of Personalized Medicine*, v. 7, n. 1, 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Certificado do trabalho aprovado para apresentação junto ao VI Simpósio Internacional de Ciências e Tecnologias em Saúde (VI SICTS/PPGCTS/FCE/UnB):

| | |
|---|---|
|  Universidade de Brasília Decanato de Extensão Secretaria de Administração Acadêmica | <p>CERTIFICADO DE EXTENSÃO</p> <p>Certificamos que, SARAH VALADARES BOMTEMPO, CPF 053.786.281-13, participou da atividade APRESENTAÇÃO DE TRABALHOS, com carga horária de 2 hora(s) e que pertence a Atividade de Extensão VI CTS, promovido pelo(a) FACULDADE DE CEILÂNDIA, na função de PARTICIPANTE, com frequência 100%. Com a seguinte observação: "IMPRESSÃO EM 3-D DO OSSO FÊMUR DE PESSOAS IDOSAS VITIMADAS DE FRATURA" - S.V.Bomtempo; G.PS.Meirelles, L.A.O.Benito. A atividade foi realizada no período de 26 de Setembro de 2023 a 26 de Setembro de 2023.</p> <p>Brasília, 18 de Outubro de 2023</p> <p>OLGAMIR AMANCIA FERREIRA Decana de Extensão</p> <p>Código de verificação: ae76ba5ea4 Número do Documento: 1576893</p> <p>Para verificar a autenticidade deste documento acesse https://sig.unb.br/sigaal/documentos/ e utilize o link Extensão >> Certificado de Participante de Ação de Extensão, informando o número do documento, data de emissão do documento e o código de verificação.</p> |
|---|---|

APÊNDICE B - Certificado de Premiação “Menção Honrosa” do trabalho aprovado para apresentação junto ao VI Simpósio Internacional de Ciências e Tecnologias em Saúde (VI SICTS/PPGCTS/FCE/UnB):




Menção Honrosa

A Universidade de Brasília concede a

Sarah Valadares Bomtempo

e colaboradores, menção Honrosa pela participação no Prêmio Marie Curie pelo trabalho intitulado “**IMPRESSÃO EM 3-D DO OSSO FÊMUR DE PESSOAS IDOSAS VITIMADAS DE FRATURA**” apresentado no VI Simpósio Internacional de Ciências e Tecnologias em Saúde, realizado pela Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias em Saúde da Universidade de Brasília.

Lyabellin Bonil a, 26 de setembro de 2023.

COORDENADORA TITULAR DO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS EM
SAÚDE (FCE/UNB)

PT Cidreiro
MEMBRO DA
COMISSÃO
ORGANIZADORA DO VI
SICTS

APÊNDICE C – Certificado do trabalho aprovado para apresentação junto ao IV Encontro Internacional de Inovação em Saúde, II Feira de Inovação Tecnológica do Distrito Federal (IV INOVATEC):

Acesse <https://doty.com.br/validar-certificado> para verificar se este certificado é válido. Código de validação: 90MH1B0B



CERTIFICADO

Certificamos que **SARAH VALADARES BOMTEMPO** participou do **IV Encontro Internacional de Inovação em Saúde - IV INOVATEC** realizado de 10 a 12 de novembro de 2023 na Arena BRB Mané Garrincha, Brasília, Distrito Federal, Brasil, com carga horária de 20 horas.

Brasília-DF, 13 de novembro de 2023



Dra. Andreanne Gomes Vasconcelos
CEO da People&Science



Dr. José Roberto S. A. Leite
Núcleo de Pesquisa em Morfologia e Imunologia Aplicada (NuPMIA), Faculdade de Medicina, UnB

Realização: 

Apoio: 

Fomento: 



CERTIFICADO

Certificamos que **GUILHERME DE PAULA STORTTI MEIRELLES** participou do **IV Encontro Internacional de Inovação em Saúde - IV INOVATEC** realizado de 10 a 12 de novembro de 2023 na Arena BRB Mané Garrincha, Brasília, Distrito Federal, Brasil, com carga horária de 20 horas.

Brasília-DF, 13 de novembro de 2023

Dra. Andreanne Gomes Vasconcelos
CEO da People&Science

Dr. José Roberto S. A. Leite
Núcleo de Pesquisa em Morfologia e Imunologia Aplicada
(NuPMIA), Faculdade de Medicina, UnB

Realização



Apoio



Fomento



APÊNDICE D – Banner do trabalho aprovado para apresentação junto ao IV Encontro Internacional de Inovação em Saúde, II Feira de Inovação Tecnológica do Distrito Federal (IV INOVATEC):



IMPRESSÃO EM 3-D DO OSSO FÊMUR DE PESSOAS IDOSAS VITIMADAS DE FRATURA
3-D PRINTING OF THE FEMUR BONE OF ELDERLY PEOPLE VICTIMS OF FRACTURE
IMPRESIÓN 3D DEL HUESO DEL FÉMUR DE PERSONAS ANCIANAS VÍCTIMAS DE FRACTURA

Meirelles, GPS¹; Bomtempo, SV²; Benito, LAO³

1.2 - Discentes do Curso de Bacharelado Enfermagem, Centro Universitário de Brasília, CEUB, Brasília, Brasil.

3 - Docente do Curso de Bacharelado Enfermagem, Centro Universitário de Brasília, CEUB, Brasília, Brasil.

INTRODUÇÃO

No ano de 1984, foi criada a primeira impressora 3-D pelo engenheiro norte-americano Dr. Charles Hull (WOHLERS; GORNET, 2016; PALMA; KAPPLER, 2015). Essa tecnologia foi usada na área da Saúde, em 1999 pelo Instituto Wake Forest® que imprimiu e implantou no corpo humano, seu primeiro órgão, ou seja, uma bexiga, desenvolvida a partir das células do próprio receptor e, posteriormente, a literatura científica referência que foram impressos também outros órgãos como rins e uma prótese de perna humana (R3DY, 2020; SILVA, 2021; CALIGNANO, 2017; PALMA; KAPPLER, 2015).

OBJETIVO

Realizar um protótipo impresso no formato 3-D do fêmur, utilizando uma estrutura similar.

METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa classificada enquanto experimental, comparativa, descritiva e de abordagem quanti-qualitativa. Se constituem enquanto etapas da presente pesquisa:

- (1) Aquisição da imagem do objeto a ser impresso no formato 3-D;
- (2) Processo de modelagem;
- (3) Configuração e impressão em 3-D do protótipo;
- (4) Descrição a técnica usada.

Além disso, para a captura e digitalização do fêmur, foi utilizado um scanner manual da marca Sense® 3-D e a impressora foi a GTMAX 3D Core H4, método FDM.

RESULTADOS

Espera-se no final que após o escaneamento e a criação do modelo, o osso possa ser impresso com total sucesso. A partir disso é esperado que exista uma similaridade tanto morfológica quanto fisicamente entre as peças criadas e, com isso, elas também devem ser resistentes aos impactos e à tração, causados pela movimentação da pessoa que a utilize. Espera-se ainda que, seja incentivada a produção e a utilização de estruturas ósseas, feitas por meio da impressão 3-D, por exemplo em cirurgia ortopédicas.

CONCLUSÃO

Estão sendo realizados de testes dos protótipos, objetivando verificar a sua eficiência, eficácia e efetividade para utilização em pessoas idosas vítimas de quedas da própria altura e que derivaram o surgimento de fraturas.

REFERÊNCIAS

- PALMA, F. C.; KAPPLER, A. F. O que é e como funciona uma impressora 3D. [s.l: s.n.].
- SILVA, P. C. et al. IMPRESSÃO 3D: UM GUIA PRÁTICO / 3D PRINTING: A PRACTICAL GUIDE. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 11, p. 84478-84493, 2020.
- TABATA, Y. Biomaterial technology for tissue engineering applications. Journal of the Royal Society, Interface, v. 6Suppl 3, n. suppl_3, p. S311-24, 2009.

* O presente estudo não possui conflitos de interesses.

APÊNDICE E – Comprovante da Mensagem eletrônica encaminhada pela Comissão Organizadora do IV Encontro Internacional de Inovação em Saúde, II Feira de Inovação Tecnológica do Distrito Federal (IV INOVATEC), sobre a publicação do Resumo do trabalho apresentado no BOOK ABSTRACT do Congresso no Journal of Global Innovation (JGI) da Bioprospectum do Parque Tecnológico do Porto (Portugal), volume 5, Issue1, 2024:



1

INOVATEC
IV INTERNATIONAL MEETING
ON HEALTH INNOVATION

**IV International Meeting on Health Innovation
(IV INOVATEC)
II Federal District Technological Innovation
Convention**

November | 10 - 12 | 2023, Brasília, Brazil

People & Science Pesquisa Desenvolvimento e Inovação LTDA, Brazil
Núcleo de Pesquisa em Medicina Tropical da Faculdade de Medicina da
Universidade de Brasília (NMT/FM-UnB), Brazil
Núcleo de Pesquisa em Morfologia e Imunologia Aplicada da Faculdade
de Medicina da Universidade de Brasília (NuPMIA/FM-UnB), Brazil

APÊNDICE F – Comprovante da Mensagem eletrônica encaminhada pela Comissão Organizadora do IV Encontro Internacional de Inovação em Saúde, II Feira de Inovação Tecnológica do Distrito Federal (IV INOVATEC), sobre a publicação do Resumo do trabalho apresentado no BOOK ABSTRACT do Congresso no Journal of Global Innovation (JGI) da Bioprospectum do Parque Tecnológico do Porto (Portugal), volume 5, Issue1, 2024:



IV ENCONTRO INTERNACIONAL
DE INOVAÇÃO EM SAÚDE

II FEIRA DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA DO
DISTRITO FEDERAL

Brasília-DF | Brasil

PP.5

Impressão tridimensional, osso e ossos, fêmur, fraturas do fêmur, idoso.

Meirelles, G. P.S¹, Bomtempo, S.V², Benito, L.A.O²

RESUMO

Introdução: A criação da impressora 3-D foi um marco importante na história da tecnologia, sendo creditado ao engenheiro norte-americano Dr. Charles Hull inventar a primeira impressora 3-D em 1984. Essa tecnologia está em constante evolução, criando objetos cada vez mais complexos e individualizados, sendo que o método mais utilizado é o FDM, sendo possível criar órgãos, ossos e outras estruturas corporais. Objetivo: Realizar um protótipo impresso no formato 3-D do fêmur. Método: Pesquisa experimental, comparativa, descritiva e quantiquantitativa. Se constituem enquanto etapas da pesquisa, (1) Aquisição da imagem do objeto a ser impresso no formato 3-D; (2) Processo de modelagem com um software; (3) Configuração e impressão em 3-D do protótipo e (4) Descrição a técnica usada. Além disso, para a captura e digitalização do fêmur, foi utilizado um scanner manual da marca Sense® 3-D e a impressora foi a GTMAX 3D Core H4, método FDM. Resultados: Foi realizada impressão 3-D do fêmur, sendo iniciada a realização de testes, objetivando verificar a sua eficiência, eficácia e efetividade para utilização em pessoas idosas. Conclusão: A impressão do fêmur, necessita de realização de outros testes, objetivando avaliar a sua utilização cotidiana em pessoas idosas vitimadas de quedas da própria altura.

POSTER PRESENTATION | Applied Biotechnology to Health

77

76

Journal of Global Innovation 2024, 1(1) ISSN: 2184-7738

APÊNDICE G – Primeiro artigo publicado na formar de Editorial, do projeto de pesquisa de iniciação científica, possuidora do título “Proposta de impressão em 3-D do osso fêmur de pessoas idosas vitimadas de fratura: Considerações preliminares”.

Proposta de impressão em 3-D de ossos de pessoas idosas vitimadas de fratura: Considerações preliminares

Proposal for 3-D printing of bones from elderly people suffering from fractures: Preliminary considerations

Propuesta de impresión 3D de huesos de personas mayores con fracturas: Consideraciones preliminares

Guilherme de Paula Storti Meirelles¹, Sarah Valadares Bomtempo², Fabrício Werner Brenneke Martins³, Cassiana Marinho Melo⁴, Lincoln Agudo Oliveira Benito⁵, Izabel Cristina Rodrigues da Silva⁶

Como citar: Meirelles GPS, Bomtempo SV, Martins WB, Melo CM, Benito LAO, Silva ICR. Proposta de impressão em 3-D de ossos de pessoas idosas vitimadas de fratura: Considerações preliminares. REVISA.2024;13(1): 12-23. Doi: <https://doi.org/10.36239/revisa.v13.n1.p12a23>

REVISA

1. Centro Universitário de Brasília, Brasília, Distrito Federal, Brasil. <https://orcid.org/0009-0003-4651-2482>

2. Centro Universitário de Brasília, Brasília, Distrito Federal, Brasil. <https://orcid.org/0009-0005-2232-9215>

3. Centro Universitário de Brasília, Brasília, Distrito Federal, Brasil. <https://orcid.org/0000-0002-0914-6355>

4. Centro Universitário de Brasília, Brasília, Distrito Federal, Brasil. <https://orcid.org/0009-0001-1529-6946>

5. Centro Universitário de Brasília, Brasília, Distrito Federal, Brasil. <https://orcid.org/0000-0001-8624-0176>

6. Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias em Saúde, Brasília, Distrito Federal, Brasil. <https://orcid.org/0000-0002-6836-3583>

Recebido: 23/07/2024
Aprovado: 27/09/2024

No ano de 1984, foi criada a primeira impressora do tipo 3-D pelo engenheiro de origem norte-americana, Dr. Charles Hull, sendo que, antes disso, mais especificamente a quatro (04) anos, o japonês Dr. Hideo Kodama, desenvolveu a técnica de estereolitografia, que consistia em uma prototipagem rápida, possuindo enquanto intuito, “criar” objetos usando para este intento, luz ultravioleta (UV), ou ainda, um projetor para endurecer uma resina do tipo líquida em plástico sólido e resistente, ficando posteriormente conhecida como a sigla SLA.^{1,2} Após dois (02) anos, em 1986, Hull patenteou a SLA e, com isso, ele teve a oportunidade de desenvolver a “3-D Systems Corp”, presente até hoje, sendo está uma das maiores empresas do ramo e, desta forma, o primeiro objeto então escolhido pelo Dr. Hull para ser impresso, foi uma lâmpada feita com resina, um plástico sintético.^{1,2}

Já em 1989, a primeira impressora 3-D já estava no mercado há pelo menos um (01) ano, quando sua principal concorrente foi criada, a 3D Modeler e, desta forma, o Dr. Scott Scrup por sua vez, utilizou um sistema chamado de “FDM”, sendo ele, o método mais empregado atualmente.^{3,4,5} Este importante método, tinha a possibilidade de produzir objetos por sobreposição, sendo que os seus materiais utilizados, variavam desde resinas, cerâmicas e plásticos, até mesmo “tecidos humanos” e ainda, alguns tipos de alimentos de consumo humano.^{4,5}

Meirelles GPS, Bomtempo SV, Benito LAO

Nesse contexto analítico, é possível defender que, o seu tempo de produção, comparado ao processo de estereolitografia, era bem mais lento, dependendo principalmente do objeto que iria ser impresso.^{3,5} Já na década de 90, muitos métodos já haviam sido criados e, para adquirir uma impressora do tipo 3-D, era necessário desembolsar um valor em torno de um (01) milhão de dólares, se limitando a adoção da tecnologia por grandes instituições, ou ainda, empresas e, na mesma época, pesquisas médicas e da área da saúde acerca da criação de próteses de membros de órgãos humanos pela impressora 3-D, foram iniciadas independentemente do valor que seria gasto.^{3,5,6}

Com isso, no ano de 1999, o “*Instituto Wake Forest®*”, imprimiu e implantou no corpo humano, seu primeiro órgão, ou seja, uma bexiga, sendo que ela foi desenvolvida, a partir de células do próprio receptor, apresentando assim, uma frequência menor ou ainda, relativamente inexistente de rejeição à própria pessoa.^{3,6} Já por volta do ano de 2000, a criação de objetos pela impressora 3-D foi facilitada, conseqüentemente, um rim foi criado, por meio do método “*fused deposition modeling*” (FDM) e, desta forma, após cinco (05) anos mais tarde, o Dr. Adrian Brower desenvolveu um projeto conhecido enquanto “*RepRap*”, que possuía enquanto objetivo, realizar uma impressora que se “auto construiria”, ou também, grande parte de suas peças.^{2,5,6}

É importante destacar que, esse objetivo foi concretizado quando, em 2008 a impressora conhecida enquanto “*Darwin*”, foi a primeira máquina a ser capaz de se auto replicar, democratizando o acesso à essa importante tecnologia.^{1,4,5,6} Nesse mesmo ano de 2008, foi feita a primeira prótese de uma perna humana, com total sucesso e, em 2013, durante seu auge, o primeiro transplante (Tx) de rim, foi realizado com o auxílio de uma máquina tridimensional (3-D), despertando assim, uma nova linha de produção, capaz de modificar o rumo de toda área da saúde e da biotecnologia.^{2,4,5,6}

Desta forma, e até o ano de 1950, várias foram às formas tecnológicas desenvolvidas, como por exemplo, a televisão, o telefone, sendo esse processo de produção tecnológico conhecido enquanto a quarta (4ª) revolução, que teve como principal característica constitutiva, os processos autônomos, digitalizados e integrados, suportados por diversas tecnologias, chamadas enquanto “pilares” da indústria.^{4,5,7} De forma, os meios de inovação tecnológica e de inovação, vêm aumentando consideravelmente nos últimos anos e, essas importantes mudanças e transformações, fizeram com que os usuários, tivessem que se adaptar a esses métodos, os tornando de forma geral, mais eficientes e eficazes no seu trabalho.^{4,5,6,7}

Na área médica e da biotecnologia, a impressão 3-D vem sendo fortemente utilizada para fabricar implantes customizados, próteses, modelos médicos e muitos outros dispositivos e, com isso, essa tecnologia vai oferecer produtos de “*healthcare*” individualizados, sendo eles capazes de ajudar a saúde, bem-estar e a qualidade de vida (QV) de todas às pessoas.^{5,6,7,8} Nesse contexto, é importante destacar que o princípio básico da impressão 3-D, e a geração de objetos por meio da adição de material(is), no formato do tipo “camada por camada”.^{3,4,6,7,8}

Desta forma, são apresentadas as respectivas etapas de produção de objetos e estruturas, por meio das impressoras 3-D, sendo elas:

Meirelles GPS, Bomtempo SV, Benito LAO

Tabela 01 – Produção de objetos e estruturas, por meio da impressão 3-D:^{3,7,8}

| Etapa | Ações |
|----------|--|
| 1ª Etapa | A construção de objeto “camada-por-camada”; |
| 2ª Etapa | A geração de modelo de malha STL; |
| 3ª Etapa | O pós-processamento e acabamento; |
| 4ª Etapa | A geração de camadas e planejamento de fabricação; |
| 5ª Etapa | A modelagem computacional no formato 3-D. |

Fonte: Adaptado pelos autores, 2023.

Nesse contexto, a criação de modelos computacionais no formato 3-D, são executados por computadores do tipo CAC, que auxiliam no processo de desenho e na criação dos projetos.^{3,7,8,10} Desta forma, para se produzir às impressões, um dos métodos utilizados para a produção é o por camadas e, conseqüentemente, os materiais mais escolhidos são os arquivos mais leves, chamados de “modelos de malha”.^{3,7,8,10}

É de fundamental importância lembrar que, o “projetista” ou “designer”, necessita especificar o tamanho correto e a escala da malha, para que o objeto tenha sucesso no processo de impressão e, caso ocorra algum erro na medida, o objeto poderá manifestar, por exemplo, erros em sua forma constituinte.^{3,8,10} Além disso, estes importantes modelos, também proporcionam restrições à variação geométrica, muito superior aos modelos nativos de programas CAD, expondo defeitos na falta ou a redução de alguma fase.^{3,8,10}

Já em relação aos métodos de impressão, podem ser citados a estereolitografia (SLA), o método Modelagem por Fusão e Deposição (FDM), o método Sinterização a laser seletiva (SLS) e o método Sinterização a laser de metal direta (DMLS).^{3,4,8,10} Desta forma, o método SLA é utilizado enquanto referência para produção de moldes e de protótipos, sendo que o seu tempo de impressão é curto e, às peças têm uma boa qualidade em sua finalização e, além disso, a impressora não requer funcionários altamente experientes para sua manipulação, sendo está a sua principal vantagem.^{4,5,6,7,9}

Em contrapartida, esse importante método, tem um maior custo financeiro e, suas peças, são mais frágeis em relação à luz e sua disponibilização de materiais, além de ser menor em comparação aos outros métodos.^{4,5,9,7,9} Seu meio de produção é baseado na utilização da resina do tipo líquida para a sua impressão, sendo que a plataforma de construção, é submersa na resina e, em seguida, polimerizada por uma luz do tipo ultravioleta (UV), e desta forma, esse laser é usado para firmar a primeira camada da estrutura que será impressa de forma tridimensional.^{11,12,13}

Em seguida, a plataforma é inserida novamente na resina, repetindo assim várias vezes esse processo, até chegar no final e, em seguida, o modelo é retirado da resina e lavado, sendo introduzido em uma câmara com radiação UV e subordinado a uma cura completa, apresentando no final, uma aparência classificada enquanto translúcida.^{9,11,12,13,14} Já em relação ao método “*Selective Laser Sintering*” (SLS), são produzidos objetos em 3-D, pelo processo de nivelamento de camadas semelhantes por polímeros em pó e, quando se inicia essa atividade de formar a camada, ela irá se solidificar com a ocorrência de um laser de dióxido de carbono (CO²) e, colocada em um cilindro para resfriar, até um nível abaixo do seu ponto de derretimento.^{14,15,16,17}

Após a produção de diversas camadas, elas são conectadas quimicamente entre si, por meio do calor do *laser*, sendo que, uma de suas vantagens é a

Meirelles GPS, Bomtempo SV, Benito LAO

disponibilidade de materiais compostos principalmente de poliamida (PA), poliestireno (PS), elastômeros termoplásticos (TPE), cerâmicas e metal com polímeros aglutinantes para aplicações em ferramenta leve.^{12,13,15,16,17} Desta forma e, apesar do seu custo elevado, o modelo é resistente mecanicamente e termicamente e, sendo assim, esse método é utilizado para fabricar modelos anatômicos específicos, por polímeros e engenharia de tecidos, além de protótipos e peças para indústrias e moldes.^{15,16}

É possível citar também o *Fused Deposition Modeling* (FDM) que, além de ser a segunda (2ª) técnica mais utilizada, traz diversas vantagens, como por exemplo, menor custo de produção, uma maior disponibilidade de materiais necessários, e também, menor desperdício de material, proporcionando a sua maior economia.^{11,12,13,15,18} Mesmo assim, esse método apresenta a mais baixa qualidade final, quando comparado com os outros métodos e, dessa forma, necessita de um acabamento manual.^{13,16,17,18,19,20}

Este processo, coloca um fio de material derretido, geralmente de um filamento de plástico, podendo ser configurado um valor em porcentagem (%) do preenchimento do material, variando de 10% a 100%, sobre uma mesa com o uso de um “bocal móvel”.^{11,14,15,18,19,22} Desta forma, a matéria-prima deve ser aquecida a uma temperatura pouco acima de seu ponto de fusão dentro do bico, depois, expelido através de um cabeçote para um substrato e, resfriado até solidificar e formar uma camada, sendo que, existem também, cabeçotes de materiais para suporte, que é retirado pelo processo de limpeza ao final do processo.^{11,12,13,18,19,22}

Conforme apontado por vários pesquisadores, esses passos se repetem até que o produto final seja concluído, sendo que a velocidade pode atingir um limiar de aproximadamente 180mm/s e, desta forma, os avanços foram feitos na pesquisa, para incluir o uso de um sistema do tipo “multi-bico”, onde, cada bocal, deposita um material diferente para fabricar objetos com novas características.^{2,5,10,17,18,22} Os materiais mais utilizados nesse processo são o acrilonitrilo butadieno-estireno (ABS), o ácido polilático (PLA), o poliestireno de alto impacto (HIPS), o policarbonato (PC), a poliamida (PA) e a polifenilsulfona (PC-ABS e PC-ISO).^{2,5,11,17,18,21,22,24}

Esse importante método, serve principalmente para fabricar protótipos e moldes e na engenharia de tecidos humanos, além de imprimir peças por meio de polímeros.^{2,5,21,22,23,24} Por outro lado, o processo de prototipagem do tipo DMLS, se constitui enquanto uma excelente ferramenta, para o processo de construção de implantes.^{21,22,23,24}

O material utilizado para esse método de impressão em 3-D, é um conjunto de pós-metálicos e, geralmente, esse método é utilizado na área médica e de bioengenharia, para implantes, próteses e na área de defesa/aeroespacial, servindo para a criação de motores e armamentos bélicos.^{21,22,23,24,26} As principais desvantagens desse método são, a elevada temperatura, risco de impurezas no metal derretido e o tempo de processamento, que pode levar mais de 12 horas (h), independentemente do tamanho da peça.^{20,21,22,23,24,25,26}

É utilizado um *laser* de alta intensidade para sintetizar uma mistura de vários tipos de pós-metálicos, sem ajuda de aglutinantes, em um objeto de metal sólido dentro da câmara aquecida e controlada por gás e, com isso, o calor do laser irá derreter o material com menor ponto de fusão, criando uma “molhabilidade” adequada entre às ligas metálicas que será espalhada por um rolo ou um raspador, em cada movimento vertical da máquina.^{23,24,25} E ao final,

Meirelles GPS, Bomtempo SV, Benito LAO

a peça desejada que foi constituída, é possível modificar o processo de fabricação mudando a força do laser, a velocidade do rolo ou a estratégia de construção.^{24,25,27,28}

Esse método é capaz de reduzir, por exemplo, o tempo da realização de procedimentos cirúrgicos e, também, criar próteses com menor grau de rejeição.^{22,23,24,27,28} Essa tecnologia, vêm sendo utilizada na medicina regenerativa, processos que envolvem sistemas biológicos e de estudos farmacocinéticos, onde, apesar dos múltiplos avanços tecnológicos, esse processo ainda sofre com o alto custo de produção e de peças resistentes, fazendo com que seu uso seja ainda bem restrito.^{27,28,29,30}

A impressão do tipo 3-D, pode ser usada em diversas áreas e, entre elas, podem ser citadas a medicina fetal, onde, os profissionais médicos, utilizam essa tecnologia para fazer um modelo do feto, durante o processo natural de gestação, podendo assim, facilitar o diagnóstico de má formação congênita e ainda, certas características físicas.^{28,29,30,31} Segundo alguns pesquisadores, é utilizado também, na área de engenharia de tecidos, às células do organismo de um doador, com o propósito de permitir à reconstrução do tecido *in vitro*.^{28,29,30,31}

Outro meio de utilização é a impressão de modelos anatômicos para servirem de base para estudos em colégios, faculdades, centros tecnológicos e universidades, e por fim, pode ser usada para imprimir cartilagens, órgãos e ajudar na área da cardiologia, imprimindo válvulas do coração e de outros órgãos, diminuindo assim o tempo da fila de Tx de órgãos e de estruturas corporais.^{29,30,31,32} Porém, esse último necessita um método de desenvolvimento mais complexo, porém, os avanços estão acontecendo cada vez mais rapidamente.^{27,28,29,30,31,32}

Diversas áreas da medicina e da bioengenharia, em especial de várias cirúrgicas do tipo ortopédicas, estão realizando cada vez mais fortemente, o uso da manufaturas aditivas de modelos anatômicos e morfológicos, de implantes personalizados, guias de corte e de perfuração, órteses e próteses.^{29,30,33,34,35,38} Esse importante processo, está permitindo desta maneira, o melhor e mais eficiente planejamento pré-operatório e de forma mais acurada, conhecida mais comumente enquanto *Virtual Surgical Planning* (VSP), ou seja, a simulação de cirurgias com treinamento da equipe, para a melhor comunicação inclusive com o paciente.^{29,30,31,32,33,38}

Essa opção é melhor para o paciente, ou até para os órgãos públicos de várias maneiras, como por exemplo, financeiramente.^{32,33,35,36} Desta forma, o custo médio de um tratamento cirúrgico para fratura identificada no osso fêmur, é de aproximadamente R\$ 39.160,75, contando que a prótese custe por volta de R\$ 3.556,17 e, já o modelo em impressão 3-D, possui um preço muito mais acessível, além de ser mais rapidamente produzido para sua utilização.^{35,36}

Até o ano de 2025, segundo a OMS, a República Federativa do Brasil se constituirá enquanto o sexto (6º) país do mundo em número de pessoas idosas e, desta forma, conforme elas vão envelhecendo, às doenças crônicas não-transmissíveis (DCNTs) se transformam nas principais causas que facilitam o processo de morbidade, incapacidade e mortalidade em todas as regiões do mundo.^{30,34,35,37,38,39} Uma das principais doenças que acomete às pessoas idosas é a cardiovascular, como por exemplo, a estenose aórtica (EA), a qual a mesma possui um impacto significativo na mortalidade e qualidade de vida (QV) deles, avançando entre aproximadamente 2% a 5% desses pacientes.^{25,30,34,35,37,39}

A partir do início da doença e, segundo alguns pesquisadores, o paciente

Meirelles GPS, Bomtempo SV, Benito LAO

teria em média de 2 a 3 anos se não for corrigido com substituição da valva aórtica.^{34,36,38,39,40} Os modelos em 3-D, apresentam vantagens sobre os espécimes em termos de custo financeiro, facilidade de reprodutibilidade e conservação/armazenamento e, nesse sentido, prevendo também, às possíveis incompatibilidades e, fornecendo técnicas viáveis e não invasivas, auxiliando na visualização da anatomia cardíaca, além de fornecer informações preciosas para se preparar um procedimento mais seguro, livre de riscos e eficaz.^{34,26,37,40,41,42}

A startup "*Biolife 4D*", já é capaz de imprimir partes de músculos cardíacos, permitindo a recuperação de insuficiência cardíaca aguda (ICA), e também, fabricando um "adesivo cardíaco", que melhora a contração da "bomba cardíaca humana", após um caso de ataque cardíaco e válvulas mitrais com funcionamento comprometido, além, da válvula aórtica e enxertos com diâmetro menor, que podem prevenir a formação de coágulos no seio coronário.^{40,41,42} Uma das principais vantagens da utilização da impressão 3-D observada, é o auxílio a pessoas com doenças do tipo músculo-esqueléticas, desenvolvendo desta forma, próteses e também, podendo ser gerada a impressão do próprio osso fraturado, devido por exemplo, o desenvolvimento de uma doença no fêmur, na tíbia e na articulação coxo-femoral.^{41,42,43}

Desta forma, é possível evidenciar o grande quantitativo de pessoas idosas, que já tiveram algum tipo de fratura no fêmur ou em alguma parte dos membros inferiores (MMSS) e, posteriormente, foram internadas, sendo viável registrar, segundo apontado por alguns pesquisadores, mais de 322.817 pacientes durante o período de 2015 a 2020.^{40,41,43} Nesse contexto, é possível contabilizar aproximadamente trinta mil (30.000) casos por ano de internações no Sistema Único de Saúde (SUS), devido ao desenvolvimento de fraturas de fêmur, custando aproximadamente a bagatela de cinquenta e oito milhões de reais (R\$ 58.000.000,00) para os cofres públicos.^{40,41,42,43}

A partir disso, é possível deduzir que a impressora 3-D e suas utilizações no setor hospitalar, se tornam um dos fatores determinantes que podem contribuir, para o melhor e mais harmonioso processo para essas pessoas, no que se refere ao envelhecimento ativo da população, trazendo para essas pessoas mais QV, saúde e autonomia.^{41,42,43} Para se produzir uma determinada estrutura corporal humana em uma impressora 3-D, é cobrado o valor dos materiais que serão utilizados, tudo depende de sua forma, de seu tamanho, do tempo de produção, da qualidade da produção e, se o objeto é oco ou não.^{39,40,41,42,43,44}

De acordo com o site da "*MakerBot*", um quilograma (kg) de filamento de plástico do tipo PLA, custa em média US\$ 65 e, já no Brasil, é possível encontrá-lo no site da "*Amazon*" por aproximadamente R\$ 135,00, sendo que, para outros métodos, como por exemplo, o de estereolitografia, o custo é maior, sendo vendida a resina líquida em média por cerca de R\$ 300,00 o litro (l), aproximadamente.^{34,35,36,39,40,41,43,44} Em um importante estudo desenvolvido pela consultoria da "*Markets and Markets*", até o ano de 2025, o mercado mundial das impressões 3-D deve atingir um montante de aproximadamente US\$ 42,9 bilhões, com um crescimento médio de 23,3%, entre os anos de 2018 e 2025.^{34,45}

No campo da saúde, o valor dos materiais, os conhecidos "biomodelos", podem ser adquiridos por cerca de R\$ 3.000,00 a R\$ 4.000,00, entretanto, se o intento é a compra de "células tronco", para a criação ou reparação completa de órgãos, o preço é muito maior, passando próximo dos R\$ 2.000.000,00.^{34,46} Porém, com o desenvolvimento da tecnologia e, das novas formas de "criação", é possível observar uma queda significativa do seu valor financeiro, portanto, em

Meirelles GPS, Bomtempo SV, Benito LAO

um futuro próximo, a presença desse equipamento, vai se tornar cada vez mais frequente, no ambiente doméstico e, quem sabe, se configurar enquanto um eletrônico tão necessário quanto uma impressora do tipo 2-D.^{34,46,47,48}

Os EUA foram os pioneiros no campo da impressora 3-D e, devido a isso, os principais métodos surgiram do mesmo, além disso, foram eles que começaram a usar essa tecnologia na área da saúde e biotecnológica e, por conta desta questão, eles possuem a maior capacidade de produção, também, os produtos e matérias-primas, são bem mais acessíveis.^{34,47,49} Mesmo assim, o Japão e a Alemanha, também tiveram grande influência no ramo de impressão 3-D, sendo que no primeiro, pesquisadores da *Osaka University* (大阪大), ou Universidade de Osaka, conseguiram realizar um Tx de coração, utilizando para esse intuito, células-tronco para o desenvolvimento de um coração.^{46,47,49,50,51}

Em contrapartida, a Alemanha conseguiu desenvolver um prédio inteiro de dois (2) andares de 160 m², construído por meio de uma impressora 3-D, mostrando desta forma, o alto desenvolvimentos desses países na temática em questão.^{46,47,49,52} O aumento de tratamento de doenças e também, a criação de novos medicamentos, aumentaram a expectativa de vida da população em geral e, com isso, às DCNT se tornaram um problema de saúde pública, tanto nacionalmente quanto internacionalmente, e desta forma, é possível citar às doenças cardiovasculares, às neoplasias malignas, às doenças ósseas e às respiratórias do tipo crônicas.^{48,49,52,53}

Devido a esse complexo fenômeno, o Sistema Único de Saúde (SUS), representado pelas suas inúmeras instituições de saúde, se encontra num verdadeiro “super loteamento” e “sobrecarga”, no que se refere ao quantitativo de pacientes, que necessitam de vários procedimentos em saúde, como por exemplo, Tx de órgãos e tecidos sólidos.^{48,50,51,52,53} Desta forma, a quantidade de órgãos disponíveis para realização de Tx, não se equipara à demanda existente na atualidade, conforme apontado por alguns pesquisadores e especialistas deste assunto.^{48,50,51,52}

Neste contexto analítico e, objetivando reduzir os impactos diretos e indiretos gerados por este problema de saúde pública, uma proposta a ser analisada, é a bioengenharia na impressão destes tecidos, órgãos e estruturas corporais, capaz de mitigar esta complexa questão de saúde pública.^{48,49,50,51,52} A partir da utilização da impressão 3-D, será possível desenvolver estruturas ósseas e replica órgãos, capazes de substituir futuramente às peças naturais e, contribuir para a resolução desta “questão” tão emergente de saúde pública, como defendido anteriormente, que tanto aflige a população mais vulnerabilizada.^{49,50,51,52,53} Por esses motivos, é de extrema importância se prestar atenção nessa complexa e importante tecnologia, capaz de grandes realizações, existindo a necessidade de se melhor estudá-la e de conhecê-la, objetivando que ela se torne uma metodologia de fácil acesso e, que ajude a melhorar a QV de pacientes e das futuras gerações.^{50,51,52,53} O tecido ósseo está em permanente remodelação e, sua massa constituinte total, depende da relação de equilíbrio existente entre a sua formação e da reabsorção de sua matriz óssea.^{44,46,50,51,52,53}

O principal problema das conhecidas doenças ósseas e do processo de envelhecimento, se dá pela reduzida ou ineficiente formação dessa matriz, e também, pela baixa formação da mesma, onde, doenças como a osteoporose, vem aumentando sua presença consideravelmente na população, e também, pelos riscos de fraturas ósseas, e com isso, este é um meio para se substituir ou reparar uma estrutura utilizando esta nova tecnologia.^{49,50,51,52,53}

Meirelles GPS, Bomtempo SV, Benito LAO

um futuro próximo, a presença desse equipamento, vai se tornar cada vez mais frequente, no ambiente doméstico e, quem sabe, se configurar enquanto um eletrônico tão necessário quanto uma impressora do tipo 2-D.^{34,46,47,48}

Os EUA foram os pioneiros no campo da impressora 3-D e, devido a isso, os principais métodos surgiram do mesmo, além disso, foram eles que começaram a usar essa tecnologia na área da saúde e biotecnológica e, por conta desta questão, eles possuem a maior capacidade de produção, também, os produtos e matérias-primas, são bem mais acessíveis.^{34,47,49} Mesmo assim, o Japão e a Alemanha, também tiveram grande influência no ramo de impressão 3-D, sendo que no primeiro, pesquisadores da *Osaka University* (大阪大), ou Universidade de Osaka, conseguiram realizar um Tx de coração, utilizando para esse intuito, células-tronco para o desenvolvimento de um coração.^{46,47,49,50,51}

Em contrapartida, a Alemanha conseguiu desenvolver um prédio inteiro de dois (2) andares de 160 m², construído por meio de uma impressora 3-D, mostrando desta forma, o alto desenvolvimentos desses países na temática em questão.^{46,47,49,52} O aumento de tratamento de doenças e também, a criação de novos medicamentos, aumentaram a expectativa de vida da população em geral e, com isso, às DCNT se tornaram um problema de saúde pública, tanto nacionalmente quanto internacionalmente, e desta forma, é possível citar às doenças cardiovasculares, às neoplasias malignas, às doenças ósseas e às respiratórias do tipo crônicas.^{48,49,52,53}

Devido a esse complexo fenômeno, o Sistema Único de Saúde (SUS), representado pelas suas inúmeras instituições de saúde, se encontra num verdadeiro “super loteamento” e “sobrecarga”, no que se refere ao quantitativo de pacientes, que necessitam de vários procedimentos em saúde, como por exemplo, Tx de órgãos e tecidos sólidos.^{48,50,51,52,53} Desta forma, a quantidade de órgãos disponíveis para realização de Tx, não se equipara à demanda existente na atualidade, conforme apontado por alguns pesquisadores e especialistas deste assunto.^{48,50,51,52}

Neste contexto analítico e, objetivando reduzir os impactos diretos e indiretos gerados por este problema de saúde pública, uma proposta a ser analisada, é a bioengenharia na impressão destes tecidos, órgãos e estruturas corporais, capaz de mitigar esta complexa questão de saúde pública.^{48,49,50,51,52} A partir da utilização da impressão 3-D, será possível desenvolver estruturas ósseas e replica órgãos, capazes de substituir futuramente às peças naturais e, contribuir para a resolução desta “questão” tão emergente de saúde pública, como defendido anteriormente, que tanto aflige a população mais vulnerabilizada.^{49,50,51,52,53} Por esses motivos, é de extrema importância se prestar atenção nessa complexa e importante tecnologia, capaz de grandes realizações, existindo a necessidade de se melhor estudá-la e de conhecê-la, objetivando que ela se torne uma metodologia de fácil acesso e, que ajude a melhorar a QV de pacientes e das futuras gerações.^{50,51,52,53} O tecido ósseo está em permanente remodelação e, sua massa constituinte total, depende da relação de equilíbrio existente entre a sua formação e da reabsorção de sua matriz óssea.^{44,46,50,51,52,53}

O principal problema das conhecidas doenças ósseas e do processo de envelhecimento, se dá pela reduzida ou ineficiente formação dessa matriz, e também, pela baixa formação da mesma, onde, doenças como a osteoporose, vem aumentando sua presença consideravelmente na população, e também, pelos riscos de fraturas ósseas, e com isso, este é um meio para se substituir ou reparar uma estrutura utilizando esta nova tecnologia.^{49,50,51,52,53}

Meirelles GPS, Bomtempo SV, Benito LAO

Agradecimentos

À Fundação de Ensino e Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF), pelo apoio disponibilizado na forma de fomento, em Parceria com o Centro Universitário de Brasília (CEUB), pelo Programa de Iniciação Científica (PIC-PIBIC-2023-2024). A Assessoria de Pós-graduação e Pesquisa do CEUB, por todo apoio, dedicação e auxílio na resolução de questões emergentes.

Referências

1. Wohlers T, Gornet T, Mostow N, Campbell I, Diegel O, Kowen J, et al. History of Additive Manufacturing. Wohlers Report 2016-2022, Doi: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4474824>.
2. Stoof D, Pickering K. 3D Printing of Natural Fibre Reinforced Recycled Polypropylene. Available in: [<https://researchcommons.waikato.ac.nz/bitstream/handle/10289/11095/3D.pdf?isAllowed=y&sequence=8>]. Access at: 02 oct 2023.
3. Cunico MW. Impressoras 3-D: O novo meio produtivo. Concep3D Pesquisas Científicas. Curitiba, 2018. 114p.
4. Silva AL. Impressão 3-D: Análise da evolução e seus impactos no mundo científico. Rev. FSA. 2021; 18(11):124-144. Doi: <http://dx.doi.org/10.12819/2021.18.11.6>.
5. Calignano F, et al. Overview on additive manufacturing technologies. Proceedings of the IEEE. 2017;105(4):593-612. Doi: [10.1109/JPROC.2016.2625098](https://doi.org/10.1109/JPROC.2016.2625098).
6. R3DY. Quando surgiu a impressão 3D. Disponível em: [<https://www.r3dy.com.br/historia-da-impressao-3d/>]. Acesso em: 25 mar. 2023.
7. Pou J, Riveiro A, Davim JP. Additive manufacturing: Handbooks in advanced manufacturing. Elsevier, 2021. 741p.
8. Dodziuk H. Applications of 3D printing in healthcare. Kardiochirurgia i torakochirurgia polska. 2016;13(3): 283-293. Doi: [10.5114/kitp.2016.62625](https://doi.org/10.5114/kitp.2016.62625).
9. Roskam J, Lan CTE. Airplane aerodynamics and performance. DARcorporation: Kansas, 2003. 711p.
10. Ondrusch B. Como funciona uma impressora 3D FDM? Disponível em: [<https://www.wishbox.net.br/blog/como-funciona-uma-impressora-3d-fdm/>]. Acesso em: 20 mar. 2023.
11. Revilla-León M, Özcan M. Additive manufacturing technologies used for processing polymers: current status and potential application in prosthetic

Meirelles GPS, Bomtempo SV, Benito LAO

dentistry. *J Prosthodont*. 2019;28(2):146-158. Doi: [10.1111/jopr.12801](https://doi.org/10.1111/jopr.12801).

12. Bogue R. 3D printing: the dawn of a new era in manufacturing? *Assembly Automation*. 2013;33(4):307-311. Doi: [10.1108/AA-06-2013-055](https://doi.org/10.1108/AA-06-2013-055).

13. Huang SH, Liu P, Mokasdar A, Hou L. Additive manufacturing and its societal impact: a literature review. *Int J Adv Manuf Technol*. 2013;67:1191-1203. Doi: [10.1007/s00170-012-4558-5](https://doi.org/10.1007/s00170-012-4558-5).

14. Gorni AA. Introdução à prototipagem rápida e seus processos. *Revista Plástico Industrial*. 2001. 230-239. Disponível em: [<http://www.gorni.eng.br/protrap.html>]. Acesso em: 03 out. 2023.

15. Rodrigues LFB. Análise do aproveitamento de polímeros recicláveis para obtenção de filamentos para impressora 3D. Monografia (Especialização Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos) – Centro de Tecnologia, Universidade Aberta do Brasil, Universidade Federal de Santa Maria. Panambi, Rio Grande do Sul. 2017. 43p.

16. Mazzoli A. Selective laser sintering in biomedical engineering. *Med Biol Eng Comput*. 2013;51:245-256. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11517-012-1001-x>.

17. Grimm T. User's guide to rapid prototyping. Society of Manufacturing Engineers, 2004. 404p.

18. Silva PC, *et al.* impressão 3D: um guia prático. *Brazilian Journal of Development*. 2020;6(11):84478-84493. Doi: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-021>.

19. Veit DR. Impactos da manufatura aditiva nos sistemas produtivos e suas repercussões nos critérios competitivos. 2018. Tese - (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018. 350p.

20. Wong KV, Hernandez A. A review of additive manufacturing. *International Scholarly Research Network, ISRN Mechanical Engineering*. 2012;1-10. Doi: <https://doi.org/10.5402/2012/208760>.

21. Raulino BR. Manufatura aditiva: desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida baseada na tecnologia FDM (modelagem por fusão e deposição). 2011. 142f., il. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecatrônica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

22. Volpato N. Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações. Blucher, 2007. 272p.

23. Bertol LS, Júnior W, Silva F, Aumund-Kopp C. Medical design: Direct metal laser sintering of Ti-6Al-4V. *Materials & Design*. 2010;31(8): 3982-3988. Doi: [10.1016/j.matdes.2010.02.050](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.02.050).

24. Zein I, Huttmacher DW, Tanc KC, Teoh SH. Fused deposition modeling of

Meirelles GPS, Bomtempo SV, Benito LAO

novel scaffold architectures for tissue engineering applications. *Biomaterials*. 2002;23(4):1169-1185. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(01\)00232-0](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(01)00232-0).

25. Domrösea R, Grünbergerb T. Lasers in Manufacturing Conference 2015. Identification of process phenomena in DMLS by optical in-process monitoring. 2015. 7p. Available in: [<https://translate.google.com/?sl=pt&tl=en&text=Dispon%C3%ADvel%20em%20&op=translate>]. Access at: 03 oct. 2023.

26. Verma A, Tyagi S, Yang K. Modeling and optimization of direct metal laser sintering process. *Int J Adv Manuf Technol*. 2015;77:847-860. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6443-x>.

27. Esperto L, Osório A. Rapid tooling: sinterização directa por laser de metais. *Mecânica Experimental*. 2008;15:117-124.

28. Gregolin RF. Desenvolvimento, comportamento mecânico e microestrutural de uma prótese mandibular em liga de titânio produzida por sinterização direta a laser de metal (DMLS). 2013. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2013.

29. Guillemot F, Mironov V, Nakamura M. Bioprinting is coming of age: report from the International Conference on Bioprinting and Biofabrication in Bordeaux (3B'09). *Biofabrication*. 2010;2(1):010201. Doi: [10.1088/1758-5082/2/1/010201](https://doi.org/10.1088/1758-5082/2/1/010201).

30. Ishengoma FR, *et al.* 3D printing: Developing countries perspectives. *International Journal of Computer Applications*. 2014;104(11):30-34. Doi: [10.5120/18249-9329](https://doi.org/10.5120/18249-9329).

31. Cunha D, *et al.* 14º Congresso Brasileiro de Polímeros. Morfologia e viabilidade celular de scaffolds fabricados por manufatura aditiva. 2017. 5p. Disponível em: [https://repositorio.usp.br/directbitstream/c29c1932-be15-4a5b-85d5-04c058105826/OK_trabalho%208%20-%20Morfol]. Acesso em: 04 out. 2023.

32. Ozbolat IT, Yu Y. Bioprinting toward organ fabrication: challenges and future trends. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 2013;60(3):691-699. Doi: [10.1109/TBME.2013.2243912](https://doi.org/10.1109/TBME.2013.2243912).

33. Rankin TM, *et al.* Image once, print thrice? Three-dimensional printing of replacement parts. *Br J Radiol*. 2018;91(1083):20170374. Doi: [10.1259/bjr.20170374](https://doi.org/10.1259/bjr.20170374).

34. Thorburn C, *et al.* Three-dimensional printing for assessment of paravalvular leak in transcatheter aortic valve implantation. *J Cardiothorac Surg*. 2020;15(211):1-5. Doi: <https://doi.org/10.1186/s13019-020-01255-3>.

35. Arndt ÂBM, Telles JL, Kowalski SC. O custo direto da fratura de fêmur por quedas em pessoas idosas: análise no setor privado de saúde na cidade de

Meirelles GPS, Bomtempo SV, Benito LAO

Brasília, 2009. Rev bras geriatr gerontol. 2011;14(2):221-231. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1809-98232011000200004>.

36. Ferreira LCV, Anastácio R, Milagre ST. XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica (CBEB 2014). Estudo comparativo de efetividade e custo das próteses de ATQ utilizando UHMWPE e cabeça femoral de metal e UHMWPE tipo cross-link e cabeça femoral de cerâmica. 2014. 4p. Disponível em: [https://www.canal6.com.br/cbeb/2014/artigos/cbeb2014_submission_342.pdf]. Acesso em: 05 out 2023.

37. Organização Mundial da Saúde. Envelhecimento ativo: uma política de saúde. Brasília: OPAS, 2005. 60p.

38. Zheng W, *et al*. The feasibility of 3D printing technology on the treatment of pilon fracture and its effect on doctor-patient communication. Biomed Res Int. 2018.2018:8054698. Doi: [10.1155/2018/8054698](https://doi.org/10.1155/2018/8054698).

39. Lindman BR, Dweck MR, Lancellotti P, Génereux P, Piérard LA, O'Gara PT, Bonow RO. Management of asymptomatic severe aortic stenosis: Evolving concepts in timing of valve replacement. JACC Cardiovascular Imaging. 2020; 13(2 Pt 1):481-493. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2019.01.036>.

40. Milano EG, Capelli C, Wray J, Biffi B, Layton S, Lee M, Caputo M, Taylor AM, Schievano S, Biglino G. Current and future applications of 3D printing in congenital cardiology and cardiac surgery. Br J Radiol. 2019;92(1094):20180389. Doi: [10.1259/bjr.20180389](https://doi.org/10.1259/bjr.20180389).

41. Soares DS, Mello LM de, Silva AS da, Martinez EZ, Nunes AA. Fraturas de fêmur em idosos no Brasil: análise espaço-temporal de 2008 a 2012. Cad Saúde Pública. 2014;30(12):2669-2678. Doi: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00218113>.

42. Biolife4D. Available in: [<https://biolife4d.com/>]. Access at: 05 oct. 2023.

43. Silva JCA, Ribeiro MDA, Silva LN, Pinheiro HA, Bezerra LMA, Oliveira SB. Fraturas de fêmur em idosos nas diferentes regiões do Brasil de 2015 a 2020: análise dos custos, tempo de internação e total de óbitos. Rev Pesqui Fisioter. 2021;11(4):798-806. Doi: <http://dx.doi.org/10.17267/2238-2704rpf.v11i4.4168>.

44. Amazon.com.br. Impressora 3-D. Disponível em: [https://www.amazon.com.br/s?k=impressora+3d&mk_pt_BR=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=3AC62LY9JSM1I&srefix=impressora+3d%2Caps%2C3%90&ref=nb_sb_noss_1]. Acesso em: 4 abr. 2023.

45. Markets and Markets. Home. Press Releases. 3D Printing Industry worth \$34.5 billion by 2028. Available in: [<https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/3d-printing.asp>]. Access at: 25 dez 2023.

46. Matozinhos I, *et al*. Impressão 3D: Inovações no campo da medicina. Revista Interdisciplinar Ciências Médicas.2017;1(1):143-162.

Meirelles GPS, Bomtempo SV, Benito LAO

47. Mourav G, *et al.* Usos e aplicações da impressão 3d: das indústrias aos lares. *Cadernos de Estudos Interdisciplinares*. 2023;5(1):31-36.
48. Beaglehole R, Yach D. Globalisation and the prevention and control of non-communicable disease: the neglected chronic diseases of adults. *Lancet*. 2003;362(9387):903-908. Doi: [10.1016/S0140-6736\(03\)14335-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(03)14335-8).
49. R7.com. Notícias. JR da TV. Prédio inteiro é construído com impressora 3D na Alemanha. 28 nov 2020. Disponível em: [<https://noticias.r7.com/jr-na-tv/videos/predio-inteiro-e-construido-com-impressora-3d-na-alemanha-05062022>]. Acesso em: 25 mar 2023.
50. Silva RV, *et al.* The use of hydroxyapatite and autogenous cancellous bone grafts to repair bone defects in rats. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2005;34(2):178-184. Doi: [10.1016/j.ijom.2004.06.005](https://doi.org/10.1016/j.ijom.2004.06.005).
51. Tabata Y. Biomaterial technology for tissue engineering applications. *J. R. Soc. Interface*. 2009. 6S311-S324. Doi: <http://doi.org/10.1098/rsif.2008.0448.focus>.
52. Abe KC, Miraglia SGEK. Avaliação de Impacto à Saúde (AIS) no Brasil e América Latina: uma ferramenta essencial a projetos, planos e políticas. *Interface*. 2018;22(65):349-358. Doi: <https://doi.org/10.1590/1807-57622016.0802>.
53. Silva LS da. Análise histomorfométrica da interface do parafuso expansor com o tecido ósseo. 2007. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2007. Acesso em: 25 dez 2023.

Autor de Correspondência

Lincoln Agudo Oliveira Benito
SEPN 707/907, Via W 5 Norte, Campus
Universitário. CEP: 70790-075. Asa Norte.
Brasília, Distrito Federal, Brasil.
linconbenito@yahoo.com.br

APÊNDICE H – Comprovante de aceite de resumo submetido para o 26º Congresso Brasileiro dos Conselhos de Enfermagem (26º CBCENF):



DECLARAÇÃO

Declaramos para os devidos fins que o trabalho PROPOSTA DE IMPRESSÃO EM 3-D DO OSSO FÊMUR DE PESSOAS IDOSAS VITIMADAS DE FRATURA está com a situação **ACEITO** para apresentação no Congresso Brasileiro dos Conselhos de Enfermagem - 26º CBCENF.

Relator: Guilherme de Paula Storti Meirelles

Autor(es): Sarah Valadares Bomtempo e Linconl Agudo Oliveira Benito

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Aurilene", is written in a cursive style.

Aurilene Josefa Cartaxo de Arruda Cavalcanti

Coordenadora da Comissão Científica -



26º CBCENF
RECIFE • PERNAMBUCO • 2024

