

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/0000-0002-0914-6335>

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 Scrump 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}

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:

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.

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 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, 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 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 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}

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 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

- Meirelles GPS, Bomtempo SV, Martins WB, Melo CM, Benito LAO, Silva ICR
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, Hutmacher DW, Tanc KC, Teoh SH. Fused deposition modeling of 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. Domröse R, Grünberger 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=Dispo n%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%2008 %20-%20Morfol](https://repositorio.usp.br/directbitstream/c29c1932-be15-4a5b-85d5-04c058105826/OK_trabalho%2008%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 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=3AC62LY9JSM1J&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.

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.
lincolnbenito@yahoo.com.br