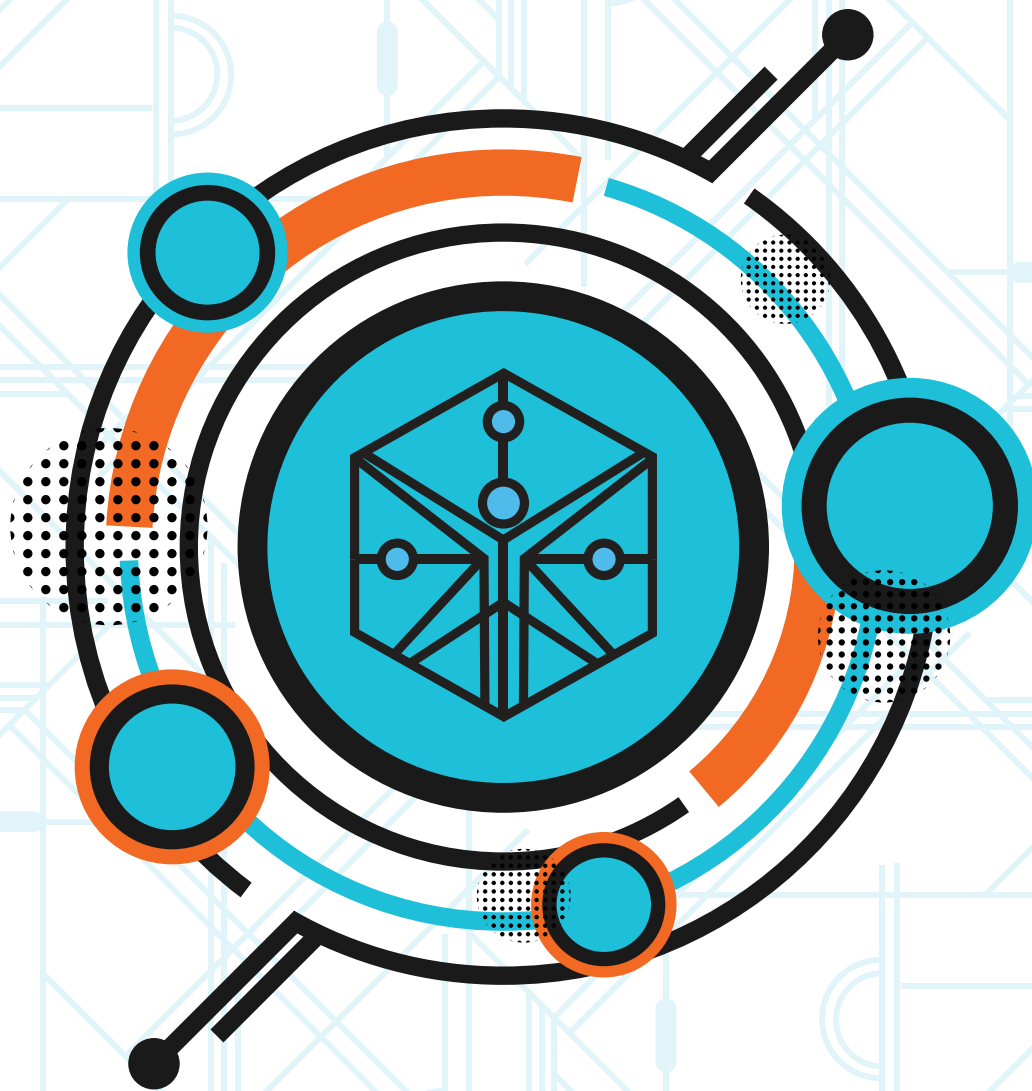


TECNOLOGIA 3D NA SAÚDE

UMA VISÃO SOBRE ÓRTESES E PRÓTESES,
TECNOLOGIAS ASSISTIVAS E MODELAGEM 3D



CUSTÓDIO LEOPOLDINO DE BRITO GUERRA NETO
DANILO ALVES PINTO NAGEM
HÉLIO ROBERTO HÉKIS
KARILANY DANTAS COUTINHO
RICARDO ALEXSANDRO DE MEDEIROS VALENTIM


SEDISUFRRN

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
DO NORTE – UFRN**

Reitora

Ângela Maria Paiva Cruz

Vice-Reitor

José Daniel Diniz Melo

Diretoria Administrativa da EDUFRN

Luis Álvaro Sgadari Passeggi (Diretor)

Wilson Fernandes de Araújo Filho (Diretor Adjunto)

Judithe da Costa Leite Albuquerque (Secretária)

Conselho Editorial

Luis Álvaro Sgadari Passeggi (Presidente)

Alexandre Reche e Silva

Amanda Duarte Gondim

Ana Karla Pessoa Peixoto Bezerra

Anna Cecília Queiroz de Medeiros

Anna Emanuella Nelson dos Santos Cavalcanti da Rocha

Arrailton Araujo de Souza

Carolina Todesco

Christianne Medeiros Cavalcante

Daniel Nelson Maciel

Eduardo Jose Sande e Oliveira dos Santos Souza

Euzébia Maria de Pontes Targino Muniz

Francisco Dutra de Macedo Filho

Francisco Welson Lima da Silva

Francisco Wildson Confessor

Gilberto Corso

Glória Regina de Góis Monteiro

Heather Dea Jennings

Jacqueline de Araujo Cunha

Jorge Tarcísio da Rocha Falcão

Juciano de Sousa Lacerda

Julliane Tamara Araújo de Melo

Kamyla Alvares Pinto

Luciene da Silva Santos

Márcia Maria de Cruz Castro

Márcio Zikan Cardoso

Marcos Aurélio Felipe

Maria de Jesus Goncalves

Maria Jalila Vieira de Figueiredo Leite

Marta Maria de Araújo

Mauricio Roberto Campelo de Macedo

Paulo Ricardo Porfírio do Nascimento

Paulo Roberto Medeiros de Azevedo

Regina Simon da Silva

Richardson Naves Leão

Roberval Edson Pinheiro de Lima

Samuel Anderson de Oliveira Lima

Sebastião Faustino Pereira Filho

Sérgio Ricardo Fernandes de Araújo

Sibele Berenice Castella Pergher

Tarciso André Ferreira Velho

Teodora de Araújo Alves

Tercia Maria Souza de Moura Marques

Tiago Rocha Pinto

Veridiano Maia dos Santos

Wilson Fernandes de Araújo Filho

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA – SEDIS

Secretária de Educação a Distância

Maria Carmem Freire Diógenes Rêgo

Secretária Adjunta de Educação a Distância

Ione Rodrigues Diniz Moraes

Coordenadora de Produção de Materiais Didáticos

Maria Carmem Freire Diógenes Rêgo

Coordenadora de Revisão

Maria da Penha Casado Alves

Coordenador Editorial

José Correia Torres Neto

Conselho Técnico-Científico – SEDIS

Maria Carmem Freire Diógenes Rêgo – SEDIS (Presidente)

Aline de Pinho Dias – SEDIS

André Moraes Gurgel – CCSA

Antônio de Pádua dos Santos – CS

Célia Maria de Araújo – SEDIS

Eugênia Maria Dantas – CCHLA

Ione Rodrigues Diniz Moraes – SEDIS

Isabel Dillmann Nunes – IMD

Ivan Max Freire de Lacerda – EAJ

Jefferson Fernandes Alves – SEDIS

José Querginaldo Bezerra – CCET

Lilian Giotto Zaros – CB

Marcos Aurélio Felipe – SEDIS

Maria Cristina Leandro de Paiva – CE

Maria da Penha Casado Alves – SEDIS

Nedja Suely Fernandes – CCET

Ricardo Alexsandro de Medeiros Valentim – SEDIS

Sulemi Fabiano Campos – CCHLA

Wicliffe de Andrade Costa – CCHLA

Gestão do Fluxo de Revisão

Rosilene Paiva

Projeto Gráfico

Alexander Gleiriston

Beatriz Lima da Cruz

Diagramação

Beatriz Lima da Cruz

Capa

Beatriz Lima da Cruz

Revisão Linguístico-textual

Bruna Rafaelle de Jesus Lopes

Cristinara Ferreira dos Santos

Emanuelle Pereira de Lima Diniz

Lisane Mariádne Melo de Paiva

Renata Ingrid de Souza Paiva

Valnecy Oliveira Corrêa Santos

Revisão ABNT

Cristiane Severo da Silva

Melissa Gabriely Fontes Cavalcanti

Verônica Pinheiro da Silva

Revisão Tipográfica

Letícia Torres

Catálogo da Publicação na Fonte. Bibliotecária Verônica Pinheiro da Silva CRB-15/692.

Tecnologia 3D na Saúde: uma visão sobre Órteses e Próteses, Tecnologias Assistivas e Modelagem 3D [recurso eletrônico] / Organizado por Karilany Dantas Coutinho... [et al.] – Natal: SEDIS-UFRN, 2018.

PDF ; 95 p.

ISBN 978-85-93839-53-5

1. Tecnologia. 2. Modelagem 3D. 3. Saúde. 4. Órteses. 5. Próteses. I. Coutinho, Karilany Dantas. II. Nagem, Danilo Alves Pinto. III. Valentim, Ricardo Alessandro de Medeiros. IV. Hékis, Hélio Roberto. V. Guerra Neto, Custódio Lepoldino de Brito.

CDU 004
T255

Todos os direitos desta edição reservados à EDFURN - Editora da UFRN
Av. Senador Salgado Filho, 3000 | Campus Universitário
Lagoa Nova | 59.078-970 | Natal/RN | Brasil
e-mail: contato@editora.ufrn.br | www.editora.ufrn.br
Telefone: (84) 3342-2221

SOBRE O LIVRO

Há alguns anos, ninguém imaginava que era possível ter um computador a preço acessível dentro de casa. Posteriormente, ninguém acreditava que os computadores poderiam conectar todo o mundo e, ainda hoje, muitos não acreditam que objetos complexos podem ser construídos dentro de casa ao toque de um botão. Essa é a nova realidade e a nova revolução que as impressoras de manufatura aditiva vêm apresentar. Esse tipo de manufatura se diferencia das tradicionais pois permitem uma construção de modelos reais complexos com precisão e custos acessíveis. Há, hoje, diversos modelos de impressoras de manufatura aditiva e diversos métodos de impressão como DLP/SLA (Digital Light Processing / Stereolithography), FDM (Fused Deposition Modeling), SLS (Selective Laser Sintering), SLM (Selective laser melting), EBM (Electronic Beam Melting), entre outros, propiciando impressões de equipamentos complexos em materiais poliméricos, cerâmicos, biológicos e metálicos. A facilidade no acesso a esse tipo de impressora e a facilidade em seu uso propiciou o desenvolvimento de modelos e objetos complexos que cada usuário pode personalizar e adaptar ao seu próprio gosto. Foi baseado nessas premissas que os autores pensaram ao desenvolver esse livro. O que toda essa revolução na manufatura pode inovar dentro da área de saúde? Que benefícios reais essa tecnologia pode apresentar a um paciente que necessita de uma prótese ou órtese, que precisa de um *stent* ou até mesmo de órgão novo? Ao responder a essas perguntas, os autores apresentam a você, leitor, a revolução que essa tecnologia está fazendo na saúde e o que se pode esperar dela para o futuro. Por fim, o livro é uma boa referência para os pesquisadores, estudantes e professores que atuam ou tem interesse de atuar nessa temática que, certamente, é estratégica para pensar no caminho para a próxima revolução na saúde.



SUMÁRIO

MODELAGEM E TECNOLOGIAS 3D (CAD CAM) APLICADA À SAÚDE: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

6

Gustavo Kleber Bezerra Coutinho / Erivan Teixeira Silva Filho /
Jonas de Paiva Vieira Junior / Mateus de Medeiros Jales /
Karilany Dantas Coutinho / Danilo Alves Pinto Nagem /
Custódio Leopoldino de Brito Guerra Neto / Hélio Roberto Hékis /
Ricardo Alessandro de Medeiros Valentim

ÓRTESES E PRÓTESES APLICADAS À TECNOLOGIA 3D NA SAÚDE: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

32

Leonardo Gurgel Correia de Azevedo / Luiz Otávio Santana Baía Junior /
Matheus da Silva Oliveira / Nadyne Dayonara Maurício de Amorim /
Karilany Dantas Coutinho / Danilo Alves Pinto Nagem /
Custódio Leopoldino de Brito Guerra Neto / Hélio Roberto Hékis /
Ricardo Alessandro de Medeiros Valentim

TECNOLOGIAS ASSISTIVAS APLICADAS À TECNOLOGIA 3D NA SAÚDE: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

70

Ana Karenina de Oliveira Paiva / Amarildo Silva Damasceno Júnior /
Arthur Balboa de Medeiros Martins / Kelvem Katyson Lira de Freitas /
Karilany Dantas Coutinho / Danilo Alves Pinto Nagem /
Custódio Leopoldino de Brito Guerra Neto / Hélio Roberto Hékis /
Ricardo Alessandro de Medeiros Valentim

MODELAGEM E TECNOLOGIAS 3D (CAD CAM) APLICADA À SAÚDE: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

*Gustavo Kleber Bezerra Coutinho / Erivan Teixeira Silva Filho /
Jonas de Paiva Vieira Junior / Mateus de Medeiros Jales /
Karilany Dantas Coutinho / Danilo Alves Pinto Nagem /
Custódio Leopoldino de Brito Guerra Neto / Hélio Roberto Hékis /
Ricardo Alexsandro de Medeiros Valentim*

RESUMO

A necessidade de melhorar a qualidade de vida dos pacientes faz com que os profissionais da área médica busquem auxílio de novas tecnologias. Hoje em dia, dentro da área de saúde a tecnologia é aplicada desde a aquisição de imagens, para visualização 2D ou 3D até a manufatura de peças complexas, com semelhança aos órgãos, nesses processos a modelagem 3D é imprescindível. Este capítulo objetiva demonstrar a importância de se trabalhar com processos de desenvolvimento assistidos por computador (CAD/CAE/CAM) na produção de Modelagem e Técnicas 3D aplicada à Saúde, bem como apresentar as formas de produção, a utilidade desses métodos e em que áreas da saúde estão sendo mais utilizadas. Esta revisão literária foi realizada com artigos de janeiro de 2014 a janeiro de 2018, sendo utilizadas as bases de dados SCOPUS e CAPES. Ao realizar a busca, foram considerados os seguintes parâmetros: ano de publicação, língua redigida e termos específicos presentes no título, resumo ou palavra-chave. Verificou-se por meio do estudo em diversas revistas e artigos, o crescente uso dessas tecnologias, as dificuldades apresentadas em utilizá-las, bem como a superação das dificuldades apresentadas e os avanços na validação das técnicas com este propósito.

Palavras-chave: CAD/CAM. Saúde. Modelagem. Órtese. Prótese.

INTRODUÇÃO

As técnicas de CAD/CAE/CAM (Computer Aided Design, Computer Aided Engineering, Computer Aided Manufacture) são consideradas nos dias atuais, como instrumentos indispensáveis para a industrialização moderna. Possibilitam, o desenvolvimento de desenhos 2D e a modelagem 3D de produtos complexos, suas propriedades mecânicas bem como a comunicação com outros softwares.

O desenvolvimento de projetos por meio dos sistemas CAD/CAE/CAM são divididos em três partes principais. A primeira delas é a aquisição dos parâmetros a serem desenvolvidos. A modelagem do modelo em ambiente virtual, a definição de todos os parâmetros relacionado ao design do modelo e suas características geométricas. Posteriormente são determinadas suas características mecânicas e estruturais, como materiais e outras características relevantes na engenharia, para a realização dos cálculos necessários e readequação dos parâmetros geométricos quando necessários. Por fim, a última parte do desenvolvimento, a fabricação do modelo a partir de um dispositivo específico (ALGHAZZAWI, 2016).

O crescimento de pesquisas relacionadas a essas técnicas trouxe diversas novas possibilidades de aplicação, inclusive na área da saúde, o que vem permitindo a inovação de diversos procedimentos clínicos. A manufatura de modelos 3D pré-cirúrgicos, por exemplo, possibilita um melhor planejamento cirúrgico para o médico, possibilitando infinitos planos cirúrgicos para serem testados, podendo-se assim diminuir o tempo de cirurgia e, conseqüentemente, a exposição do paciente a infecções. Técnicas de modelagem de implantes customizados, órteses e próteses customizadas também possibilitam um melhor conforto e conseqüentemente maior aceitação do paciente, além de também possibilitar um menor tempo de cirurgia (JACOTTI et al., 2014).

Em relação às órteses as técnicas de imobilização não evoluíram muito nos últimos 100 anos, o termoplástico e o gesso foram os materiais mais utilizados. As técnicas CAD/CAE/CAM possibilitam o estudo do uso de novos materiais, assim como customização das órteses para cada paciente, o que garante um equipamento mais confortável e que atenda melhor às necessidades diárias do paciente (DAINES et al., 2014; MUNHOZ et al., 2016).

As tecnologias CAD/CAE/CAM possibilitam uma alta precisão para procedimentos de design e manufatura. Para o modelamento de andaimes ósseos, por exemplo, onde uma precisão nanométricas tem papel importante para a aceitação óssea, essas técnicas se tornam a alternativa ótima (LI et al., 2015). Em procedimentos cirúrgicos assistidos por CAD/CAE/CAM, a modelagem de suportes, talas, modelos e guias cirúrgicos customizados para paciente também demonstram resultados semelhantes ou possivelmente mais eficientes em relação aos métodos clássicos (SCHOUMAN et al., 2015).

Ainda assim, ainda há certos problemas quanto à entrada dos processos assistido por computador no ambiente médico. Devido sua maior complexidade, ainda que o custo de produção tradicional seja maior, o custo de equipamentos é muito alto, o que inviabiliza a introdução da técnica. Em uma pesquisa rápida, são encontrados equipamentos com preço entre US\$200.000,00 e US\$250.000,00 para processamento de polímeros biocompatíveis, podendo chegar a preços ainda maiores para processamento de metais.

Isso, somado com uma necessidade de mão de obra mais especializada leva a uma resistência de muitos médicos à instalação dessas tecnologias (NOH et al., 2016). Outro problema para a aceitação das tecnologias é que ainda é necessário a consolidação de métodos analíticos que possam analisar melhor as vantagens do seu uso. Esse fator faz com que ainda sejam necessários estudos na área para uma melhor aplicação.

O objetivo deste capítulo é divulgar as características, vantagens e dificuldades do uso de tecnologias CAD/CAE/CAM na área da saúde, discutindo sobre suas aplicações e as facilidades que oferece em relação aos métodos clássicos, por meio da revisão de literatura de artigos obtidos em periódicos online.

METODOLOGIA

Este estudo tratou-se de uma revisão bibliográfica integrativa estruturada nas seguintes etapas:

1ª etapa: identificação do tema e seleção da hipótese ou questão de pesquisa para a elaboração da revisão integrativa

Tema: Tecnologia 3D da Saúde.

Subtema: Modelagem e Tecnologias 3d (CAD CAM) aplicada à Saúde.

Problema: As tecnologias CAD/CAE/CAM estão inovando o ambiente médico por meio de novas tecnologias e possibilidades?

Hipótese: A aplicação de novas tecnologias CAD/CAE/CAM possibilita métodos mais seguros e confiáveis para diversas áreas clínicas.

2ª etapa: estabelecimento de critérios para inclusão e exclusão de estudos/amostragem ou busca na literatura

A pesquisa foi realizada a partir das bases de dados *Scopus* e *Periódico Capes*, onde foram feitas buscas por artigos, resumos ou palavras-chave com os termos “*cad-cam health*”, “*modeling applied to health*”, “*modeling in health*”, “*rapid prototyping applied to health*”, “*cad cam medicine*”, “*cad cam orthopedics*”, “*cad cam bones*”, “*cad cam skull*”, “*3d prosthetics/orthotics*”. A busca foi limitada a artigos publicados entre 2014 e 2018, nas línguas portuguesa, inglesa e espanhola, e com, pelo menos, uma citação. Finalizou-se a busca com um total de 40 artigos.

3ª etapa: definição das informações a serem extraídas dos estudos selecionados/categorização dos estudos

A revisão de literatura, resumida no quadro a seguir, mostra que as tecnologias CAD/CAE/CAM vêm sendo aplicadas com sucesso e aceitação em diversas áreas clínicas, trazendo a possibilidade de melhores resultados, mais segurança aos pacientes e tratamentos mais eficientes. Esses artigos foram resumidos e organizados contendo as seguintes informações: título, metodologia aplicada, ano de publicação, país onde realizou-se a pesquisa, número de citações e local de publicação.

<i>3D printing of high-strength aluminium alloys</i>	
Ano de publicação: 2017	Número de citações: 8
Local da Publicação: 2017 Macmillan Publishers Limited, part of Springer Nature.	Autores: John, Brennan, Jacob, Justin, Tobias, Tresa
Principal contribuição: Esse artigo aborda a dificuldade de impressão 3D com ligas metálicas diversas, oferecendo uma solução por meio do uso de nanopartículas nucleantes que altera as propriedades de solidificação das ligas e abre novas possibilidades para a impressão 3D.	
<i>A digital approach for design and fabrication by rapid prototyping of orthosis for developmental dysplasia of the hip</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 1
Local da Publicação: Research on Biomedical Engineering, Vol.32(1), pp.63-73	Autores: Munhoz ; Moraes ; Tanaka ; Kunkel
Principal contribuição: Esse artigo aborda a utilização de prototipagem customizada para manufatura para correção de displasia óssea do quadril em crianças em desenvolvimento.	
<i>A review of friction models in interacting joints for durability design</i>	
Ano de publicação: 2017	Número de citações: 2
Local da Publicação: Friction, 2017, Vol.5(1), pp.1-22	Autores: Khan; Chacko; Nazir
Principal contribuição: Este estudo de revisão bibliográfica analisa os diferentes modelos de análise de fricção no decorrer do tempo, enfatizando tanto os avanços nessa área graças à análise computacional como as vantagens que novos avanços na área trazem para a modelagem 3D.	

Continuação

<i>A Survey of Free Software for the Design, Analysis, Modelling, and Simulation of an Unmanned Aerial Vehicle</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 1
Local da Publicação: Archives of Computational Methods in Engineering, Sep 2016, Vol.23(3), pp.449-514	Autores: Vogeltanz
Principal contribuição: O estudo analisa diversos softwares gratuitos de design, análise e modelagem CAD/CAM, a fim de mostrar possibilidades de barateamento de projetos que utilizem dessas tecnologias.	
<i>Accuracy evaluation of CAD/CAM generated splints in orthognathic surgery: a cadaveric study</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 4
Local da Publicação: Head & face medicine, 25 July 2015, Vol.11, pp.24	Autores: Schouman, Rouch, Imholz, Fasel, Courvoisier, Scolozzi
Principal contribuição: Esse artigo apresenta resultados de cirurgias ortognáticas de reposicionamento da mandíbula em cadáveres usando planejamento 3D, assim como talas cirúrgicas produzidas com tecnologia CAD/CAM.	
<i>Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 2
Local da Publicação: 2016 Japan Prosthodontic Society. Published by Elsevier Ltd.	Autores: Tariq F. Alghazzawi
Principal contribuição: Esse artigo apresenta um estudo sobre os avanços na tecnologia CAD / CAM com opções para implementação prática na odontologia, especialmente nos campos de prótese e odontologia restauradora.	
<i>Application of digital diagnostic impression, virtual planning, and computer-guided implant surgery for a CAD/CAM-fabricated, implant-supported fixed dental prosthesis: A clinical report</i>	
Ano de publicação: 2014	Número de citações: 3
Local da Publicação: The Journal of Prosthetic Dentistry, September 2014, Vol.112(3), pp.402-408	Autores: Brandon; Wei-Shao; Athanasios; Bryan; Dean.
Principal contribuição: Esse estudo apresenta a aplicação de impressão diagnóstica digital, planejamento virtual e cirurgia de implante guiada por computador para uma prótese dentária fixa, suportada por implante CAD / CAM, implantada em suporte CAD / CAM: um relatório clínico.	

Continuação

<i>Assessment of Chair-side Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing Restorations: A Review of the Literature.</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 1
Local da Publicação: Journal of international oral health : JIOH, April 2015, Vol.7(4), pp.96-104	Autores: Baroudi; Ibraheem
Principal contribuição: Esse estudo apresenta a avaliação do design assistido por computador no lado da cadeira e restaurações de fabricação assistida por computador: uma revisão da literatura.	
<i>Clinical Applications of 3D Printing: Primer for Radiologists</i>	
Ano de publicação: 2018	Número de citações: 1
Local da Publicação: 2018 The Association of University Radiologists. Published by Elsevier Inc.	Autores: David H; Anthony; Sayed Ali; Taryn Hodgdon; Matthew; Carolyn; Stacy; Michael; Midhir; Summer; Leon.
Principal Contribuição: Esse artigo mostra como foram feitas aplicações clínicas de impressão em 3D na área da radiologia, como o presente estudo podemos notar uma grande afinidade entre as áreas, trazendo assim uma rápida evolução em seu uso, como no uso das tomografias.	
<i>Comparing environmental impacts of additive manufacturing vs traditional machining via life-cycle assessment</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 10
Local da Publicação: Rapid Prototyping Journal, 19 January 2015, Vol.21(1), pp.14-33	Autores: Faludi; Bayley; Bhogal; Iribarne
Principal contribuição: Esse artigo apresenta um estudo comparando os impactos ambientais da fabricação de aditivos versus usinagem tradicional por meio da avaliação do ciclo de vida	
<i>Complete-mouth rehabilitation using a 3D printing technique and the CAD/CAM double scanning method: A clinical report</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 3
Local da Publicação: The Journal of Prosthetic Dentistry, July 2016, Vol.116(1), pp.3-7	Autores: Joo; Park; Yun; Lim
Principal contribuição: Estudo clínico que demonstra caso cirúrgico onde são utilizadas técnicas de prototipagem CAD/CAM para produção de prótese semifixa em reabilitação oral, mostrando a possibilidade e eficiência da técnica CAD/CAM em comparação com os métodos convencionais.	

Continuação

<i>Curing mode affects bond strength of adhesively luted composite CAD/CAM restorations to dentin</i>	
Ano de publicação:	Número de citações: 2
Local da Publicação: Dental Materials, March 2014, Vol.30(3), pp.281-291	Autores: Anne-Katrin; Pong; Jan; Werner; Bart.
Principal contribuição: Esse artigo apresenta um estudo sobre o modo de cura afeta a resistência de ligação das restaurações CAD / CAM compostas adesivamente à dentina.	
<i>Current and emerging applications of 3d printing in medicine</i>	
Ano de publicação: 2017	Número de citações: 1
Local da publicação: Biofabrication, 2017, Vol.9(2), p.024102 (18pp)	Autores: Liaw; Guvendiren
Principal contribuição: Esta revisão tem como objetivo discutir as aplicações atuais e emergentes da impressão 3D em medicina. Um breve resumo sobre tecnologias de fabricação de aditivos e materiais imprimíveis disponíveis também é fornecido.	
<i>Custom-made novel biomimetic composite scaffolds for the bone regenerative medicine</i>	
Ano de publicação: 2014	Número de citações: 4
Local da publicação: Materials Letters, 1 December 2014, Vol.136, pp.393-396	Autores: L. Ciocca; D. Donati; I.G. Lesci; B. Dozza; S. Duchi; O. Mezini; A. Spadari; N. Romagnoli; R. Scotti; N. Roveri.
Principal contribuição: Artigo representa análise in vitro de eficiência de scaffolds e suportes ósseos produzidos com técnicas CAD/ CAM para regeneração óssea no crânio de ovelhas, enaltecendo o seu bom desempenho.	
<i>Deterministically patterned biomimetic human iPSC-derived hepatic model via rapid 3D bioprinting</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 56
Local da publicação: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States, Feb 23, 2016, Vol.113(8), p.2206	Autores: Ma; Qu; Zhu; Li; Yuan; Zhang; Liu; Wang; Lai; Zarella; Feng; Sheikh; Chien; Chen
Principal contribuição: Modelo hepático humano com biomassa especificamente padronizada com biomassa iPSC via bioprinting 3D rápida.	

Continuação

<i>Development of CAD/CAM Based Brace Models for the Treatment of Patients with Scoliosis-Classification Based Approach versus Finite Element Modelling</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 4
Local da Publicação: Asian spine journal, October 2015, Vol.9(5), pp.661-7	Autores: Weiss; Kleban
Principal contribuição: Desenvolvimento de modelos baseados em CAD / CAM para tratamento de pacientes com abordagens baseadas em escoliose versus modelagem de elementos finitos	
<i>Direct digital manufacturing: Definition, evolution, and sustainability implications</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 1
Local da publicação: Journal of Cleaner Production, 16 November 2015, Vol.107, pp.615-625	Autores: Chen; Heyer; Ibbotson; Salonitis; Steingrímsson; Thiede
Principal contribuição: Esse artigo fala das primeiras técnicas de fabricação digital direta, antes de ficarem conhecidas como CAD/ CAM, como surgiram os estudos, suas primeiras definições, como obtiveram evolução na área mecânica/ industrial e como houve aceitação na área da saúde.	
<i>Do CAD/CAM dentures really release less monomer than conventional dentures?</i>	
Ano de publicação: 2017	Número de citações: 1
Local da publicação: Clinical Oral Investigations, 2017, Vol.21(5), pp.1697-1705	Autores: Patricia, Verena, Christian, Florian, Otto, Ingrid, Herbert.
Principal Contribuição: Esse artigo apresenta um estudo referente à liberação de monômero as dentaduras convencionais feitas por meio da técnica CAD / CAM.	
<i>Effectiveness and efficiency of a CAD/CAM orthodontic bracket system</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 1
Local da publicação: American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics, December 2015, Vol.148(6), pp.1067-1074	Autores: Brown; Koroluk; Ko; Zhang; Chen; Nguyen
Principal contribuição: Estudo apresenta comparação de aparelhos ortodônticos implantados em pacientes com moldes feitos com CAD/CAM em comparação com as demais técnicas diretas e indiretas, mostrando a maior eficiência da técnica com CAD/CAM	

Continuação

<i>Exploration of Novel Inhibitors for Bruton's Tyrosine Kinase by 3D QSAR Modeling and Molecular Dynamics Simulation</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 5
Local da publicação: PLoS ONE, Jan 19, 2016, Vol.11(1)	Autores: Bavi; Kumar; Choi; Woo Lee
Principal contribuição: Esse artigo apresenta um estudo sobre a Exploração de novos inibidores da tirosina quinase de Bruton por modelagem 3D QSAR e simulação de dinâmica molecular	
<i>Fabricating a tooth- and implant-supported maxillary obturator for a patient after maxillectomy with computer-guided surgery and CAD/CAM technology: A clinical report</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 1
Local da publicação: The Journal of Prosthetic Dentistry, May 2016, Vol.115(5), pp.637-642	Autores: Noh; Pae; Lee; Kwon
Principal contribuição: Esse artigo apresenta um estudo na fabricação de um obturador maxilar suportado por dente e implante para um paciente após maxilectomia com cirurgia guiada por computador e tecnologia CAD / CAM: um relatório clínico.	
<i>Fatigue resistance of CAD/CAM resin composite molar crowns</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 2
Local da Publicação: Dental Materials, April 2016, Vol.32(4), pp.499-509	Autores: Shembish; Tong; Kaizer; Janal; Thompson; Opdam; Zhang
Principal contribuição: Artigo realiza comparação de coroa molar de resina feita com tecnologia CAD/CAM em comparação com coroa de cerâmica de vidro reforçada com leucite por meio de um ensaio de fadiga com movimento mandibular.	
<i>Holographic patterning of high-performance on-chip 3D lithium-ion microbatteries</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 7
Local da publicação: Proceedings of the National Academy of Sciences, 2015	Autores: Ning; Pikul; Wang; Li; Xu; Wang; Rogers; King; Braun
Principal contribuição: O presente artigo mostra um estudo sobre o padrão holográfico de micro gotículas de íons de lítio 3D em chip de alto desempenho.	

Continuação

<i>Marginal and internal adaptation of ceramic crown restorations fabricated with CAD/CAM technology and the heat-press technique</i>	
Ano de publicação: 2014	Número de citações: 3
Local da publicação: The Journal of Prosthetic Dentistry, August 2014, Vol.112(2), pp.249-256	Autores: Mously; Finkelman; Zandparsa; Hirayama
Principal contribuição: O artigo mostra um estudo sobre a adaptação marginal e interna de restaurações cerâmicas de coroa fabricadas com tecnologia CAD / CAM e sua implantação por meio da técnica de pressão térmica.	
<i>Minimally invasive corticotomy in orthodontics using a three-dimensional printed CAD/CAM surgical guide</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 2
Local da publicação: International Journal of Oral & Maxillofacial Surgery, September 2016, Vol.45(9), pp.1059-1064	Autores: Cassetta; Giansanti; Di Mambro; Calasso; Barbato
Principal contribuição: Esse artigo apresenta a confecção de um guia cirúrgico impresso tridimensionalmente por meio das técnicas CAD / CAM usado no procedimento de corticotomia alveolar, uma intervenção cirúrgica limitada à porção cortical do osso alveolar, que objetiva resolver	
<i>Modeling the 3D structure and rhythmic growth responses to environment in dioecious yerba-mate</i>	
Ano de publicação: 2014	Número de citações: 1
Local da publicação: Ecological Modelling, 24 October 2014, Vol.290, pp.34-44	Autores: Takeshi Matsunaga; Rakocevic; Brancher
Principal contribuição: O presente artigo apresenta um estudo sobre como é feita a modelagem em estruturas 3D e as respostas de crescimento rítmico ao meio ambiente em ervas.	
<i>Multicenter study on the use of patient-specific CAD/CAM reconstruction plates for mandibular reconstruction</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 22
Local da publicação: International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 2015, Vol.10(12), pp.2035-2051	Autores: Wilde; Hanken; Probst; Schramm; Heiland; Cornelius
Principal contribuição: Nesse estudo foram desenvolvidas placas de reconstrução da mandíbula específicas do paciente (PSMPs), que são feitas a partir de titânio após o planejamento pré-operatório, usando tecnologia CAD/CAM, podendo assim determinar angulações, comprimento e a forma	

Continuação

<i>Multiprocess 3D printing for increasing component functionality</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 20
Local da publicação: Science (New York, N.Y.), 30 September 2016, Vol.353(6307)	Autores: Macdonald; Wicker
Principal contribuição: O artigo mostra um estudo sobre a impressão multiprocesso em 3D para aumentar a funcionalidade do componente em casos clínicos.	
<i>Orthognathic Y-splint: A CAD/CAM-engineered maxillary repositioning wafer assembly</i>	
Ano de publicação: 2014	Número de citações: 6
Local da publicação: British Journal of Oral & Maxillofacial Surgery	Autores: Kang; Kim; Kim; Lee
Principal contribuição: O artigo apresenta um estudo sobre técnicas de reposição maxilar CAD / CAM aplicada à odontologia.	
<i>Posterior Atrophic Mandible Rehabilitation With Onlay Allograft Created With CAD-CAM Procedure: A Case Report</i>	
Ano de publicação: 2014	Número de citações: 1
Local da publicação: Implant Dentistry, 2014, Vol.23(1), p.22-28	Autores: Jacotti, Barausse, Felice
Principal contribuição: Esse artigo apresenta um estudo sobre a reabilitação de uma mandíbula atrófica posterior com Allograft Onlay criado por meio do procedimento CAD-CAM.	
<i>Precision of a CAD/CAM-engineered surgical template based on a facebow for orthognathic surgery: An experiment with a rapid prototyping maxillary model</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 9
Local da publicação: The Journal of Prosthetic Dentistry, May 2016, Vol.115(5), pp.578-586.e1	Autores: Bidra; Farrell; Burnham; Dhingra; Taylor; Kuo
Principal Contribuição: Esse artigo apresenta um estudo sobre a precisão de um modelo cirúrgico de CAD / CAM baseado em um arco de face para cirurgia ortognática: um experimento com um modelo maxilar de prototipagem rápida.	

Continuação

<i>Preparation and cell infiltration of lotus-type porous nano-hydroxyapatite/polyurethane scaffold for bone tissue regeneration</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 2
Local da publicação: Materials Letters	Autores: Limei; Minghui; Jidong ; Yi; Qin ;Yubao
Principal contribuição: Esse artigo apresenta um estudo sobre a preparação e infiltração celular de nano-hidroxiapatita porosa de tipo lótus / andaime de poliuretano usado na regeneração do tecido ósseo.	
<i>Prospective cohort pilot study of 2-visit CAD/CAM monolithic complete dentures and implant-retained overdentures: Clinical and patient-centered outcomes</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 1
Local da publicação: The Journal of Prosthetic Dentistry, May 2016, Vol.115(5), pp.578-586.e1	Autores: Bidra; Farrell; Burnham; Dhingra; Taylor; Kuo
Principal contribuição: Esse estudo piloto avaliou os resultados clínicos e centrados no paciente para próteses monolíticas CAD / CAM já que, atualmente, nenhum estudo avaliou resultados clínicos ou resultados centrados no paciente para próteses completas fabricadas com tecnologia 3D.	
<i>Quantitative analysis of fetal facial morphology using 3D ultrasound and statistical shape modeling: a feasibility study</i>	
Ano de publicação: 2017	Número de citações: 1
Local da publicação: American Journal of Obstetrics and Gynecology, July 2017, Vol.217(1), pp.76.e1-76.e8	Autores: Dall'asta; Schievano; Bruse; Paramasivam; Kaihura; Dunaway; Lees
Principal contribuição: O objetivo desse estudo foi investigar a viabilidade de avaliação quantitativa de características do rosto fetal, usando volumes de ultrassonografia pré-tomográficos e modelagem de forma estatística.	
<i>Rapid and Low-cost Prototyping of Medical Devices Using 3D Printed Molds for Liquid Injection Molding</i>	
Ano de publicação: 2014	Número de citações: 1
Local da publicação: Journal of visualized experiments : JoVE, 27 June 2014(88), pp.e51745	Autores: Chung; Heller; Etemadi; Ottoson; Liu; Rand; Roy
Principal contribuição: Esse artigo mostra uma técnica de prototipagem rápida de baixo custo, usada na produção de dispositivos médicos por meio de moldes impressos em 3D.	

Continuação

<i>Reproducibilidad y exactitud en la cuantificación morfolométrica y mecánica del hueso trabecular a partir de imágenes de resonancia magnética de Tesla</i>	
Ano de publicação: 2014	Número de citações: 1
Local da publicação: Radiologia, January-February 2014, Vol.56(1), pp.27-34	Autores: Alberich-Bayarri; Martí-Bonmatí; Sanz-Requena; Sánchez-González; Hervás Briz; García-Martí; Pérez
Principal contribuição: Nesse trabalho, a reprodutibilidade e precisão de certos biomarcadores de imagem de qualidade óssea são analisadas usando a microtomografia computacional (μ TC) como padrão de referência.	
<i>Shape optimization for additive manufacturing of removable partial dentures - A new paradigm for prosthetic CAD/CAM</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 1
Local da publicação: PLoS ONE, Vol.10(7), p.e0132552	Autores: Chen; Ahmad; Suenaga; Li; Sasaki; Swain; Li
Principal contribuição: Esse artigo apresenta uma nova técnica de otimização de formas para fabricação aditiva de dentes parciais removíveis através das técnicas CAD/CAM. Com essa técnica a odontologia pode acelerar o processo de fabricação de prótese dentária e aumentar a qualidade dos dentes impressos, fazendo com que o número de visitas diminua, o tempo de consulta também e a qualidade do dente em relação aos demais.	
<i>Simultaneous Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacture Bimaxillary Orthognathic Surgery and Mandibular Reconstruction Using Selective-Laser Sintered Titanium Implant</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 1
Local da publicação: Journal of Craniofacial Surgery, 2016, Vol.27(7), p.1810-1814	Autores: Hatamleh, M.; Bhamrah, M.; Ryba, M.; Mack, M.; Huppa, M.
Principal contribuição: Esse relatório do paciente descreve como a tecnologia 3d pode ser usada para planejar a cirurgia e a prótese reabilitadora do paciente em uma cirurgia ortognática bimaxilar simultânea e reconstrução mandibular por meio de planejamento tridimensional.	

Continuação

<i>Template CoMFA Generates Single 3D-QSAR Models that, for Twelve of Twelve Biological Targets, Predict All ChEMBL-Tabulated Affinities</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 3
Local da publicação: PLoS ONE, Vol.10(6), p.e0129307	Autores: Richard D Cramer
Principal contribuição: O presente artigo mostra um estudo sobre o modelo CoMFA que gera modelos 3D-QSAR únicos para alvos biológicos, em que todas as afinidades tabuladas com ChEMBL são previstas.	
<i>The relevance of deep chlorophyll maximum in the open Mediterranean Sea evaluated through 3D hydrodynamic-biogeochemical coupled simulations</i>	
Ano de publicação: 2014	Número de citações: 13
Local da publicação: Ecological Modelling, 10 June 2014, Vol.281, pp.26-37	Autores: Macías; Stips; Garcia-Gorritz
Principal contribuição: Esse artigo apresenta um estudo sobre a relevância da clorofila profunda máxima no Mar Mediterrâneo aberto avaliada por meio de simulações 3D hidrodinâmicas e biogeoquímicas acopladas.	

Quadro 1 – Quadro comparativo de autores citados.

Fonte: Autoria própria (2018).

4ª etapa: avaliação dos estudos incluídos na revisão integrativa e interpretação de resultados

Foi realizada uma pesquisa de síntese e crítica dos artigos selecionados, para análise do conteúdo escolhido.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A CAD/CAE/CAM é a mais promissora dentre as tecnologias desenvolvidas para a área de desenvolvimento de modelos. Capaz de modelar uma peça, testar essa peça em ambiente simulado, e em seguida fabricá-lo (CHEN J. et al., 2015). Em muitos processos o CAE não é mencionado e o processo é conhecido como CAD/CAM. Muitas vezes, o CAE acaba sendo incorporado em partes pelo sistema CAD, porém em alguns casos é importante ressaltar a engenharia no processo de desenvolvimento, pois é por meio dela que se consegue otimizar os processos de produção e de desenvolvimento, gerando novos parâmetros para os modelos CAD.

Os sistemas CAD/CAE/CAM surgiram com o intuito inicial de atender as demandas tanto na engenharia aeroespacial como na automobilística, no entanto a partir de sua evolução passou a ter uma grande aceitação e importância na saúde, havendo um índice de aceitação ainda maior na odontologia. A redução de custos de fabricação foi um dos principais motivos para utilização do CAD/CAE/CAM na odontologia, também foi possível automatizar e padronizar diversos processos de desenvolvimento de próteses e restaurações.

NA ODONTOLOGIA

Dentro da área odontológica, uma área proeminente para esse uso de tecnologia, a classificação geral dos sistemas de processos de desenvolvimento assistidos por computador inclui os sistemas de laboratório e de cadeias. O sistema de laboratório, também conhecido como CAD/CAM de laboratório, é aquele que a instituição possui suas próprias ferramentas, as unidades de produção e de digitalização. Esses tipos de sistema são difundidos na área odontológica para produção de modelos e peças dentárias (por exemplo, Amann Girbach, 3M ESPE, Sirona Dental Systems, Zirkon Zahn, vhf camfacture AG, Weiland Dental, Pou-Yuen e U- Best Dental, Planmeca, KaVo Dental, Dentsply Prosthetics). Há sistemas CAD com scanner do tipo D2000 (3 Shape, Dental Wings 7 series, Dental Wings, IScan D104, Imetric 3D SA, Ceramill Mapa, AmannGirrbach, atividade 850 3D, Smart Optics), e com máquinas de usinagem para o sistema CAM (DWX-50, Roland DGA Corporation, inLab MC X5, Sirona, M5, Zirkonzahn, Tizian Cut 5 Smart, Schütz Dental; S2 Model, vhf camfacture AG), e, quando a instituição possui seu material de varredura e moagem, o sistema é conhecido como CAD/CAM de cadeias.

Há hoje uma variada gama de scanner usados na área de odontologia como: True Definition Scanner, 3M ESPE; iTero, Align Technology, Inc; Trios, 3Shape; Apollo DI, Sirona; CS 3500, Carestream Dental LLC. As informações do sistema CAD aberto são armazenadas em um arquivo STL (STereoLithography ou Standard Tessellation Language) depois de projetados e adquiridos em um sistema aberto. Posteriormente o arquivo é compartilhado com um sistema CAM de laboratório aberto a padronização desse tipo de arquivo. Quando uma barra de implantes ou algum acessório é destinado para fabricação, o arquivo STL é enviado para um centro de produção terceirizado e o modelo é verificado por meio de sistemas laboratoriais de CAD / CAM (por exemplo, InfiniDent, Sirona, Procera, Nobel Biocare, Lava, 3M ESPE, TurboDent, Pou-Yuen e U-Best Dental, Ceram M-center, Amann Girrbach, PlanEasyMill™, Planmeca) para ser restaurado ou fabricado (Steinmassl et al., 2017).

Divididos em três principais áreas: aquisição das imagens, projeção do modelo e fabricação da peça, os sistemas CAD/CAM para odontologia mostram vantagens em seu uso, das restaurações virtuais por meio de um software para realizar em seguida os cálculos dos parâmetros de modelagem, aquisição de dados e fabricação da restauração a partir de um dispositivo de usinagem computadorizado (ALGHAZZAWI, 2016). Hoje ainda grande parte dos laboratórios utilizam técnicas que consiste em receber modelos de gesso após

as consultas e realizar a estratificação, um trabalho manual que, na maioria das vezes, não conseguia resultados tão fiéis à anatomia do paciente (CHEN D. et al., 2015).

Com o advento do CAD/CAE/CAM, a possibilidade de uma modelagem mais precisa de próteses e implantes surgiu, além da possibilidade de se trabalhar com materiais que não eram convenientes para as técnicas usadas. Joo et al. (2016) apresentam resultados excelentes no tratamento de reabilitação oral completa, usando próteses cerâmica provisórias modeladas e produzidas com técnicas CAD/CAE/CAM. Shembish et al. (2016) faz em seu estudo um ensaio de fadiga de uma coroa molar composta de resina feita com técnicas CAD/CAE/CAM, que apresentam resultados excepcionais, que são majoritariamente atribuídos ao maior preenchimento do material, possibilitado pela precisão nanométrica do CAD/CAE/CAM, e a capacidade da tecnologia produzir um material mais homogêneo e denso.

Na reabilitação oral, a questão possibilidade de um melhor resultado estético das técnicas CAD/CAM foi outro fator que levou a melhor aceitação desse conhecimento na odontologia. A aplicação de implantes customizados leva a uma melhor aceitação dos pacientes e uma menor duração do procedimento cirúrgico, além da possibilidade de se trabalhar com novos materiais, que levam a um melhor resultado final desses tratamentos. Wilde et al. (2015) aborda como a introdução do CAD/CAE/CAM na saúde possibilita novos tratamentos com chapas ósseas customizadas que necessitam de menos etapas pré-cirúrgicas, possuem um encaixe ósseo mais preciso e apresentam resultados finais mais próximos dos desejados comparados aos métodos padrões existentes.

OUTRAS ÁREAS DA SAÚDE

Para outras áreas da saúde, a aquisição de imagens pode ser feita a partir de exames de tomografia computadorizada (CT), assim como tomografia computadorizada de feixe de cone (CBCT) e tomografia computadorizada de multislice (MSCT), para exames invasivos, assim como uso de scanners laser ou técnicas de fotogrametria para exames evasivos.

É interessante observar, que, apesar de oferecer uma maior qualidade de imagem para aquisição de imagens evasivas, o uso de scanners laser possui um custo muito elevado, o que leva a uma maior preferência à técnica de fotogrametria, que oferece um resultado satisfatório, rápido e de baixo custo (MUNHOZ et al., 2016). Esse é um fator importante, visto que o elevado custo dos equipamentos é um dos principais fatores que sustenta a resistência de médicos a implantação das tecnologias CAD/CAE/CAM.

No desenvolvimento do modelo 3D é necessário projetar as imagens 2D em um ambiente tridimensional, para isso é necessário converter essas imagens para esse ambiente. Na saúde, o padrão de comunicação de imagens é o DICOM, que é uma imagem 2D com um conjunto de normas e dados para transmissão, armazenamento e tratamento de informações médicas (do inglês, comunicação de imagens digitais em medicina), sendo necessária sua conversão para um arquivo vetorial CAD 3D de extensão STL. Há no mercado alguns softwares que realizam essa conversão como, InVesalius, o Standalone e o Materialise Mimics. Para fotogrametria, as imagens são obtidas em formato JPG

(Joint Photographic Experts Group) e podem ser convertidas para um sólido STL com uso de softwares como Python Photogrammetry Toolbox (PPT-GUI) e MeshLab. Scanners laser já geram o arquivo STL sem a necessidade de mais softwares.

Dentro ainda do ambiente CAD são integradas as ferramentas CAE, pois os arquivos das peças podem ser processados e manipulados, gerando novas versões e modelos. Estruturas podem ser simuladas e estudadas. Diferentes materiais podem ser testados para verificar resistência e durabilidade. Posteriormente, os arquivos obtidos por meio dos softwares CAD são processados por um software CAM, que permite que os parâmetros geométricos sejam convertidos diretamente em um conjunto de instruções de fabricação (HATAMLEH et al., 2016).

O planejamento por softwares CAD/CAE apresenta vantagens de poder manipular as imagens de variadas formas, e mesmo, a partir de segmentação e softwares potentes, combinar imagens de fontes diferentes, MSCT e CBCT a fim de evidenciar algum detalhe específico no modelo estudado. O tipo de material a ser composta a peça definirá também o tipo de processo de manufatura desta peça, como a usinagem a manufatura aditiva. A usinagem é um método para obter uma forma projetada por meio do desbaste mecânico. Esse método sempre resulta no desperdício de materiais por ser um método de fabricação subtrativa, e tem desvantagem de uma baixa reprodutibilidade, além de poder produzir microfraturas. Normalmente, é mais utilizado em produções de larga escala, e na produção de peças de grande porte (FALUDI et al., 2015).

A manufatura aditiva não apresenta esse tipo de problema da usinagem, pois não provoca desperdícios de material. Mesmo quando isso acontece o material pode ser novamente utilizado. Há várias formas de se produzir um material com manufatura aditiva, e com isso é possível obter precisões variadas e maiores complexidades nos produtos (LIAW et al., 2017). Essa técnica ainda está em fase de aceitação, devido à sua aplicação relativamente recente, sendo mais aplicada na odontologia, área em que estão sendo testados nos pacientes a partir da avaliação de conforto, desgaste e firmeza das próteses (BIDRA et al., 2015).

Na área cirúrgica, como já citado, as técnicas CAD/CAE/CAM trazem diversas novas possibilidades e melhorias. O uso de modelos tridimensionais pré-cirúrgicos permite aos cirurgiões um melhor planejamento de procedimentos, reduzindo o tempo da cirurgia, guias cirúrgicos podem ser usados para uma melhor precisão do tratamento sem danos periféricos ao paciente e fixadores cirúrgicos podem ser usados para melhorar os resultados dos procedimentos. Todos esses fatores contribuem para um menor risco de erros e procedimentos cirúrgicos mais curtos, o que diminui o tempo de exposição do paciente a infecção (WILDE et al., 2015).

Cassetta et al. (2016) avalia o uso de guias cirúrgicas customizadas desenvolvidas por CAD/CAE/CAM para corticotomia alveolar, mostrando que essas foram capazes de diminuir o tempo de cirurgia e tornar o procedimento menos invasivo. Schouman et al. (2015) ainda aborda a modelagem de fixadores cirúrgicos customizados modelados a partir de modelos 3D de resultados desejados em uma cirurgia ortognática, e produzidos com tecnologia CAD/CAE/CAM, que mostrou que o resultado pós-cirúrgicos puderam ser aproximados aos desejados com o uso dos fixadores, sendo considerado o modelo mais preciso para esse tipo de tratamento.

Noh et al. (2016) demonstra um caso clínico de reabilitação após a retirada de um tumor bucomaxilofacial com uso de tecnologia CAD/CAE/CAM para fabricação do implante, assim como do modelo cirúrgico para suporte ósseo utilizado para o procedimento. Os resultados finais foram dados como excelentes, sendo grande parte do sucesso é atribuído ao uso das tecnologias, que possibilitaram melhor preparo e diminuição do tempo de cirurgia.

Mesmo para procedimentos menos invasivos, a possibilidade de uma análise computadorizada é capaz de muitas vezes diminuir o erro humano de um procedimento. Brown et al. (2015) mostra em seu estudo que, no posicionamento do sistema de aparelho ortodôntico, pacientes que utilizaram moldes customizados produzidos por processos assistidos por computador, para aplicação indireta do aparelho, apresentaram tempo de tratamento mais curto, atribuído ao uso de torque específico no tratamento de cada paciente, quando comparado à aplicação direta por um dentista ou pelo uso de moldes de forma tradicional.

Munhoz et al. (2016) explora a aplicação dessas técnicas para confeccionar próteses de fixação customizadas para tratamento de displasia do desenvolvimento do quadril em bebês, apresentando resultados que possibilitam a confecção de próteses mais confortáveis e eficientes, além disso, feitas com materiais mais resistentes à água e que permitem uma higiene melhor, ao contrário do termoplástico, principal material utilizado para imobilização nos últimos anos.

Infelizmente, ainda existe certa resistência quanto à implantação desses sistemas assistidos por computador em algumas áreas da saúde. O alto custo de implementação desses sistemas, somado com a necessidade de técnicos especializados para administrar suas tecnologias, assim como o número maior de passos dentro de um procedimento médico realizado com essa tecnologia faz com que haja resistência de alguns clínicos quanto ao seu uso (NOH et al., 2016). Outro fator que dificulta uma maior projeção dessa tecnologia está na falta de um consenso de avaliação definida de seus benefícios, que faz com que, mesmo com um crescente número de estudos na área, não se tenha dados concretos das vantagens que ela traz.

Com isso, podemos afirmar que as principais vantagens desse sistema estão associadas à customização de procedimentos e modelos sem elevação de custos, possibilidade de precisão e complexidade dos modelos, com planejamento mecânico da estrutura conforme demanda, inclusão de materiais e planejamento cirúrgico. Vale ressaltar que essa técnica ainda precisa ser amplamente divulgada entre os profissionais e estudantes da área. Por outro lado, suas principais desvantagens se incluem os custos dos equipamentos e alguns materiais, além do tempo de construção de modelos, o que muitas vezes impede seu uso em casos emergenciais. É necessário também mais estudos sobre a durabilidade dos novos materiais (BAROUDI; IBRAHEEM, 2015). Ainda assim, é claro que mesmo os melhores profissionais da saúde podem se beneficiar de alguma forma com as ferramentas de CAD/CAE/CAM.

DISCUSSÃO

Sempre se buscou por tecnologias que otimizem processos, melhorem a qualidade dos resultados, reduzam os custos e melhore a qualidade de vida. Também se faz hoje necessário analisar um investimento a curto e longo prazo para se calcular os reais benefícios que virão, com o alto custo em investimentos na saúde.

A tecnologia de desenvolvimento e produção assistida por computador CAD/CAE/CAM traz uma nova visão para técnicas antigas na área de saúde. Com o uso de imagens médicas precisas e scanners de alta qualidade peças sob medida podem ser desenvolvidas de acordo com o paciente. Esse desenvolvimento assistido por computador, pode reduzir o risco em cirurgias, reduzir o desconforto de pacientes, aumentar a durabilidade dos implantes, simular modelos e melhorar a qualidade de vida dos usuários.

A preocupação com a saúde do paciente leva à procura por melhorias em seu processo de atendimento, desde a consulta até os resultados esperados e alcançados para cada procedimento. Reabilitar um paciente pós tratamento oncológico, por exemplo, tornou-se uma tarefa mais simples por meio do uso de técnicas menos invasivas. A inclusão da tecnologia CAD/CAE/CAM traz uma nova perspectiva ao processo, pois é possível extrair de um exame a anatomia perfeita do paciente, usando a ferramenta CAD. Com essa imagem do exame convertido em modelo 3D, tem-se a capacidade de analisar detalhes antes vistos somente no ato do contato com o paciente, quando esse já estava na mesa de cirurgia. Essa ferramenta permite um planejamento cirúrgico em computador, reduzindo o tempo cirúrgico real e o risco para o paciente. Além disso, em casos de substituição óssea, por exemplo, pode-se utilizar as ferramentas CAE para otimização de estrutura e controle de peso. E com as ferramentas CAM construir essa estrutura por processo aditivo ou por usinagem com alta precisão, buscando detalhes em relação ao material e à sua qualidade de estética, se for isso o objetivo do paciente.

A expansão dessa tecnologia CAD/CAE/CAM traz inúmeros benefícios. O que é necessário agora é sua divulgação, para que todos possam ter acesso ao serviço, melhorando a qualidade de vida dos pacientes. Assim como também são necessárias novas pesquisas científicas, para que seja mostrado o grande potencial da tecnologia 3D em outras áreas da saúde que ainda não aceitam essa tecnologia, ou que ainda possuem receio de usá-la.

Portanto, com o incentivo às novas tecnologias, podemos ter um próspero futuro, e ter esperança que possamos melhorar cada vez mais, com melhores resultados, sempre buscando a inovação como meta de melhorar o que existe, exibindo qualidade e eficiência nas mais diversas áreas da saúde. Assim, tornando o impossível perfeitamente viável.

REFERÊNCIAS

ALBERICH-BAYARRI, Á. et al. Reproducibilidad y exactitud en la cuantificación morfológica y mecánica del hueso trabecular a partir de imágenes de resonancia magnética de Tesla. **Radiologia**, v. 56, n. 1, p. 27-34, jan./feb. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rx.2013.06.001>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

ALGHAZZAWI, T. F. Advancements in CAD/CAM technology: options for practical implementation. **Journal of Prosthodontic Research**, v. 60, n. 2, p. 72-84, apr. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jpor.2016.01.003>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

ANTONELLO, Sabrina et al. Electron transfer through 3D monolayers on Au₂₅ clusters. **ACS nano**, v. 8, n. 3, p. 2788-2795, 2014.

BALLARD, D. H. et al. Clinical Applications of 3D Printing: primer for radiologists. **Academic Radiology**, v. 25, n. 1, p. 52-65, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.acra.2017.08.004>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

BAROUDI, K.; IBRAHEEM, S. N. Assessment of Chair-side Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing Restorations: a review of the literature. **Journal of International Oral Health**, v. 7, n. 4, p. 96-104, apr. 2015. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25954082>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

BAVI, R. et al. Exploration of Novel Inhibitors for Bruton's Tyrosine Kinase by 3D QSAR Modeling and Molecular Dynamics Simulation. **PLoS ONE**, v. 11, n. 1, p. 1-20, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147190>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

BUKHIN, Michael et al. **Methods and systems for managing energy usage in buildings**. U.S. Patent n. 9,026,261, 5 maio 2015.

BROWN, M. W. et al. Effectiveness and efficiency of a CAD/CAM orthodontic bracket system. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v. 148, n. 6, p. 1067-1074, dec. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.07.029>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

CASSETTA, M. et al. Minimally invasive corticotomy in orthodontics using a three-dimensional printed CAD/CAM surgical guide. **International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, v. 45, n. 9, p. 1059-1064, sept. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijom.2016.04.017>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

CHEN, D. et al. Direct digital manufacturing: definition, evolution, and sustainability implications. **Journal of Cleaner Production**, v. 107, p. 615-625, nov. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.009>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

CHEN, J. et al. Shape optimization for additive manufacturing of removable partial dentures - A new paradigm for prosthetic CAD/CAM. **PLoS ONE**, v. 10, n. 7, p. 1-17, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132552>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

CIOCCA, L. et al. Custom-made novel biomimetic composite scaffolds for the bone regenerative medicine. **Materials Letters**, v. 136, p. 393-396, dec. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.matlet.2014.08.097>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

CRAMER, R. D. Template CoMFA generates single 3D-QSAR models that, for twelve of twelve biological targets, predict all ChEMBL-tabulated affinities. **PLoS ONE**, v. 10, n. 6, p. 1-23, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129307>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

DALL'ASTA, A. et al. Quantitative analysis of fetal facial morphology using 3D ultrasound and statistical shape modeling: a feasibility study. **American Journal of Obstetrics and Gynecology**, v. 217, n. 1, p. 76.e1-76.e8, july 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ajog.2017.02.007>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

EDWARDS, S. F. The statistical mechanics of polymerized material. **Proceedings of the Physical Society**, v. 92, n. 1, p. 9, 1967.

JACOTTI, Michele; BARAUSSE, Carlo; FELICE, Pietro. Posterior atrophic mandible rehabilitation with onlay allograft created with CAD-CAM procedure: a case report. **Implant dentistry**, v. 23, n. 1, p. 22-28, 2014.

JAMBHEKAR, Shantanu; KERNEN, Florian; BIDRA, Avinash S. Clinical and histologic outcomes of socket grafting after flapless tooth extraction: a systematic review of randomized controlled clinical trials. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 113, n. 5, p. 371-382, 2015.

JOO, H.-S. et al. Complete-mouth rehabilitation using a 3D printing technique and the CAD/CAM double scanning method: a clinical report. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 116, n. 1, p. 3-7, july 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.01.007>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

KANG, S. H. et al. Orthognathic Y-splint: a CAD/CAM-engineered maxillary repositioning wafer assembly. **British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, v. 52, n. 7, p. 667-669, sept. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2014.01.023>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

KHAN, Z. A.; CHACKO, V.; NAZIR, H. A review of friction models in interacting joints for durability design. **Friction**, v. 5, n. 1, p. 1-22, mar. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s40544-017-0143-0>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

LEE, J. W. et al. Precision of a CAD/CAM-engineered surgical template based on a facebow for orthognathic surgery: an experiment with a rapid prototyping maxillary model. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology**, v. 120, n. 6, p. 684-692, dec. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.oooo.2015.07.007>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

LIN, W. S. et al. Use of intraoral digital scanning for a CAD/CAM-fabricated milled bar and superstructure framework for an implant-supported, removable complete dental prosthesis. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 113, n. 6, p. 509-515, june 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.01.014>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

LÜHRS, A. K. et al. Curing mode affects bond strength of adhesively luted composite CAD/CAM restorations to dentin. **Dental Materials**, v. 30, n. 3, p. 281-291, mar. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.dental.2013.11.016>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

MA, X. et al. Deterministically patterned biomimetic human iPSC-derived hepatic model via rapid 3D bioprinting. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 8, p. 2206-2211, feb. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1073/pnas.1524510113>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

MACDONALD, E.; WICKER, R. Multiprocess 3D printing for increasing component functionality. **Science**, v. 353, n. 6307, sept. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1126/science.aaf2093>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

MACÍAS, D.; STIPS, A.; GARCIA-GORRIZ, E. The relevance of deep chlorophyll maximum in the open Mediterranean Sea evaluated through 3D hydrodynamic-biogeochemical coupled simulations. **Ecological Modelling**, v. 281, p. 26-37, june 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.03.002>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

MARTIN, J. H. et al. 3D printing of high-strength aluminium alloys. **Nature**, v. 549, p. 365-369, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/nature23894>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

MATSUNAGA, F. Takeshi; RAKOCEVIC, M.; BRANCHER, J. D. Modeling the 3D structure and rhythmic growth responses to environment in dioecious yerba-mate. **Ecological Modelling**, v. 290, p. 34-44, oct. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.10.035>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

MICHALSKI, M. H.; ROSS, J. S. The shape of things to come: 3D printing in medicine. **Journal of the American Medical Association**, v. 312, n. 21, p. 2213-2214, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1001/jama.2014.9542>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

MORETTO, Emerson G. et al. Elaboração de próteses auriculares individualizadas por meio de manufatura auxiliada por computador. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, 36., 2016, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: [s.n.], 2016.

- MOUSLY, H. A. Marginal and internal adaptation of ceramic crown restorations fabricated with CAD/CAM technology and the heat-press technique. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 112, n. 2, p. 249-256, aug. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2014.03.017>>. Acesso em: 16 fev. 2018.
- MUNHOZ, R. et al. A digital approach for design and fabrication by rapid prototyping of orthosis for developmental dysplasia of the hip. **Research on Biomedical Engineering**, v. 32, n. 1, p. 63-73, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/2446-4740.00316>>. Acesso em: 16 fev. 2018.
- NING, H. et al. Holographic patterning of high-performance on-chip 3D lithium-ion microbatteries. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 21, p. 6573-6578, may 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1073/pnas.1423889112>>. Acesso em: 16 fev. 2018.
- NOH, K. et al. Fabricating a tooth- and implant-supported maxillary obturator for a patient after maxillectomy with computer-guided surgery and CAD/CAM technology: a clinical report. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 115, n. 5, p. 637-642, may 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.10.015>>. Acesso em: 16 fev. 2018.
- RAO, J. C. et al. Secondary phases in Al x CoCrFeNi high-entropy alloys: an in-situ TEM heating study and thermodynamic appraisal. **Acta Materialia**, v. 131, p. 206-220, 2017.
- SCHOUMAN, T. et al. Accuracy evaluation of CAD/CAM generated splints in orthognathic surgery: a cadaveric study. **Head and Face Medicine**, v. 11, n. 1, p. 1-9, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/s13005-015-0082-9>>. Acesso em: 16 fev. 2018.
- SHEMBISH, F. A. et al. Fatigue resistance of CAD/CAM resin composite molar crowns. **Dental Materials**, v. 32, n. 4, p. 499-509, apr. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.12.005>>. Acesso em: 16 fev. 2018.
- STAPLETON, B. M. et al. Application of digital diagnostic impression, virtual planning, and computer-guided implant surgery for a CAD/CAM-fabricated, implant-supported fixed dental prosthesis: a clinical report. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 112, n. 3, p. 402-408, sept. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2014.03.019>>. Acesso em: 16 fev. 2018.
- STEINMASSL, P. A. et al. Do CAD/CAM dentures really release less monomer than conventional dentures? **Clinical Oral Investigations**, v. 21, n. 5, p. 1697-1705, june 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00784-016-1961-6>>. Acesso em: 16 fev. 2018.
- TORABI, K.; FARJOOD, E.; HAMEDANI, S. Rapid Prototyping Technologies and their Applications in Prosthodontics, a Review of Literature. **Journal of Dentistry (Shīrāz, Iran)**, v. 16, n. 1, p. 1-9, mar. 2015. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=4345107&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

VOGELTANZ, T. A survey of free software for the design, analysis, modelling, and simulation of an unmanned aerial vehicle. **Archives of Computational Methods in Engineering**, v. 23, n. 3, p. 449-514, sept. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11831-015-9147-y>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

WEISS, H. R.; KLEBAN, A. Development of CAD/CAM based brace models for the treatment of patients with scoliosis-classification based approach versus finite element modelling. **Asian Spine Journal**, v. 9, n. 5, p. 661-667, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.4184/asj.2015.9.5.661>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

WILDE, F. et al. Multicenter study on the use of patient-specific CAD/CAM reconstruction plates for mandibular reconstruction. **International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery**, v. 10, n. 12, p. 2035-2051, dec. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11548-015-1193-2>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

ZANDINEJAD, A. et al. Virtually designed and CAD/CAM-fabricated lithium disilicate prostheses for an esthetic maxillary rehabilitation: a senior dental student clinical report. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 113, n. 4, p. 282-288, apr. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2014.10.003>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

SOBRE OS AUTORES

CUSTÓDIO LEOPOLDINO DE BRITO GUERRA NETO

Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Professor Associado e Coordenador do Programa de Pós-graduação em Gestão e Inovação em Saúde da UFRN. <http://lattes.cnpq.br/5387010100082241>

DANILO ALVES PINTO NAGEM

Doutor em Engenharia Mecânica com ênfase em Bioengenharia pela UFMG. Professor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, trabalhando no departamento de Engenharia Biomédica. <http://lattes.cnpq.br/5934458385325202>

ERIVAN TEIXEIRA SILVA FILHO

Graduado em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. Trabalha na Secretaria Municipal de Saúde (SMS). <http://lattes.cnpq.br/6701958979602579>

GUSTAVO KLEBER BEZERRA COUTINHO

Graduado em Ciências e Tecnologia, graduando no Curso de Engenharia Biomédica, na Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. Atualmente pesquisador do Laboratório de Inovação Tecnológica em Saúde (LAIS) na área de Bioengenharia e Informática em saúde no projeto Telessaúde Brasil Redes Núcleo Rio Grande do Norte/Paraíba. <http://lattes.cnpq.br/9075013266497696>

HÉLIO ROBERTO HÉKIS

Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas, área de concentração em Gestão de Negócios pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Professor Adjunto IV do Departamento de Engenharia Biomédica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). <http://lattes.cnpq.br/9599726799047515>

JONAS DE PAIVA VIEIRA JUNIOR

Graduando em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. <http://lattes.cnpq.br/7434751525232897>

KARILANY DANTAS COUTINHO

Doutora em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Professora Adjunta da UFRN, lotada no Departamento de Engenharia Biomédica. <http://lattes.cnpq.br/8409211766785367>

MATEUS DE MEDEIROS JALES

Graduado em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. Discente do Curso de Especialização em Engenharia Clínica pela Faculdade de Estudos Administrativos de Minas Gerais, FEAD. <http://lattes.cnpq.br/5079097524378727>

RICARDO ALEXSANDRO DE MEDEIROS VALENTIM

Doutor em Engenharia Elétrica e de Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Professor Adjunto IV da UFRN, lotado no Departamento de Engenharia Biomédica. Atualmente é Coordenador de Tecnologia da Informação e Comunicação na Secretaria de Educação a Distância (SEDIS/UFRN) e do Laboratório de Inovação Tecnológica em Saúde da UFRN/HUOL/EBSERH. <http://lattes.cnpq.br/3181772060208133>

ÓRTESES E PRÓTESES APLICADAS À TECNOLOGIA 3D NA SAÚDE: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

*Leonardo Gurgel Correia de Azevedo / Luiz Otávio Santana Baía Junior /
Matheus da Silva Oliveira / Nadyne Dayonara Maurício de Amorim /
Karilany Dantas Coutinho / Danilo Alves Pinto Nagem /
Custódio Leopoldino de Brito Guerra Neto / Hélio Roberto Hékis /
Ricardo Alexsandro de Medeiros Valentim*

RESUMO

A tecnologia de impressão 3D tem emergido como uma ferramenta poderosa e flexível nas mais diversas áreas de aplicação. Mais recentemente, mostrou-se forte aliada da saúde, sendo, principalmente, empregada no meio cirúrgico para o planejamento pré e intraoperatório, para a educação de pacientes e estudantes e para fabricação de dispositivos médicos personalizados e com grande precisão para os pacientes. Em decorrência do aumento da expectativa de vida, espera-se que o uso de equipamentos como órteses e próteses cresça consideravelmente de modo que os indivíduos possam manter certo nível de bem-estar. Este trabalho, revisa os dispositivos de órteses e próteses mais recentes, elaborados a partir de impressão 3D. Além disso, são explorados os materiais utilizados para a fabricação desses equipamentos, bem como custos e os desafios e aplicações futuras da tecnologia 3D no processo de desenvolvimento de órteses ou próteses.

Palavras-chave: Prosthetic. Orthosis. Prosthesis. 3D printing. 3D health.

INTRODUÇÃO

A impressão tridimensional (3D), também conhecida como prototipagem rápida ou manufatura aditiva (CRAFTS et al., 2016), foi primeiramente criada por Charles Hull, em 1986 (VUKICEVIC et al., 2017), quando foi vista como cara, futurista e com aplicações clínicas limitadas (MULFORD; BABAZADEH; MACKAY, 2016). Desde então, a tecnologia se desenvolveu e passou a ser bem valorizada na área aeroespacial, indústria de alimentos, engenharia, artes e até educação.

Dentre as diversas técnicas de impressão 3D, as técnicas de fotopolimerização por estereolitografia (SLA); processamento de luz direto ou digital (DLP) e por direcionamento contínuo de luz (DLP), também conhecido por produção contínua de interface líquida (CLIP); através do pó com laser seletivo (SLS); laser sintético para metal (DMLS); laser seletivo por fusão (SLM) e fusão por feixe de elétrons (EBM); por jato de tinta com modelagem multijet (MJM); deposição de cera (WDM); transferência a laser (LIFT) e jateamento de fichas (BJ); de extrusão com deposição fundida (FMD) e escrita direta a tinta (DIW) são algumas desenvolvidas para aplicações específicas e prometem desempenhar importante papel para a evolução da medicina.

Mesmo que a tecnologia já exista há mais de três décadas, apenas recentemente ela atingiu certo nível adequado de perfeição para aplicações que envolvem cuidados de saúde (ZADPOOR; MALDA, 2016). Impressoras 3D estão permitindo produzir modelos anatômicos sob condições quaisquer de saúde e dispositivos personalizados para pacientes com anomalias específicas, ao passo em que atribuem precisão mesmo a objetos com forma complexa. Tudo isso aliado à capacidade de construir estruturas por meio de uma grande facilidade de conversão de formatos, possibilitando também uma demanda industrial com grande produtividade de modo a diminuir os custos. Como resultado, a impressão 3D está sendo ensinada como técnica de manufatura nos cuidados da saúde e da medicina em ampla escala de aplicação que inclui dentistas, diversas engenharias e medicina regenerativa e formulação de drogas, emergindo no que diz respeito ao comércio de produtos médicos, pesquisas e impressão de órgãos.

A técnica de impressão 3D, a partir de imagens médicas como a tomografia computadorizada e a ressonância magnética, proporciona um design customizado e específico de alta complexidade para cada paciente, descartando a sensação de desconforto do usuário quando submetido aos métodos tradicionais de fabricação nos quais comprimia e injetava um molde e posteriormente a diluição da peça.

Na odontologia, a primeira aplicabilidade da impressão 3D foi a construção de moldes de cera utilizando SLA. Depois disso, houve uma drástica mudança no processo de escaneamento intraoral, na acessibilidade a impressoras 3D e no desenvolvimento de biomateriais impressos, sendo possível criar/restaurar modelos físicos, guias cirúrgicos e aplicação ortodôntica usando a impressora 3D. Se a preocupação é o tempo, a acurácia ou o gasto, as impressoras à base de pó (SLA, DLP, MJM) cumprem as expectativas pela rápida fabricação, alta resolução, baixo custo, bom acabamento da superfície e a habilidade de criar corpos complexos como dentes, textura parecida com a gengiva e canais nervosos.

Diversas instituições médicas têm fabricado e utilizado instrumentos cirúrgicos impressos em 3D, como guias intraoperatórios e bisturis. Aplicações diversas não param de surgir nas áreas de ortopedia, cardiologia, cirurgia craniomaxilofacial, urologia, oncologia, farmacologia e reabilitação, principalmente no que se refere a órteses, próteses e implantes.

Para implantes, as propriedades superficiais e a força mecânica são essenciais para o alto desempenho. As tecnologias de impressão 3D em pó oferecem alta qualidade e muitos materiais biocompatíveis e implantáveis.

Uma órtese é um dispositivo assistivo que auxilia no sistema musculoesquelético, deve ser simples, leve, durável e fácil de usar. Pode ser classificada como uma órtese estática ou dinâmica. Na estática, não se deve ter movimento e deve oferecer uma rígida imobilização à região lesionada, de forma que o peso do paciente alongue os músculos e restrinja o movimento do local para que haja recuperação. Na dinâmica, há uma certa liberdade na articulação para que haja movimento (SANTOS et al., 2017). Já as próteses são equipamentos que substituem membros, órgãos, tecidos ou funções do corpo. Ambas podem ser permanentes ou transitórias, externas ou internas.

De acordo com a Organização Mundial de Saúde, existem cerca de um bilhão de pessoas com deficiências no mundo (BAUERMEISTER; ZURIARRAIN; NEWMAN, 2016). Com o aumento da expectativa de vida em função do desenvolvimento tecnológico, é esperado que essa quantidade aumente. A fim de manter boa qualidade de vida, também se espera que cresça a demanda por órteses e próteses.

Nesta revisão, são explorados os dispositivos de órteses e próteses mais recentes construídos por meio de impressão 3D. São também discutidos os materiais mais empregados para a fabricação desses equipamentos, aspectos referentes a custos e finalmente os desafios e aplicações futuras da tecnologia 3D relacionada ao desenvolvimento de órteses ou próteses para a disseminação de seu uso e a afirmação da técnica enquanto parceira na evolução da saúde.

METODOLOGIA

A revisão bibliográfica foi dividida em diversas etapas para otimização do tempo, as quais estão descritas a seguir.

1ª Etapa: identificação do tema e seleção da hipótese ou questão de pesquisa para a elaboração da revisão

Tema: Tecnologia 3D na saúde.

Subtema: Órteses e Próteses aplicada a Tecnologia 3D na Saúde.

Problema: Alto custo de próteses e órteses no mercado.

Hipótese: A utilização de impressoras 3D está se expandindo a tal ponto que, no futuro, será apropriada para baratear os custos de produção, com construções impressas, mantendo as mesmas propriedades que teriam sido fabricadas por métodos convencionais.

2ª Etapa: estabelecimento de critérios para inclusão e exclusão de estudos/amostragem ou busca na literatura

As buscas por artigos foram realizadas na biblioteca virtual portal de periódicos da CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – e na base de dados Scopus. As palavras-chave utilizadas foram relacionadas a próteses e órteses voltadas a impressão 3D. Limitaram-se as buscas aos artigos publicados entre 2014 e 2017, na língua portuguesa, inglesa e espanhola, com pelo menos uma citação. Dentre os 1315 artigos encontrados na pesquisa, foram selecionados 40 a partir dos critérios de exclusão. Foram excluídos os artigos cujo dispositivo gerado não foi produzido por impressão 3D e em que foi dado foco demasiado ao planejamento cirúrgico, à educação e comunicação médica ou sobre os tipos de métodos de impressão 3D.

3ª Etapa: definição das informações a serem extraídas dos estudos selecionados/categorização dos estudos e avaliação dos estudos incluídos na revisão integrativa e interpretação de resultados

Os artigos selecionados foram sumarizados e organizados na seguinte tabela, contendo título, ano de publicação, número de citações, local de publicação e autores de cada trabalho.

<i>3D Printing: Print the Future of Ophthalmology</i>	
Ano de publicação: 2014	Número de citações: 5
Local da publicação: Investigative ophthalmology & visual science, 26 Aug. 2014, v. 55, n. 8, p. 5380-5381	Autores: Huang and Zhang
Principal contribuição: O artigo aborda sobre o potencial das impressoras 3D, em um futuro próximo e sua aplicabilidade, principalmente, no ramo da oftalmologia.	
<i>Fabrication of low cost soft tissue prostheses with the desktop 3D printer</i>	
Ano de publicação: 2014	Número de citações: 92
Local da publicação: Sci. Rep. 4, p. 6973, 2014. DOI:10.1038/srep06973	Autores: Yong He, Guang-huai Xue & Jian-zhong Fu
Principal contribuição: O artigo alerta sobre a popularidade futura de uma impressora 3D e de seu uso para fabricar prótese de tecidos moles. Essas próteses ainda possuem um elevado custo, que pode ser reduzido se confeccionadas com impressoras 3D mais acessíveis.	

Continuação

<i>Challenges in engineering large customized bone constructs</i>	
Ano de publicação: 2017	Número de citações: 3
Local da publicação: Biotechnology and Bioengineering, v. 114, n. 6, p. 1129-1139	Autores: Forrestal, D.P., Klein, T.J., Woodruff, M.A.
Principal contribuição: Este trabalho apresenta uma revisão da variedade de tecnologias que envolve <i>scaffolds</i> , grande aposta para a engenharia de tecidos.	
<i>Rapid prototyping of a complex model for the manufacture of plaster molds for slip casting ceramic</i>	
Ano de publicação: 2014	Número de citações: 1
Local da publicação: Cerâmica, 01 December 2014, v. 60, n. 356, p. 465-470	Autores: D. P. C. Velazco, E. F. Sancet, F. Urbaneja, M. Piccico, M. F. Serra, M. F. Acebedo, G. Suárez, N. M. Rendtorff
Principal Contribuição: Este estudo relata a capacidade de produzir modelos de alta resistência, grande precisão e semelhança, utilizando máquina de prototipagem rápida. Essa tecnologia pode abordar diversas áreas, possibilitando economia de tempo e custo.	
<i>A comparative finite elemental analysis of glass abutment supported and unsupported cantilever fixed partial denture</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 1
Local da Publicação: Dental Materials, v. 31, n. 5, p. 514-521, May 2015	Autores: Ramakrishaniah, Al kheraif, Elsharawy, Alsaleh, Mohamed and Rehmand
Principal contribuição: O artigo relata a distribuição de cargas em próteses de <i>cantilever</i> , com e sem base de vidro através de análise de elementos finitos.	
<i>Cyborg beast: a low-cost 3d-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 21
Local da Publicação: BMC research notes, v.8, p.1020, Jan. 2015	Autores: Zuniga, Katsavelis, Peck,Stollberg,Petrykowski,Carson and Fernandez
Principal contribuição: O artigo fala sobre uma determinada prótese articulada de mão, desenvolvida principalmente para crianças pelo seu baixo custo de fabricação.	

Continuação

<i>Development and Evaluation of a CAD/3DP Process for Transtibial Socket Fabrication</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 1
Local da publicação: Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications, v. 27, n. 5, 2015	Autores: Tzeng, Hsu and Chang
Principal contribuição: O artigo aborda a criação de uma soquete para prótese de joelho, usando engenharia reversa e software CAD para modelagem e impressão 3D do soquete. Além disso, utiliza a relação biomecânica do rolamento do tendão patelar para realização de movimentos com o rolamento de superfície total, para distribuir as cargas impostas no local e assim conseguir ter uma boa estabilidade.	
<i>Case study: Hybrid model for the customized wrist orthosis using 3D printing</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 4
Local da publicação: Journal of Mechanical Science and Technology, v. 29, n. 12, p. 5151-5156, 2015	Autores: Kim and Jeong
Principal contribuição: O artigo indica os problemas da órtese de punho feita com gesso: é pesada, não-removível e não-ventilada, gerando problemas de pele e de articulação e ligamento. Com isso, a equipe resolveu criar uma órtese híbrida por impressão 3D, para evitar os problemas da órtese de gesso, dividindo a órtese híbrida em duas partes, uma parte interna impressa 3D ao redor da pele e uma parte externa mais grossa que protege de forças externas. Sendo mais ventilada, leve e força correta.	
<i>Printed three-dimensional airway model assists planning of single-lung ventilation in a small child</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 2
Local da publicação: Oxford University Press on behalf of the British Journal of Anaesthesia, 2015	Autores: C. A. Wilson, O. J. Arthurs, A. E. Black, S. Schievano, C. Hunt, S. van Hoog, C. Wallis, and M. R. J. Sury
Principal contribuição: O artigo apresenta um modelo anatômico impresso em 3D, para auxiliar no planejamento e execução de uma intubação brônquica de uma criança. O modelo ajudou na escolha do tipo e do tamanho do tubo brônquico.	
<i>Shape Optimization for Additive Manufacturing of Removable Partial Dentures - A New Paradigm for Prosthetic CAD/CAM</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 2
Local da publicação: PLoS ONE, v. 10, n. 7: e0132552.	Autores: Junning Chen, Rohana Ahmad, Hanako Suenaga, Wei Li, Keiichi Sasaki, Michael Swain, Qing Li
Principal contribuição: Trata-se do desenvolvimento de um procedimento que permite otimização da fabricação de próteses parciais removíveis, utilizadas na área odontológica, a fim de uniformizar a distribuição da pressão que a prótese causa na mucosa e, conseqüentemente, reduzir complicações clínicas associadas. Essas próteses parciais foram obtidas através da tecnologia de impressão 3D e avaliadas com testes <i>in vitro</i> .	

Continuação

<i>Three-Dimensional Finite Element Analysis of Anterior Single Implant-Supported Prosthesis with Different Bone Anchorages</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 1
Local da publicação: The Scientific World Journal, v. 2015, p. 10, 2015	Autores: Fellippo Ramos Verri, Joel Ferreira Santiago Júnior, Daniel Augusto de Faria Almeida, Ana Caroline Gonçalves Verri, Victor Eduardo de Souza Batista, Cleidiel Aparecido Araujo Lemos, Pedro Yoshito Noritomi and Eduardo Piza Pellizzer
Principal contribuição: O estudo apresenta uma avaliação da distribuição de estresse da colocação de um implante, através da análise em três dimensões, utilizando o método de elementos finitos. Foram realizadas simulações biomecânicas para observar a qualidade do enxerto.	
<i>3D Printing/Additive Manufacturing Single Titanium Dental Implants: A Prospective Multicenter Study with 3 Years of Follow-Up</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 5
Local da publicação: International Journal of Dentistry, v. 2016, p. 9, 2016	Autores: Tunchel, Blay, Kolerman, Mijiritsky and Awad Shibli
Principal contribuição: Estudo sobre implantes dentários de titânio com o auxílio de impressora 3D, para pré-visualização do procedimento cirúrgico.	
<i>A 3D-printed functioning anatomical human middle ear model</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 1
Local da publicação: Hearing Research, October v. 340, p. 204-213, 2016	Autores: Kuru, Maier, Müller, Lenarz and Lueth
Principal contribuição: O artigo aborda a utilização da tecnologia de impressoras 3D para imprimir determinadas partes do ouvido humano e conseguir fazer seu preenchimento com silicone, a fim de reproduzir a anatomia do tímpano.	
<i>Complete-mouth rehabilitation using a 3D printing technique and the CAD/CAM double scanning method: A clinical report</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 2
Local da publicação: The Journal of Prosthetic Dentistry, v. 116, n. 1, p. 3-7, Jul. 2016	Autores: Joo, Park, Yun, and Lim
Principal contribuição: O artigo aborda o uso de impressoras 3D no processo de reconstrução bucomaxilofacial	

Continuação

<i>Design and Fabrication of a Six Degree-of-Freedom Open Source Hand</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 1
Local da publicação: IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, v. 24, n. 5, p. 562-572, May 2016	Autores: Krausz, Rorrer and Weir
Principal contribuição: O artigo relata sobre próteses mioelétricas, voltadas para pacientes com amputação de membro superior e o baixo custo, quando utilizadas impressoras 3D.	
<i>Development of novel 3D-printed robotic prosthetic for transradial amputees</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 3
Local da publicação: Prosthetics and Orthotics International, v. 40, n. 3, p. 400-403, 2016	Autores: Gretsch, Lather, Peddada, Deeken, Wall and Goldfarb
Principal contribuição: O artigo relata a utilização de impressoras 3D para baratear o custo de produção em próteses mioelétricas, para pacientes com amputação transradial.	
<i>A Novel Method of Orbital Floor : Reconstruction Using Virtual Planning, 3-Dimensional Printing, and Autologous Bone</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 2
Local da publicação: Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, v. 74, n. 8, p. 1608-1612 Aug. 2016	Autores: Vehmeijer, Eijnatten, Liberton e Wolff
Principal contribuição: O artigo relata o uso de enxertos de osso autólogo e seu problema de quebrar facilmente. Aponta que os problemas das malhas de titânio são seu peso e a escultura quebra facilmente, se dobrada com muita força, além de sua capacidade de ser reabsorvida aleatoriamente. Porém, uma boa fixação do enxerto no piso orbital pode evitar tais complicações. Com o avanço do processamento digital de imagens médicas (Tomografia computadorizada) e na impressão 3D, podem customizar enxertos com placas de titânio de reconstrução orbital, criando um implante orbital individual para um paciente singular.	

Continuação

3D-Printing Technologies for Craniofacial Rehabilitation, Reconstruction, and Regeneration	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 1
Local da publicação: Annals of Biomedical Engineering, v. 45, n. 1, p. 45-57, Jan. 2017	Autores: Nyberg, Farris, Hung, Dias, Garcia, Dorafshar and Grayson
<p>Principal contribuição: O artigo mostra a complexidade do tratamento de defeitos craniofaciais, devido sua variação tecidual e estrutura anatômica complexa regional. O uso da impressão 3D para criar soluções específicas para cada paciente se mostra aceitável. Usando 3 abordagens: reabilitação (que usa tecnologia 3D para materiais customizados que cubram ou reponham tecidos danificados), reconstrução (que com cirurgia plástica e manufatura aditiva, constroem implantes médicos para cada paciente) e regeneração (que usa engenharia tecidual para repor os materiais biológicos danificados, com uso de <i>scaffolds</i>), mostrando a vantagem destas abordagens ao utilizar impressão 3D.</p>	
3D printed polyurethane prosthesis for partial tracheal reconstruction: a pilot animal study	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 2
Local da publicação: Biofabrication, v. 8, n. 4, Oct. 2016	Autores: Jung, Lee, Kim, Park, ZhanWang, Kim, Yoo, Chung and Kim
<p>Principal contribuição: Esse artigo trata da impressão 3D de uma prótese de colágeno traqueal, que será usada para tratar de um defeito traqueal de coelhos, com uso de microestruturas porosas de Poliuretano impresso 3D, que possuem propriedades mecânicas boas para realização do movimento traqueal. Além do uso de <i>scaffolds in vivo</i>, no defeito anterior traqueal dos coelhos, obtendo uma boa conexão do implante traqueal, no local, e de um bom cultivo dos <i>scaffolds</i>, mantendo as propriedades biomecânicas por um bom tempo, algo que não ocorria atualmente.</p>	
3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 6
Local da publicação: BioMedical Engineering OnLine, v.15, n. 1, Oct. 2016	Autores: Tack, Philip, Victor, Jan, Gemmel, Paul, Annemans, Lieven
<p>Principal contribuição: O artigo aborda as diversas aplicações da manufatura aditiva na medicina e como elas têm melhorado a qualidade de vida dos pacientes, além da economia gerada por seu uso.</p>	

Continuação

<i>Three-Dimensional Printing of Prosthetic Hands for Children</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 1
Local da publicação: Journal of Hand Surgery, v. 41, n. 5, p. 103-109, May 2016	Autores: Burn, Ta, Gogola
Principal contribuição: O artigo mostra as dificuldades da criação de próteses de mão para crianças, devido ao seu tamanho variável por problema congênito ou traumático, além da constante mudança do tamanho por estarem em fase de crescimento. No caso a impressão 3D conseguiu criar próteses ásperas, leves, de fácil reposição e baratas para estas crianças.	
<i>Applications of Three-Dimensional Printing in Surgery</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de Citações: 3
Local da publicação: Surgical Innovation, [s.l.], v. 24, n. 1, p. 82-88	Autores: LI et al.
Principal contribuição: Esse artigo revisa as aplicações de impressão 3D na área cirúrgica, descrevendo também possibilidades futuras e limitações da técnica.	
<i>Three-Dimensional Printing in Plastic and Reconstructive Surgery</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 4
Local da publicação: Annals Of Plastic Surgery, [s.l.], v. 77, n. 5, p. 569-576	Autores: Bauermeister; Zuriarrain; Newman
Principal contribuição: Trata-se de uma revisão sistemática sobre aplicações da impressão 3D na engenharia tecidual e no desenvolvimento de implantes com foco nas cirurgias plásticas e reconstrutivas.	
<i>Three dimensional printing: A review on the utility within medicine and otolaryngology</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 5
Local da publicação: International Journal Of Pediatric Otorhinolaryngology, [s.l.], v. 89, p.145-148	Autores: KAYE et al.
Principal contribuição: Esse artigo aborda usos da impressão 3D na área médica, descrevendo, brevemente, aplicações na odontologia. É dado maior enfoque em aplicações voltadas à otorrinolaringologia, nomeadamente em cirurgias de vias aéreas, na produção de aparelhos auditivos e no desenvolvimento de <i>scaffolds</i> , para regeneração e reconstrução de orelhas.	

Continuação

<i>Three-Dimensional Printing and Its Applications in Otorhinolaryngology–Head and Neck Surgery</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 3
Local da publicação: Otolaryngology-head And Neck Surgery, [s.l.], v. 156, n. 6, p. 999-1010	Autores: CRAFTS et al.
Principal contribuição: Esse artigo de revisão aborda os métodos de impressão 3D, comumente usados, e as aplicações da impressão 3D na otorrinolaringologia, discutindo inovações futuras e transmite informações acerca de custos de aquisição e uso de impressoras 3D.	
<i>Reconstruction of an Extensive Midfacial Defect Using Additive Manufacturing Techniques</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 3
Local da publicação: Journal Of Prosthodontics, [s.l.], v. 25, n. 7, p. 589-594	Autores: FERNANDES et al.
Principal contribuição: Esse é o primeiro artigo que trata da utilização de impressão 3D para a fabricação de um implante de titânio customizado, para a reconstrução de um extenso defeito facial decorrente de tumor maligno da bainha de nervo periférico.	
<i>Three-dimensional printing in orthopaedic surgery: review of current and future applications</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 6
Local da publicação: Anz Journal Of Surgery, [s.l.], v. 86, n. 9, p. 648-653	Autores: Mulford; Babazadeh; Mackay
Principal contribuição: Trata-se de um artigo de revisão direcionado para a área ortopédica. Ele revisa aplicações tanto atuais, quanto futuras de cirurgias ortopédicas.	
<i>Additive Manufacturing of Biomaterials, Tissues, and Organs</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 10
Local da publicação: Annals Of Biomedical Engineering, [s.l.], v. 45, n. 1, p. 1-11	Autores: Zadpoor; Malda.
Principal contribuição: Este trabalho revisa as aplicações de técnicas de manufatura aditiva em áreas diversas do setor de saúde, no que se refere a biomateriais, produção e regeneração de tecidos e órgãos, sistemas de entrega de drogas, implantes, instrumentos médicos, órteses e próteses.	

Continuação

<i>Imaging the implant-soft tissue interactions in total knee arthroplasty</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 3
Local da publicação: Bonnin et al. Journal of Experimental Orthopaedics, v. 3, n. 24, 2016	Autores: Michel P. Bonnin, Tom Van Hoof, Arnoud De Kok, Matthias Verstraete, Catherine Van der Straeten, Mo Saffarini and Jan Victor
Principal contribuição: Este trabalho estabelece um protocolo para imagens <i>in vitro</i> dos tecidos moles, em torno de uma artroplastia de joelho, cuja prótese foi fabricada por impressão 3D.	
<i>Mandibular reconstruction after cancer: an in-house approach to manufacturing cutting guides</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 1
Local da publicação: Int. J. Oral Maxillofac. Surg. v. 46, p. 24–31, 2017	Autores: R. Bosc, B. Hersant, R. Carloni, J. Niddam, J. Bouhassira, H. De Kermadec, E. Bequignon, T. Wojcik, M. Julieron, J.-P. Meningaud
Principal contribuição: Este artigo descreve como uma reconstrução mandibular, realizada após a retirada de um tumor cancerígeno, pode ser facilitada através de planejamento pré-operatório, utilizando tecnologia de impressão 3D.	
<i>Printing Technologies for Medical Applications</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 9
Local da publicação: Trends in Molecular Medicine, v. 22, n. 3, Mar. 2016	Autores: Ashkan Shafiee and Anthony Atala
Principal contribuição: Trata-se de uma discussão sobre o uso de impressoras 3D para aplicações de impressão celular, engenharia de tecidos, medicina regenerativa e para modelos de planejamento cirúrgico. Também é apresentado o impacto positivo que essa tecnologia causa na área da saúde.	
<i>A personalized 3D-printed prosthetic joint replacement for the human temporomandibular joint: From implant design to implantation</i>	
Ano de publicação: 2017	Número de citações: 2
Local da publicação: Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, v. 69, p.404-411, May 2017	Autores: Ackland, Robinson, Redhead, Lee, Adrian Moskaljuk and Dimitroulis
Principal contribuição: O estudo desenvolve, testa e fabrica próteses personalizadas com o auxílio de impressoras 3D, para pacientes que necessitam de reconstrução temporomandibular.	

Continuação

<i>Current and emerging applications of 3D printing in medicine</i>	
Ano de publicação: 2017	Número de citações: 1
Local da publicação: Biofabrication, v. 9, n. 2, Jun. 2017	Autores: Liaw and Guvendiren
Principal contribuição: O artigo aborda a utilização das impressoras 3D no campo da medicina e como está sendo útil a sua utilização.	
<i>Design and development of a customised knee positioning orthosis using low cost 3D printers</i>	
Ano de publicação: 2017	Número de citações: 1
Local da publicação: virtual and physical prototyping, v. 12, n. 4, p. 322–332, 2017	Autores: Santos, Soares, Leite and Jacinto
Principal contribuição: O artigo fala sobre a dificuldade da criação de órteses de joelho, devido ao material utilizado (geralmente metálico com facilidade para dilatar, devido a temperatura na região) e à habilidade do modelador. Porém, com a junção de impressão 3D, softwares CAD e escaneamento, o projeto conseguiu criar uma órtese de posicionamento de joelho, para pacientes com paralisia cerebral.	
<i>Design of a 3D printed lightweight orthotic device based on twisted and coiled polymer muscle: iGrab hand orthosis</i>	
Ano de publicação: 2017	Número de citações: 1
Local da publicação: SPIE 10164, Active and Passive Smart Structures and Integrated Systems 2017, 1016428	Autores: Saharan, Sharma, Andrade, Baughman, Tadesse
Principal contribuição: O artigo utiliza impressão 3D com polímero torcido e enrolado feito de nylon para criar uma órtese que simula músculos. Essa simulação conseguiu facilitar a movimentação triaxial das articulações interfalangeanas distal e proximal e a metacarpo falangeana, dando uma boa força e baixa carga, imposta a mão lesionada.	
<i>Fully Porous 3D Printed Titanium Femoral Stem to Reduce Stress-Shielding Following Total Hip Arthroplasty</i>	
Ano de publicação: 2017	Número de citações: 6
Local da publicação: Journal of Orthopaedic Research, v. 35, n. 8, p.1774-1783, Aug. 2017	Autores: Sajad Arabnejad, Burnett Johnston, Michael Tanzer, Damiano Pasini
Principal contribuição: O artigo aborda os problemas dos materiais usados em artroplastia total de quadril que possuem uma rigidez maior que o osso, tendo altos índices de reabsorção óssea e muita osteopenia, causando possíveis fraturas periprotéticas. Com isso, foi impresso em 3D uma tira femoral de titânio para diminuir essa osteopenia e reabsorção óssea, devido a porosidade da tira.	

Continuação

<i>Novel exploration of 3D printed wrist arthroplasty to solve the severe and complicated bone defect of wrist</i>	
Ano de publicação: 2017	Número de citações: 1
Local da publicação: Rapid Prototyping Journal, [s.l.], v. 23, n. 3, p. 465-473	Autores: HAN et al.
Principal contribuição: Este trabalho consiste na primeira tentativa de uso de impressão 3D, para produção de próteses para punho.	
<i>Cardiac 3D Printing and its Future Directions</i>	
Ano de publicação: 2017	Número de citações: 8
Local da publicação: Jacc: Cardiovascular Imaging, [s.l.], v. 10, n. 2, p. 171-184	Autores: VUKICEVIC et al.
Principal contribuição: Este artigo de revisão discute sobre o uso da impressão 3D voltada a práticas cardiovasculares, destacando o uso de modelos 3D, como ferramentas de estudos de simulação de fluxo funcional.	
<i>Metallic Biomaterials: Current Challenges and Opportunities</i>	
Ano de publicação: 2017	Número de citações: 2
Local da publicação: Materials, [s.l.], v. 10, n. 8, p. 884-916	Autores: PRASAD et al.
Principal contribuição: Este artigo de revisão trata dos materiais metálicos mais empregados em aplicações biomédicas, ressaltando algumas aplicações envolvendo impressão 3D.	
<i>The Emerging Role of 3-Dimensional Printing in Rhinology</i>	
Ano de publicação: 2017	Número de citações: 1
Local da publicação: Otolaryngologic Clinics of North America, v. 50, n. 3, p. 583-588 Jun. 2017	Autores: Janalee K. Stokken, John F. Pallanch
Principal contribuição: Trata-se de um estudo na área de rinologia, usando impressão 3D, para oferecer melhoria no encaixe de uma prótese. O objetivo é proporcionar maior conforto para os pacientes e aumentar a taxa de retenção do uso.	

Quadro 1 – Quadro comparativo de autores citados.

Fonte: Autoria própria (2018).

4ª Etapa: avaliação dos estudos incluídos na revisão integrativa e interpretação de resultados

Nessa fase, uma pesquisa de síntese e crítica dos artigos selecionados foi realizada para discussão do conteúdo desejado.

ÓRTESES

Desde o tempo do filósofo Hipócrates, já se utilizava mecanismos rústicos, feitos de madeira, para auxiliar ou corrigir os movimentos, que sejam um braço, perna ou outra parte do corpo humano. Órtese pode ser definida como um aparelho externo, projetado para compensar a fraqueza ou a ausência da função muscular ou para impedir a ação direta dos músculos espásticos. A finalidade preliminar de uma órtese é melhorar funcionalidades como: aplicar ou subtrair forças do corpo, de maneira controlada, para proteger uma determinada parte, restringir ou alterar o movimento, a fim de impedir ou corrigir uma deformidade e compensar a deformidade ou fraqueza. (ARAUJO, 2010).

ÓRTESES DE PUNHO

A fabricação de órteses de punho com gesso é feita através dos seguintes passos: criação de uma camada protetora, usando um tecido de estocagem e essa camada é envolvida por algodão para conforto. Em seguida, o gesso é inserido acima do algodão, após ser banhado em água morna, com isso o gesso é alisado para ser moldado de forma que contorne, de maneira correta, as extremidades e garanta um bom posicionamento anatômico, depois coloca-se outra camada de tecido de estocagem com algodão e uma bandagem elástica é colocada para proteção da tala. O problema é que tais dispositivos são pesados e não removíveis. Em função disso, podem oferecer problemas dermatológicos e de ligamento.

Uma alternativa usada, atualmente, é o uso de impressão 3D para criação de órteses de punho. Para tanto, usa-se escaneamento a laser para obtenção de um modelo anatômico virtual 3D para ser impresso, bem como polímeros, metais ou biomateriais que sejam compatíveis com a região. As variações de desenho do projeto de órteses oferecem soluções aos problemas que as órteses de gesso oferecem. No artigo, *Case study: Hybrid model for the customized wrist orthosis using 3D printing* (KIM; JEONG, 2015), é apresentada uma órtese chamada de Cortex, que é mais porosa e que oferece uma melhor ventilação e higiene da região lesionada. Já Deniz Karasahin (<http://www.osteoid.com/>) criou uma órtese chamada Osteoid, em que integrou o ultrassom portátil, acoplado à órtese de maneira que seu uso gera um efeito terapêutico à região lesionada, melhorando a rigidez óssea. Porém, dependendo da rigidez aumentada, retarda o tratamento, contudo a órtese não possui uma boa proteção a choques externos. Para reduzir o tempo de produção desse tipo de órtese, em *Case study*:

Hybrid model for the customized wrist orthosis using 3D printing, há um estudo sobre escaneamento a laser e logo em seguida o refinamento do modelo virtual 3D, posteriormente, é criada uma camada externa que será moldada, dependendo do tamanho do punho do paciente, depois a camada interna é construída e conectada a camada externa. Com isso, a órtese é completamente impressa, baseada no modelo obtido virtualmente. De acordo com Kim e Jeong (2015), este modelo foi baseado no banco de dados coreano de mensurações antropométricas de 2010 e a faixa etária de 20 a 30 anos.

Em relação às características mecânicas da órtese, foi utilizado um software de elementos finitos para estudar a estrutura da órtese em relação a choques externos com forças que varia em torno de 200 N. Além disso, foram simulados materiais como policarbonato, para garantir que a órtese seja leve, mas também que proteja de cargas externas. A estrutura interna da órtese tem que ficar ligada diretamente à pele e garantir que não haja movimento da região lesionada e fixada na estrutura externa, até quando houver batidas acidentais.

A impressão da órtese foi feita por modelagem de deposição fundida, usando uma região interna porosa e uma região externa sólida protetora, assim foi possível obter um peso semelhante ao das órteses de gesso e diminuir bastante o tempo de impressão. Porém, o estudo afirma ainda que é necessário um melhor conforto do paciente na hora do escaneamento, para que o modelo virtual seja preciso e é também necessária a automação da criação da estrutura interna devido a sua simplicidade (KIM; JEONG, 2015).

ÓRTESES VIAS AÉREAS

Ao longo dos últimos anos, a medicina contou com o desenvolvimento de ferramentas de auxílio à visualização, como equipamentos de imagem e vídeo para laringoscopia. Mesmo assim, a impressão 3D mostrou seus benefícios nas cirurgias de vias aéreas. Em 2013, uma equipe do Hospital Infantil C.S. Mott da Universidade de Michigan recebeu destaque nacional quando criou uma tala traqueobronquial externa reabsorvível impressa em 3D para auxiliar um paciente pediátrico com traqueobroncomalácia grave. O aparelho foi baseado em imagem de tomografia computadorizada das vias aéreas do paciente, que apresentou retração do peito com apenas 6 semanas de vida. Os resultados mostraram benefícios imediatos na oxigenação e no crescimento das vias aéreas. Até hoje, a implantação em crianças tem apresentado resultados promissores (LI et al., 2016; CRAFTS et al., 2016; KAYE et al., 2016).

Nessa mesma instituição, máscaras personalizadas de pressão positiva contínuas impressas em 3D para pacientes com anomalias craniofaciais acometidos de apneia obstrutiva do sono estão sendo avaliadas (CRAFTS et al., 2016).

ÓRTESES ORELHAS

De acordo com KAYE (2016), ainda que haja uma escassez de estudos quanto à fabricação de órteses com o uso de impressão 3D, a tecnologia mostrou ser bastante utilizada para a fabricação de aparelhos auditivos, com mais de 10 milhões de unidades impressas em 2013 disponíveis no mercado (KAYE et al., 2016).

ÓRTESES JOELHO

Há alguns estudos para órteses de joelho que auxiliaram na produção da órtese de posicionamento de joelho por impressão 3D, devido aos seus respectivos períodos de confecção, que mostraram os erros e acertos de seus modelos, os quais abordavam questões de problema no posicionamento e encaixe no local lesionado, alinhamento dos eixos do joelho com o da órtese ao articular para produção do movimento correto e transmissão da força exigida, variação anatômica dos pacientes que usavam órteses pré-fabricadas e a demora das fabricadas de maneira customizada. Com isso, foi possível o desenvolvimento de uma órtese de posicionamento de joelho por impressão 3D dita no artigo (SANTOS et al., 2017) para um paciente com paralisia cerebral dipléctica espástica. Essa órtese tende a aumentar o tônus muscular nos 4 membros, afetando principalmente as pernas, fazendo criação de posturas incorretas, como uma posição “agachada” devido à alta flexão de joelho ao andar, gerando uma diminuição do músculo se não for tratado rapidamente.

Neste estudo, a paciente, devido a sua doença, utiliza órteses estáticas para garantir uma postura estável e auxiliar no movimento funcional do membro. De acordo com o estudo, seu uso pode evitar a necessidade de tratamentos mais invasivos. O uso da órtese é realizado durante a noite, antes de dormir, para que ela possa fazer um alongamento e posicionamento dos músculos.

O processo de desenvolvimento dessa órtese é realizado em três etapas, a saber: o escaneamento da região afetada; a modelagem em software CAD 3D; e finalmente a impressão da órtese de posicionamento. A órtese vem se destacando das demais do mercado atual em razão da sua capacidade de ser leve e da prevenção em relação à deformidade do joelho valgo, além de sua facilidade em retirar a faixa adesiva da órtese sem causar esforço externo ao joelho e também quanto à ausência de regiões pontiagudas, que causariam a criação de regiões de pressão devido à baixa área (SANTOS et al., 2017).

PRÓTESES

Assim como ocorre com a confecção de órteses, para a confecção de próteses, a tecnologia de impressão 3D têm permitido a fabricação rápida de dispositivos com geometria complexa e customizáveis, adequados precisamente à anatomia do paciente, mostrando-se extremamente útil quando implantes e próteses existentes no mercado não fornecem um bom encaixe anatômico (LI et al., 2016; MULFORD; BABAZADEH; MACKAY, 2016; ZADPOOR; MALDA, 2016).

PRÓTESES MEMBROS SUPERIORES

As cirurgias de mão podem ser aprimoradas pelo uso de impressão 3D. Em razão da anatomia complexa da mão, a fabricação de implantes é desafiadora. Ademais, atualmente, implantes para a articulação interfalangeana são produzidos em um número finito de tamanhos (BAUERMEISTER; ZURIARRAIN; NEWMAN, 2016).

O uso da tecnologia reserva o grande potencial de impactar positivamente a área de reconstrução de membros, principalmente em casos de pacientes acometidos por lesões de guerras, levando a amputações. Uma organização da África do Sul, conhecida como Robohand, tem produzido próteses de mãos e de dedos por meio de impressão 3D, utilizando termoplástico, alumínio e aço inoxidável. Em 2015, mais de 200 pessoas nos Estados Unidos receberam essas próteses, que possuem um custo aproximado de US \$100 (LI et al., 2016; BAUERMEISTER; ZURIARRAIN; NEWMAN, 2016).

O procedimento para correção de defeitos ósseos severos ou complicados causados por um grande trauma ou tumor continua um problema para cirurgiões. Os únicos métodos utilizados para reconstruir a anatomia e restaurar a função do punho após a retirada de um extenso tumor ou desbridamento de um trauma severo costumam ser a artrodese de punho e a artroplastia com autoenxerto fibular vascularizado ou não vascularizado. Contudo, além de muitos pacientes não aceitarem a deformidade da fíbula em razão de tal processo, o grande volume do defeito resultante do trauma ou da retirada do tumor não é perfeitamente solucionado com a artroplastia total de punho (ATP) nem com o autoenxerto ósseo.

HAN et al. (2017) realizaram a primeira tentativa de uso de impressão 3D para produção de próteses para punho. Foram estudados três diferentes tipos de defeitos ósseos severos e complicados no punho. Cada um apresentava uma causa específica, sendo uma prótese desenvolvida para cada caso. O primeiro caso era um homem de 34 anos com um tumor celular na parte distal do rádio esquerdo. O segundo consistia em um homem de 39 anos com defeito ósseo pós-traumático do pulso resultante da deterioração tanto óssea como de tecidos moles dois anos antes. Também foi relatado perda parcial de sensação da articulação. O último caso compreende uma paciente que apresentava tumor celular na extremidade distal do rádio direito. A paciente já havia implantado uma prótese para punho,

porém, devido à imprecisão no projeto desse dispositivo, os ossos do carpo foram gravemente comprimidos por 6 anos.

Para cada caso, os modelos foram obtidos por meio de imagens de tomografia computadorizada. Os dados das imagens foram processados, os modelos foram projetados e impressos em 3D por meio da técnica de SLA. Eles também foram úteis por auxiliar no planejamento pré-operatório. As próteses foram produzidas a partir dos modelos. A parte principal da prótese de punho foi fabricada com tecnologia EBM e utilizou liga de titânio (Ti6Al4V), além de liga de CoCrMo para conferir resistência ao desgaste à parte just-articular. Cada um dos pacientes passou por cirurgia e os dispositivos foram implantados. Em todos os três casos, a estrutura anatômica e parte da função foram restauradas após a implantação das próteses personalizadas impressas em 3D. Além disso, os resultados mostraram que os pacientes experimentaram alívio de dor e alto grau de satisfação. Isso indica que a impressão 3D pode fornecer uma alternativa viável para grandes defeitos ósseos gerados por tumores ou traumas severos de punho.

Já as próteses para crianças são ainda mais complexas devido a sua validade pelo constante crescimento, por suas pequenas peças e seu papel no desenvolvimento psicossocial. Os componentes elétricos e mecânicos precisam ser desenvolvidos para acomodar as necessidades das crianças, representando uma dificuldade para a família, que teria um gasto enorme. Com a utilização de impressoras 3D, pode-se desenvolver próteses à baixo custo e em regiões onde o acesso à saúde seja precário, gerando uma melhoria na qualidade de vida, um aumento na funcionalidade e nos benefícios para o paciente sem que haja rejeição (ZUNIGA et al., 2015).

A maioria das próteses externas são controladas pelo uso de eletromiografia, que capta sinais elétricos produzidos voluntariamente pela contração muscular. Um dos principais problemas é a quantidade de músculos ativos, que limita a complexidade do controle das mãos. Muitos estudos são feitos para simplificar e tornar mais efetivo o controle da mão protética, utilizando mãos virtuais ou outros simuladores para testar o protótipo. A *Six DOF hand* tem um custo de fabricação em torno de U\$ 2.000,00 dólares e possui todos os arquivos CAD disponíveis em <www.opensourcehand.wordpress.com>, assim como o passo a passo para construção dos modelos. Alguns componentes, como os dedos, não são comercializados e utilizam a tecnologia de prototipagem rápida para imprimir em 3D e reduzir os custos de materiais. A prótese possui seis motores e dez partes móveis. Realiza preensão palmar, nas pontas e laterais, além de apresentar controle independente dos cinco dedos. Muitas peças sofreram alterações mínimas para se adaptar ao modelo produzido ou foram impressas em 3D, como os dedos que foram impressos com material compatível com a pele humana para dar mais sustentabilidade e segurança na pegada. A versão final do modelo leva de 15 a 16 horas para ser produzido e com um custo de até U\$ 3.000,00 dólares, dependendo das suas especificações (KRAUSZ; RORRER; WEIR, 2016).

Em testes realizados com pacientes na Universidade de Medina de St. Louis, foram verificadas vantagens em relação à prótese convencional, como a diminuição significativa do peso, um tamanho mais condizente com o do corpo e o movimento independente do polegar, o que pôde facilitar a compressão de objetos. Já nas limitações, foi observada uma baixa força de pegada e uma menor durabilidade do modelo (GRETSCHE et al., 2015).

PRÓTESES CABEÇA E PESCOÇO

O impacto do desenvolvimento da impressão 3D também afetou a área de reconstrução facial a partir da facilidade de confecção de produtos com formas específicas necessárias a certos padrões de doenças para promover correção e função das estruturas lesionadas, permitindo a reprodução com detalhes de características faciais (LI et al., 2016; MULFORD; BABAZADEH; MACKAY, 2016).

No caso de defeitos ósseos craniomaxilofaciais, é complexo chegar a um padrão para os implantes, dado o formato irregular desse grupo de ossos. Hoje é preferível o uso de auto-enxertos ósseos como tratamento. Contudo, é preciso considerar que, além da possibilidade de comorbidades pela retirada óssea, esse procedimento é limitado pela área. Nesse cenário, o uso de impressão 3D permite, em uma única etapa, produzir um material que seja anatomicamente preciso e possa restaurar forma e função, servindo como alternativa a múltiplas cirurgias ou enxertos ósseos para reparar um defeito (BAUERMEISTER; ZURIARRAIN; NEWMAN, 2016).

Tumores malignos da bainha de nervo periférico constituem problemas raros que surgem em células de Schwann dos nervos periféricos. Esse tipo de tumor possui taxa de sobrevivência de 20% em 5 anos, com ocorrência na região da cabeça e do pescoço. Em 65% dos casos, ocorre metástase para pulmões, tecidos moles, osso, fígado ou cérebro. Por causa dessa gravidade, o tratamento recomendado é a ressecção radical do tumor, seguida por radiação terapêutica.

Na África do Sul, Fernandes et al. (2016) utilizaram pela primeira vez impressão 3D para fabricação de um implante de titânio customizado para a reconstrução de um extenso defeito facial ocasionado por esse tipo de doença. O estudo apresenta o caso de uma paciente de 33 anos cujo procedimento cirúrgico envolveu maxilectomia completa, rinectomia, ressecção do lábio superior e partes das bochechas. A reconstrução de um defeito dessa magnitude envolveria um time de reconstrução e de cirurgias microvasculares, porém, dada a falta de cirurgias especializadas para esse fim na África do Sul, foi adotada uma abordagem para a reabilitação prostodôntica maxilofacial. Inicialmente, os cirurgões colocaram 4 implantes zigomáticos para ajudar na retenção da prótese. Contudo, os implantes falharam na osseointegração e foram perdidos após 4 semanas. Acreditando que meios convencionais não seriam uma opção, então a equipe médica decidiu recorrer à tecnologia 3D. A partir dos dados de tomografia computadorizada, a equipe utilizou o software MIMICS para segmentar a imagem e obter a área de interesse. Por meio da técnica de SLS, com uso da poliamida PA 2200, foram fabricados modelos que ajudaram no planejamento cirúrgico para inserção do implante de titânio. Os dados 3D foram também importados no software 3-MATIC, utilizado para projetar o implante. Esses dados foram convertidos em STL e o implante produzido por meio da técnica de DMLS com pó de titânio biocompatível. Foi relatado tempo total de produção de 10 dias, com um custo de U\$ 5.000,00. A paciente mostrou boa adaptação ao implante e esteve livre de tumor recorrente por 6 meses durante o estudo, o que incentiva o uso da tecnologia 3D.

CRAFTS et. al (2016) apresenta ainda que a impressão 3D já é capaz de produzir mandíbulas completas para uso de pacientes, utilizando polímeros biocompatíveis, como silicone, polimetilmetacrilato e polieteretercetona (CRAFTS et al., 2016).

Embora a medicina já conte com diversas alternativas para reconstrução de defeitos ósseos, a reconstrução de tecidos moles da face dispõe de poucas soluções satisfatórias. Se, por um lado, o uso de implantes sintéticos pode conduzir a infecções geradas por reações de corpo estranho, por outro, a retirada de cartilagem das costelas para uso como enxerto no processo de reconstrução costuma ser doloroso para o paciente. Nesse contexto, a bioimpressão 3D tem se mostrado como a grande promessa de desenvolvimento por permitir a combinação entre engenharia tecidual e impressão 3D, o que contribui para o surgimento de estudos para confecção de implantes biológicos. Pesquisadores da Universidade Cornell utilizaram imagem 3D da orelha de um paciente para fabricar um molde de gel injetável. Passados 3 meses da injeção de colágeno derivado de murideo e células de cartilagem bovina no molde, perceberam que uma cópia cartilaginosa viva da orelha original se formou. De modo semelhante, o Instituto Wake Forest para Medicina Regenerativa está desenvolvendo bioscaffolds porosos impressos em 3D e cobrindo-os com células de cartilagem do próprio paciente antes da implantação. Ao combinar a técnica de eletrofiação com bioimpressão, os resultados indicam que as construções de cartilagem possuem maior durabilidade (BAUERMEISTER; ZURIARRAIN; NEWMAN, 2016). Outros poucos trabalhos relatam a fabricação de próteses auriculares, bem como o desenvolvimento de scaffolds para regeneração e reconstrução de orelhas (KAYE et al., 2016).

O uso de impressão 3D em defeitos craniofaciais tem crescido e é dividido em três áreas: Reconstrução (criação de dispositivos de fixação implantáveis cirurgicamente para melhorar o tratamento); Reabilitação (criação de próteses para restaurar a aparência ou proteger tecidos danificados); e Regeneração (uso de engenharia tecidual para tratar tais defeitos).

Os problemas craniofaciais vêm de complicações traumáticas, oncológicas ou congênitas e assim formam problemas no tecido ósseo ou no mole e problemas estéticos, além de ser complexo seu tratamento devido à diversidade de estruturas e tecidos contidos na face. O maior desafio desse problema é conseguir criar algo que garanta a estética e a função das regiões danificadas. A impressão 3D consegue ser útil nessa área devido à facilidade de importar imagens de Tomografia Computadorizada ou Ressonância Magnética para um software de impressão 3D. No caso da reabilitação, é a primeira abordagem levada em consideração devido ao aspecto estético e de proteção as regiões expostas, em que, desde os anos 1970, era usado o polidimetilsiloxano. Porém, com o uso de softwares para técnicas de imagem e impressão 3D, bem como com um dos estudos clínicos usando isso, utilizou-se o negativo da peça como molde para criar a prótese. Estudos dizem que, no futuro, será possível imprimir polidimetilsiloxano e ajustar cores e regiões moles, para uma prótese mais realista.

Na reconstrução, é feito um plano pré-operatório para obter um pós-operatório mais rápido, barato e com menos complicações, usando implantes aloplásticos ou metálicos, ressaltando-se que esses implantes usam as técnicas de modelagem por deposição fundida ou sinterização seletiva por laser e os materiais comumente usados são o ABS, PMMA ou Polipropileno. É necessário que tais produtos sejam biocompatíveis e que mantenham a biomecânica da estrutura. A modelagem 3D é bastante útil para o paciente entender como

será feita a cirurgia e como ficará implantada nele a prótese. Além disso, a impressão 3D é útil para customizar esse implante para as dimensões adequadas ao paciente.

Há os implantes prévios que são os implantes usados apenas para verificar a fixação e o dimensionamento do implante no paciente, os quais são criados a partir da técnica de espelhamento da região não danificada do paciente com a região danificada, assim, verificando sua fixação baseado no lado saudável do paciente.

Em casos de implantes específicos para um paciente, são utilizados outros métodos e materiais. Como o poliéter-étercetona, devido a sua boa biocompatibilidade e propriedades mecânicas usando sinterização a laser para a fabricação 3D. O titânio também é usado nesses casos, em que se cria uma malha própria para ser usada na face do paciente com sinterização a laser para fixar o osso com o implante. Biovidros (S53P4, 6P53B e 13-93), devido à biocompatibilidade, a propriedades mecânicas e à osteocondutibilidade, são impressos à frio, misturando vidros até que se tornem uma solução. Depois, são desidratados em alta temperatura e sinterizados para remover a parte solúvel para, em seguida, possuir formas anatômicas. Hidroxiapatita também é usada e utiliza a estereolitografia.

No caso da regeneração, é feita a impressão de scaffold acelular, em que se considera: macrogeometria (desenho do scaffold); microarquitetura (dimensões e geometria dos poros para garantir adesão celular do tecido regenerado com o tecido danificado, garantindo a vascularização do tecido, com tamanho que varia de 160 a 270 e com o uso da impressão 3D, sendo possível alterar o tamanho deles; tendo como método mais usado a modelagem de deposição fundida); bioatividade (é impresso o scaffold com policaprolactona por meio de modelagem por deposição fundida e com uso de fatores de crescimento para auxiliar essa bioatividade); e propriedades mecânicas (na região dos ossos, o módulo de elasticidade é intensamente próximo a GPa, e atualmente as impressões ainda possuem módulos baixos, com porosidade enquanto um fator crucial que diminui esses parâmetros, sendo necessário o balanceamento da microarquitetura com as propriedades mecânicas para que possa haver uma boa integração e biomecânica). Uma área que merece ser explorada é a integração de materiais biológicos com materiais cerâmicos ou metálicos para oferecer uma melhor biomecânica na região lesionada (NYBERG et al., 2016).

As fraturas ocorridas no piso orbital geralmente ocorrem por acidentes de trânsito, violência interpessoal ou injúrias esportivas. Nesses traumas, ocorrem um aumento na pressão intraorbital, que acaba fraturando uma ou mais paredes orbitais, resultando em um deslocamento orbital. Os implantes usados são feitos com malhas de titânio e osso autólogo, porém, é muito difícil esculpir o osso, que tem tendência a dobrar ou quebrar caso sofra uma carga maior que suportada, além de possuir problemas para ser extraído e também necessitar de boas quantidades para ser usado em um implante.

Nesse caso, foi feito um modelo com uso de imagens de tomografia computadorizada para criar um modelo 3D de uma paciente de 64 anos com enoftalmia (deslocamento posterior do globo ocular devido a variações volumosas no piso orbital ou perda funcional muscular orbital) e diplopia (confusão cerebral em que o olho acaba duplicando a visão ocular). Com isso, foi feito um molde por interpolação *spline* e, em seguida, foi usado o molde para criar um implante do piso orbital com uso de osso autólogo. A impressão foi feita por deposição de pólvora e solidificação dela em camada por camada.

Até a década passada, eram feitos os implantes com titânio, porém, seu alto custo e alto módulo de elasticidade (120 GPa) os diferenciam do módulo de elasticidade do osso orbital drasticamente (seu módulo de elasticidade varia de 1.26 a 4.55 GPa), o que acaba causando irritação e reabsorção óssea ao redor do implante. Também era usado o espelhamento para modelagem 3D, mas há uma complicação nesse método: a face humana é assimétrica e há possibilidade de diferença geométrica entre órbitas oculares. O uso de impressão 3D com uso de imagens DICOM é complexo, devido à diferença de precisão da conversão da imagem DICOM para modelo 3D (VEHMEIJER et al., 2016).

Vale ressaltar, ainda, a traqueia por ser um órgão oco que conecta a laringe aos pulmões, cujos defeitos ocorrem comumente devido a problemas congênitos, à remoção tumoral ou a injúrias. Dependendo do tamanho do problema, a abordagem inicial é fechar o local, no entanto, a rigidez da parede traqueal é alta e a estabilidade ao fazer tal processo é instável devido à liberação da tensão dessa parede. Outra abordagem é o uso de enxertos autólogos para tratamento, usando tecidos do pericárdio ou da região costal, porém, há muitos problemas no uso deles, como propriedades biomecânicas diferentes, suscetibilidade infecciosa e reabsorção tecidual, além de próteses sintéticas terem problemas de biocompatibilidade tecidual.

Uma nova abordagem é a integração da engenharia tecidual com impressão 3D, como é dito no artigo (JUNG et al., 2016), cuja facilidade de desenho para criação de moldes atrai cada vez mais o uso dessa ferramenta para criação de uma prótese mais biocompatível e biomecânica ao hospedeiro. A impressão da prótese traqueal foi feita com Poliuretano Termoplástico de 200 x 200 micrômetros quadrados nos seus poros. A caracterização deles para entender as propriedades materiais foi feita com Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Foram utilizados 32 coelhos machos de 3 meses de idade para validar a biomimética da prótese *in vivo* e o defeito traqueal criado foi dimensionado para ser compatível com as dimensões da prótese traqueal. Avaliou-se os animais a cada 4 semanas em um regime de 16 semanas, usando oito diferentes para cada avaliação. Foram feitos exames broncoscópicos para verificar a integração tecidual da prótese com a traqueia, exames histológicos para verificar a morfologia celular e o tecido do hospedeiro antes e depois da implantação, com microscopia de luz e teste de tensão para verificar as propriedades mecânicas do material, bem como teste de frequência ciliar para avaliar a restauração funcional da traqueia, com uso de microscópio invertido com fotografias.

A impressão foi feita de maneira que a região interna ficasse porosa e a externa não, com aprovação das propriedades mecânicas e elásticas após as avaliações. Houve poucos problemas em relação à implantação da prótese nos coelhos, apenas um sofreu com estreitamento do lúmen, com diminuição do diâmetro dele em 20%. Porém, os outros conseguiram manter o tamanho correto do lúmen e o tecido granuloso conseguiu se integrar à traqueia protética. Com isso, foi possível verificar que a adesão celular ao implante foi aceita, formando um epitélio saudável para ser aceito pela traqueia. Do ponto de vista biomecânico, foi mais complexo, em razão da capacidade regenerativa do epitélio ao expirar ou inspirar devido à diferença de pressão, porém o uso do termoplástico de Poliuretano conseguiu manter essa elasticidade similar ao tecido *in vivo* (JUNG et al., 2016).

Outro exemplo do potencial da tecnologia de impressão 3D está na construção de um ouvido médio, o qual é responsável por diversas reações do corpo e também bastante

delicado. A partir do exame de microtomografia computadorizada da região do osso temporal, foi impresso, com corte a laser, e utilizado um molde de silicone com o intuito de se assemelhar à anatomia do tímpano humano. Destaca-se que as propriedades mecânicas foram obtidas a partir de testes de timpanometria e de resposta ao som, além de a acústica do modelo poder ser reproduzida e manipulada a depender da escolha do tipo de material (KURU et al., 2016).

A chamada “prótese Melbourn” foi desenvolvida para uma paciente de 58 anos com osteoartrite no local da cirurgia. A prótese possui resistência para mastigação e máxima força de mordida. A prótese, após ser impressa em 3D, foi esterilizada e implantada na paciente e, após 6 meses de cirurgia, já estava com a abertura mandibular normal, sem nenhuma complicação. A nova prótese forneceu melhorias clínicas e biomecânicas se comparada ao uso convencional, além de reduzir os riscos intraoperatórios de dano no nervo mandibular durante o procedimento (ACKLAND et al., 2017).

PRÓTESES VIAS AÉREAS

A reconstrução das vias aéreas pode incluir a reconstrução laringotraqueal (RLT) que pode envolver utilização de enxertos de cartilagem obtida por cartilagem costal, tireóidea ou auricular. Durante muitos anos, os grupos de pesquisa exploraram estratégias para evitar a colheita do enxerto de cartilagem. Kaye et al. (2016) demonstraram o potencial da bioimpressão em 3D para produzir um enxerto de RLT em um modelo de coelho de reconstrução das vias aéreas. A longo prazo, os autores querem usar a bioimpressão 3D para produzir uma substituição traqueal de longo segmento para a cirurgia de via aérea. Eles acreditam que essa abordagem tem o potencial de criar uma via aérea de substituição funcional que pode ser personalizada para cada paciente.

Um estudo envolvendo o uso de policaprolactona (PCL) para produção 3D de enxertos revestidos com células mesenquimais do estroma humano mostrou que a estrutura produzida gerou maior regeneração do epitélio da traqueia. De modo geral, para aplicações que envolvem enxertos, a impressão 3D ainda está em fase inicial de desenvolvimento e muitas delas foram avaliadas apenas em modelos animais. Em estudo com coelhos, células-tronco foram usadas em conjunto com scaffolds impressos com PCL para produção da própria traqueia (CRAFTS et al., 2016).

PRÓTESES DE CORAÇÃO E VASOS

No momento, as aplicações cardiovasculares com impressão 3D ainda estão em um estágio inicial de pesquisa. Vukicevic et al. (2017) mostram que seus maiores benefícios são sentidos no que diz respeito aos métodos de ensino, à utilização de modelos 3D para estudos diversos, ao planejamento de procedimentos cirúrgicos e à criação de dispositivos. Embora,

nesse último ponto, não sejam relatados casos de implantes impressos em 3D, é bem verdade que a capacidade de testar novos dispositivos para atender a diferentes patologias do coração é bastante interessante. Para tanto, é preciso levar em conta características anatômicas específicas, que podem, inclusive, variar entre indivíduos. Na verdade, se for considerado que modelos impressos 3D podem mimetizar estruturas cardiovasculares não saudáveis, então é possível realizar análises acerca do efeito que o dispositivo exerce sobre a estrutura nativa.

Quanto ao uso como ferramenta de ensino, modelos 3D podem ser adotados tanto para discutir com estudantes sobre relações normais e anormais entre estruturas cardiovasculares quanto para explicar mais facilmente ao público leigo sobre certas características do sistema cardiovascular. De modo semelhante ao observado pelas demais áreas médicas, o uso de modelos 3D permite capturar detalhes que não são totalmente captados por imagens 2D, permitindo uma compreensão mais profunda sobre determinadas condições cardíacas. No que se refere aos estudos com base em modelos 3D, trata-se, em sua maioria, de modelos para simulação de fluxos funcionais sob certas condições patológicas, como casos de estenose aórtica, em que ocorre uma diminuição da passagem de sangue na aorta em função da calcificação das estruturas valvares.

PRÓTESES DE MAMAS

Para a determinação de volume e forma adequados dos implantes mamários, são comumente empregados apenas o uso de imagens 2D e as estimativas visuais feitas pelo médico. Entretanto, o uso de imagens 3D pode auxiliar na análise volumétrica e permite ao profissional fazer considerações quanto a assimetrias, promovendo melhores resultados. Ademais, os dados 3D contidos em imagens de tomografia computadorizada ou ressonância magnética podem ser empregados para a impressão de implantes.

Como a produção destes pode ser customizável, apesar de haver uma série de modelos de implantes já disponíveis, implantes impressos podem corrigir, de modo acurado, variações anatômicas e levar a resultados esteticamente melhores de procedimentos, como a mamoplastia ou a mastectomia. De fato, assimetrias mamárias pré-existentes originadas seja por diferenças no volume de tecido mole, seja pela forma da parede torácica, serão frequentemente realçadas no pós-operatório. É ainda possível alterar o aspecto estrutural dos implantes a fim de produzir camadas com densidades estratificadas, o que contribui ainda mais para a correção de assimetrias.

Pesquisadores do Departamento de Engenharia Biomédica da Universidade do Texas têm usado uma matriz biológica absorvível em conjunto com leucócitos do abdômen do paciente para fabricar implantes mamários bioimpressos, os quais guardam o potencial de, diferentemente dos convencionais de silicone, minimizar enormemente os riscos de extrusão do implante ou de erosão da pele. Outros, na Universidade de Tecnologia de Queensland, focaram na reconstrução de mama por meio da confecção 3D de scaffolds bioabsorvíveis a partir da imagem de ressonância magnética da mama contralateral e

ilustram a possibilidade de uso da técnica em casos de pacientes com câncer no futuro (BAUERMEISTER; ZURIARRAIN; NEWMAN, 2016).

PRÓTESES DE PELE

Queimaduras extensas, traumas e defeitos gerados pela retirada de tumores são comumente tratados com enxertos de pele. Porém, há casos em que retirar o máximo possível de tecido sadio sem comprometer o local doador ainda não é suficiente para cobrir todo o defeito. Ademais, mesmo que diversos substitutos de pele, sintéticos ou biológicos, produzidos por técnicas de engenharia tecidual, estejam disponíveis no mercado, nenhum deles oferece tão bons resultados quanto o uso de autoenxertos. Mais uma vez, a impressão 3D se mostra útil. Na verdade, seu uso, quando aplicado à pele, é facilitado, pois as camadas desse órgão são muito mais simples estruturalmente quando comparadas com outras estruturas e já existem trabalhos que reproduzem a arquitetura histológica da pele depositando células específicas em função da camada e profundidade.

A bioimpressão já está sendo usada em ratos para deposição direta de pele impressa sobre o tecido lesionado. Indo mais além, a Escola de Medicina Wake Forest, financiada pelo Instituto de Medicina Regenerativa das Forças Armadas, possui um projeto para bioimpressão de pele à base de colágeno, contando com um scanner que determina as dimensões da lesão. Durante a deposição de substrato à base de colágeno sobre o defeito, diferentes tipos celulares podem ser postos conforme a natureza histológica pré-existente naquela profundidade de lesão. Trabalhando em conjunto, as universidades de Liverpool e Manchester deram outro passo, estudando além da arquitetura histológica. Utilizando um sistema de câmera de alta resolução, eles estão preocupados em capturar uma maior riqueza de detalhes da pele quanto ao tom e à textura, imprimindo peles que visivelmente se adequam melhor ao paciente em particular. A Universidade de Toronto também vem mostrando empenho ao imprimir de forma bastante rápida enxertos de pele baseados nos queratinócitos e fibroblastos do próprio paciente, visando ao tratamento de queimaduras extensas. O processo funciona de modo semelhante ao realizado na Escola de Medicina Wake Forest, entretanto, tem como diferencial a capacidade de imprimir tipos celulares específicos para cada camada da pele (BAUERMEISTER; ZURIARRAIN; NEWMAN, 2016).

MATERIAIS E MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO

O desenvolvimento das técnicas de impressão 3D tem facilitado o processamento dos mais diversos materiais de compostos não biológicos, como metais e cerâmicas, a biomoléculas, como proteínas. Fato é que a manufatura aditiva possibilita, além de controle preciso de uma estrutura externa complexa, controlar a estrutura interna em nível micro, proporcionando a habilidade de manipular propriedades mecânicas, físicas e biológicas das

construções por ela geradas, o que traduz novas funcionalidades (ZADPOOR; MALDA, 2016). Isso é muito bem visto por aqueles que trabalham com biocompatibilidade, por desejarem que seus produtos afetem positivamente os aspectos de regeneração e integração dos tecidos nos quais forem inseridos. Na verdade, há uma busca crescente pela multifuncionalidade de um biomaterial. Um scaffold pode ser produzido para não só deter função estrutural na regeneração do tecido, mas também transportar agentes biológicos que são desejados para o combate de determinada anomalia no organismo, como fatores de crescimento endotelial ou moléculas para destruição de células cancerosas (PRASAD et al., 2017).

Entre os biomateriais metálicos mais utilizados para impressão 3D, estão o aço inoxidável, o titânio e o cobalto, em razão de ótimas propriedades mecânicas e considerável estabilidade dentro de ambientes em condições altamente reativas. O titânio é normalmente o material adotado em razão de sua alta biocompatibilidade e resistência à corrosão, de seu baixo peso e de sua baixa densidade, encontrando aplicações principalmente nas cirurgias craniomaxilofaciais. Embora o aço inoxidável possua osseointegração e resistência à corrosão inferiores ao titânio, ele é mais barato e dúctil. Estudos usando as técnicas de SLS/SLM têm, inclusive, usado aço inoxidável para produção de implantes dentários.

Já as ligas de cobalto também apresentam osseointegração inferior ao titânio, mas possuem maior resistência ao desgaste, o que destaca seu uso em artroplastias. Ainda assim, seu elevado módulo de elasticidade é outro ponto negativo. Espera-se que o uso de impressoras 3D possa reduzir sua rigidez e torná-lo um material ainda mais adequado quando em contato com o osso humano (PRASAD et al., 2017).

Partindo para os materiais metálicos bioabsorvíveis, as ligas de magnésio, ferro e zinco são as mais utilizadas quando se espera regeneração tecidual. Elas possuem força e biocompatibilidade apropriadas para auxiliar a regeneração, sendo possível controlar sua degradação. Na realidade, metais absorvíveis possuem propriedades mecânicas que superam compostos poliméricos absorvíveis, como o PLA. No caso do magnésio, ele possui módulo de Young de 41 GPa, valor que se aproxima ao módulo do osso, contribuindo para evitar bloqueio de tensões e enfraquecimento ósseo (PRASAD et al., 2017).

Sabendo que um soquete de uma prótese é a região que irá conectar a prótese ao coto, atualmente, a indústria de próteses usa dois métodos para seu desenvolvimento. O primeiro é com a moldagem de gesso, procedimento semelhante àquele já apresentado no capítulo sobre órtese e punho. Esse molde será, então, utilizado como base para se construir o soquete. O principal problema relacionado a esse método é o fato de requerer muita habilidade do protesista para conseguir fazer o molde corretamente, pois qualquer erro pode gerar desconforto e pontos de pressão provocando escaras. O segundo método é por meio do uso de um soquete de superfície total que usa o contato superficial total entre o coto e soquete. O soquete é preso ao coto e então todo o ar entre o coto e o soquete é sugado por uma bomba de ar. Sendo assim, o soquete se adere ao coto tomando seu formato. Nesse método, é possível ter um melhor controle das regiões mais toleráveis a carga e quais mais sensíveis a ela. Sendo assim, apesar de nesse método se conseguir uma distribuição uniforme de pressão, é possível construir pontos em que essa pressão será menor ou maior.

Tzeng et al. (2015) apresentaram um estudo no qual dois pacientes, um de 64 e outro de 63 anos, utilizaram cotos desenvolvidos por um meio completamente novo,

usando impressoras 3D para impressão desse coto. Segundo os pacientes, esse soquete foi considerado confortável e que tinha o ajuste bom para a prótese inserida. A pressão imposta pelo soquete foi de 40 kP, inferior às normalmente encontradas no mercado, que são aproximadamente de 300 kPa, com região do limiar da dor de 1080 kPa. Após 1 ano, a pressão foi aumentando devido ao encolhimento do coto e acabou deslocando o soquete, porém, a pressão ainda se manteve em nível aceitável e abaixo do que dito anteriormente (TZENG; HSU; CHANG, 2015).

CUSTOS X BENEFÍCIOS

O custo de próteses e órteses pode variar muito dependendo da tecnologia e dos materiais envolvidos na sua construção. Sempre se deve pensar no benefício que essa órtese/prótese traz ao paciente. Cada caso e cada modelo deve ser estudado e definido de acordo com o paciente. Mesmo com muitos recursos, um paciente pode não se adaptar à órtese/prótese e então deixar de usar, independentemente de seu custo. Por exemplo, hoje, diversos estudos e casos são vistos utilizando impressoras 3D (GRETSCHE et al., 2015; SANTOS et al., 2017; VEHMEIJER et al., 2016; ZUNIGA et al., 2015), porém, de nada adianta o baixo custo se o usuário não utiliza sua prótese. Se o executivo de uma empresa perde o braço, ele não vai querer parecer que possui o braço do homem de ferro, mas uma criança se acharia um super-herói. Então, como já apresentado, cada paciente deve ser estudado e, só assim, ser verificado qual modelo apresenta melhor custo-benefício.

Em relação a custos, é possível observar estudos como o de Vehmeijer et al. (2016), que apresenta uma prótese cujo custo da parte relacionada à impressão 3D é de 85,00 €, enquanto os implantes de titânio têm um custo que varia de 3.000,00 € a 5 000,00 €, e a malha de titânio varia de 250,00 € a 800,00 € (VEHMEIJER et al., 2016).

Sobre próteses de mão e braço, pode-se verificar que modelos industrializados apresentam em média um custo entre U\$ 4000,00 a U\$ 8000,00. Há modelos que podem alcançar até U\$ 50000,00. É necessário pensar ainda que, para crianças, principalmente, é necessário, de tempos em tempos, realizar a reposição dos componentes devido ao seu crescimento e ao encaixe. Por isso, a utilização de impressão 3D é bem-vinda para diminuir esses custos.

Há hoje alguns modelos para impressora 3D disponíveis na internet de custo acessível. Entre esses modelos, pode-se destacar a *cyborg beast*, que tem um gasto de fabricação em torno de U\$ 50,00 e um peso de 184,2 g. Comparando com uma prótese semelhante no mercado, sairia por volta de U\$ 4000,00 dólares e pesaria 400 g. Esse modelo pode ser encontrado no site: <<http://3dprint.nih.gov/discover/3dpx-000524>> e <<http://www.thingiverse.com/thing:261462>> (ZUNIGA et al., 2015).

Um outro modelo é o projeto criado em 2011 por Richard Van As e Ivan Owen, chamado 'Robohand', que disponibilizava, em plataforma aberta, uma prótese de mão controlada pelo punho, que abria e fechava todos os dedos simultaneamente, com custo para quem quisesse comprá-la completa e montada de U\$ 2000,00 dólares. Contendo duas limitações significativas: apenas paciente com punho funcional poderia usar e todos os dedos

funcionavam ao mesmo tempo (GRETSCHE et al., 2015). Outro projeto muito importante é o desenvolvido pela e-Nable (<http://e-nablebrasil.org>), uma comunidade mundial que disponibiliza modelos de próteses de mãos 3D para o mundo. No Brasil, um de seus principais representantes é a Prof. Dra. Maria Elizete Kunkel, que desenvolve o projeto mão 3D no Vale do Paraíba, pela UNIFESP <<https://www.biomecanicaeforense.com/mao3d>>. Nesse projeto, as próteses têm um custo acessível e, na grande maioria das vezes, são desenvolvidas por centros e instituições e distribuídas aos pacientes.

Órtese de membros superiores e inferiores podem ser fabricadas em diferentes tamanhos, cores, modelos e custos com a impressora 3D. O custo é principalmente determinado pela hora de trabalho da impressora e custo do material que, com o material da hoje, está em torno de R\$ 150,00 o quilo.

Com relação a próteses faciais, a impressão 3D pode gerar uma grande redução de custos. Ao passo que próteses faciais tradicionais podem custar entre US\$10000,00 e US\$15000,00 em função da dificuldade e da necessidade de profissional especializado, o uso de técnicas específicas de impressão 3D permite fabricar próteses auriculares de alta qualidade com apenas US \$ 30,00 (BAUERMEISTER; ZURIARRAIN; NEWMAN, 2016).

DESAFIOS E APLICAÇÕES FUTURAS

Além do custo, a expansão no uso de impressoras 3D tem sido limitada por outros fatores. O tempo total para produção e a acurácia do modelo gerado são dois deles. Em um grande estudo realizado por Li et al. (2016), foi relatado que o tempo para produção de modelos anatômicos situou-se entre 10 horas e 2 semanas. Esse intervalo de tempo impede que cirurgias de risco ou emergências incorporem a tecnologia. Ainda assim, é importante destacar que já há estudos que contam com velocidades de fabricação impressionantes. Pesquisadores do Laboratório de Engenharia e Regeneração de Cartilagens ETH Zurich, na Suíça, desenvolveram um processo para produção de implantes biológicos completos para o nariz em menos de 20 minutos. Além disso, a acurácia satisfatória nem sempre é alcançada. Mesmo que o erro de apenas 1 mm possa ser considerado como excelente para modelos 3D impressos com fins educativos, o mesmo talvez não possa ser dito se a aplicação for voltada, por exemplo, para produção de scaffolds, em que interações corretas entre as células nativas e o material são imprescindíveis para conferir qualidade ao tratamento.

A grande promessa futura que reserva enorme potencial para as mais diversas áreas médicas, e é particularmente excitante para os bioengenheiros, é a bioimpressão 3D. Diferentemente de outras formas de manufatura aditiva, a biofabricação se dá quando células ou moléculas biológicas, como proteínas, colágeno ou cartilagem, são incorporados no processo de fabricação do produto. Em conjunto, esses componentes constituem a biotinta (ZADPOOR; MALDA, 2016; MULFORD; BABAZADEH; MACKAY, 2016). Essa técnica torna possível imprimir estruturas diversas, a exemplo de órgãos, tecidos e scaffolds para regeneração. A fabricação desses arranjos tem em si a capacidade de não só corrigir anomalias como doenças congênitas ou câncer, mas também de evitar riscos de rejeição do órgão ou

tecido gerado, a partir da utilização de células advindas do próprio organismo do paciente. Interessante destacar também o potencial de minimizar a necessidade de transplantes por meio da utilização da técnica.

Embora essa tecnologia já tenha sido usada para a fabricação de tecidos finos, vasos sanguíneos e componentes de órgãos, como nervos (LI et al., 2016), existem algumas barreiras. O maior obstáculo consiste na elaboração de um sistema de vascularização para conferir ao órgão ou tecido impresso nutrientes suficientes, troca de gases adequada e eficácia na remoção de resíduos (CRAFTS et al., 2016; PRASAD et al., 2017). Outro desafio atual da bioimpressão é a disponibilidade limitada de biotintas adequadas quanto às propriedades físicas do processo de impressão e que fornecem, ao mesmo tempo, um ambiente adequado à diferenciação celular desejada (ZADPOOR; MALDA, 2016).

A Bioimpressão 3D é feita da seguinte forma: depositando células simultaneamente no scaffold e regulando a distribuição celular no scaffolds. Porém, as propriedades mecânicas dessa técnica são mais baixas que as de termoplásticos. Com isso, outra técnica para melhorar isso foi a integração acelular e celular dessa técnica, e de forma híbrida, poderá melhorar esse problema no futuro. A bioimpressão oferece menor inflamação e melhor regeneração tecidual, mas ainda é muito cara e recente, sendo necessários mais estudos na área (JUNG et al., 2016).

Quanto às aplicações cardiovasculares, existe uma escassez de estudos no tocante às propriedades mecânicas de estruturas que se desejam replicar com o uso de impressoras 3D. Para que seja possível simular de forma mais precisa essas estruturas, é necessário conhecer suas propriedades materiais tanto em situações normais, quanto em situações patológicas. Ademais, mesmo que o desenvolvimento de próteses cardíacas personalizáveis ainda não seja realidade (VUKICEVIC et al., 2017), estando em patamar desigual em comparação com outras especialidades médicas, o futuro é bastante promissor.

No que concerne ao uso de implantes metálicos biodegradáveis, os riscos de infecção e inflamação, juntamente com o controle sobre a cinética de biodegradação, podem ser considerados importantes desafios no desenvolvimento de implantes. Se, por um lado, a degradação antecipada do implante pode levar à redução da força mecânica antes da recuperação completa do tecido, por outro, a permanência prolongada de ligas metálicas pode levar ao aumento do risco de desenvolvimento de reações de hipersensibilidade (PRASAD et al., 2017).

O uso de impressoras 3D para a fabricação de óculos de grau a nível comercial, utilizando plástico ou metal já é uma realidade nos dias atuais e, em um futuro próximo, será possível imprimir lentes artificiais, válvulas de glaucoma e outros implantes médicos em nível industrial. Já sobre a educação, estudos mostraram que alunos da escola de medicina que utilizaram modelos de impressão 3D aumentaram o desempenho e o aprendizado quando em comparação aos estudantes que utilizaram livros e mídias digitais, obtendo um melhor aprendizado da estrutura anatômica e de seus relacionamentos. Além disso, os estagiários puderam fazer operações prévias e em ambientes controlados antes de partirem para um paciente vivo, podendo repetir diversas vezes o procedimento até que houvesse seu domínio (HUANG; ZHANG, 2014).

CONCLUSÃO

A técnica de impressão 3D tem se apresentado como aliada do setor de saúde, desempenhando aplicações diversas em cardiologia, ortopedia, oncologia e reabilitação. Hoje, sua maior contribuição é sentida no meio cirúrgico, nomeadamente na educação de pacientes e estudantes de saúde, no planejamento pré-operatório para tratamento de doenças e no desenvolvimento de próteses e implantes, sendo mínimo seu uso na produção de órteses.

Felizmente, com o desenvolvimento tecnológico que se espera ao longo dos anos, barreiras, como tempo de produção, custos e acurácia dos modelos, tendem a ser ultrapassadas e a consolidação de novas aplicações, como a bioimpressão para confecção de órgãos, tecidos e scaffolds para regeneração, também tendem a ser incorporadas na área médica.

Por se tratar de uma tecnologia que ganhou espaço na medicina apenas recentemente, a bioimpressão 3D ainda não demonstrou todo seu potencial, estando principalmente restrita a modelos animais. Em função disso, e por não ser considerada o padrão ouro, é imprescindível que seu uso, quando em contato com o ser humano, seja sempre precedido de discussões cautelosas com cada paciente.

Não é segredo, porém, que o futuro da impressão 3D na saúde conta com aplicações excitantes e promissoras, que tendem a melhorar em muito a qualidade de vida das pessoas.

REFERÊNCIAS

- ACKLAND, David C. et al. A personalized 3D-printed prosthetic joint replacement for the human temporomandibular joint: From implant design to implantation. **Journal Of The Mechanical Behavior Of Biomedical Materials**, v. 69, p.404-411, maio 2017. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmbbm.2017.01.048>>. Acesso em: 16 fev. 2017.
- ARABNEJAD, Sajad et al. Fully porous 3D printed titanium femoral stem to reduce stress-shielding following total hip arthroplasty. **Journal Of Orthopaedic Research**, v. 35, n. 8, p. 1774-1783, 4 out. 2016. Disponível em: <Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1002/jor.23445>>. Acesso em: 16 fev. 2017.
- ARAÚJO M. V. **Desenvolvimento de uma órtese ativa para os membros inferiores com sistema eletrônico embarcado**. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia elétrica e Computação) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.
- BAUERMEISTER, Adam J.; ZURIARRAIN, Alexander; NEWMAN, Martin I. Three-Dimensional Printing in Plastic and Reconstructive Surgery. **Annals Of Plastic Surgery**, v. 77, n. 5, p. 569-576, nov. 2016. Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1097/sap.0000000000000671>>. Acesso em: 16 fev. 2017.
- BONNIN, Michel P. et al. Imaging the implant-soft tissue interactions in total knee arthroplasty. **Journal Of Experimental Orthopaedics**, v. 3, n. 1, p. 1-9, 3 out. 2016. Springer Nature. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1186/s40634-016-0061-5>>. Acesso em: 16 fev. 2017.
- BOSC, R. et al. Mandibular reconstruction after cancer: an in-house approach to manufacturing cutting guides. **International Journal Of Oral And Maxillofacial Surgery**, v. 46, n. 1, p.24-31, jan. 2017. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijom.2016.10.004>>. Acesso em: 16 fev. 2017.
- CHEN, Junning et al. Shape Optimization for Additive Manufacturing of Removable Partial Dentures - A New Paradigm for Prosthetic CAD/CAM. **Plos One**, v. 10, n. 7, p. 1-17, 10 jul. 2015. Public Library of Science (PLoS). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0132552>>. Acesso em: 16 fev. 2017.
- CRAFTS, Trevor D. et al. Three-Dimensional Printing and Its Applications in Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery. **Otolaryngology-head And Neck Surgery**, v. 156, n. 6, p. 999-1010, 15 nov. 2016. SAGE Publications. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1097/sap.0000000000000671><http://dx.doi.org/10.1177/0194599816678372>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

FERNANDES, Nelson et al. Reconstruction of an Extensive Midfacial Defect Using Additive Manufacturing Techniques. **Journal Of Prosthodontics**, v. 25, n. 7, p. 589-594, 28 abr. 2016. Wiley-Blackwell. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/jopr.12487>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

FORRESTAL, David P.; KLEIN, Travis J.; WOODRUFF, Maria A.. Challenges in engineering large customized bone constructs. **Biotechnology And Bioengineering**, v. 114, n. 6, p.1129-1139, 9 fev. 2017. Wiley-Blackwell. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/bit.26222> >. Acesso em: 19 fev. 2017.

GRETSCH, Kendall F et al. Development of novel 3D-printed robotic prosthetic for transradial amputees. **Prosthetics And Orthotics International**, v. 40, n. 3, p. 400-403, maio 2015. SAGE Publications. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1177/0309364615579317>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

HAN, Qing et al. Novel exploration of 3D printed wrist arthroplasty to solve the severe and complicated bone defect of wrist. **Rapid Prototyping Journal**, v. 23, n. 3, p. 465-473, 18 abr. 2017. Emerald. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1108/rpj-01-2016-0005>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

HE, Yong; XUE, Guang-huai; FU, Jian-zhong. Fabrication of low cost soft tissue prostheses with the desktop 3D printer. **Scientific Reports**, v. 4, n. 1, p.1-7, 27 nov. 2014. Springer Nature. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/srep06973>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

HUANG, Wenbin; ZHANG, Xiulan. 3D Printing: Print the Future of Ophthalmology. **Investigative Ophthalmology & Visual Science**, v. 55, n. 8, p. 5380-5381, 26 ago. 2014. Association for Research in Vision and Ophthalmology (ARVO). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1167/iovs.14-15231>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

JOO, Han-sung et al. Complete-mouth rehabilitation using a 3D printing technique and the CAD/CAM double scanning method: A clinical report. **The Journal Of Prosthetic Dentistry**, v. 116, n. 1, p. 3-7, jul. 2016. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.01.007>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

JUNG, Soo Yeon et al. 3D printed polyurethane prosthesis for partial tracheal reconstruction: a pilot animal study. **Biofabrication**, v. 8, n. 4, p. 1-10, 27 out. 2016. IOP Publishing. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1088/1758-5090/8/4/045015>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

KAYE, Rachel et al. Three dimensional printing: A review on the utility within medicine and otolaryngology. **International Journal Of Pediatric Otorhinolaryngology**, v. 89, p. 145-148, out. 2016. Disponível em: <Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijporl.2016.08.007>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

KIM, Huhn; JEONG, Seongwon. Case study: Hybrid model for the customized wrist orthosis using 3D printing. **Journal Of Mechanical Science And Technology**, v. 29, n. 12, p. 5151-5156, dez. 2015. Springer Nature. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s12206-015-1115-9>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

KRAUSZ, Nili E.; RORRER, Ronald A. L.; WEIR, Richard F. Ff.. Design and Fabrication of a Six Degree-of-Freedom Open Source Hand. **Ieee Transactions On Neural Systems And Rehabilitation Engineering**, v. 24, n. 5, p. 562-572, maio 2016. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/tnsre.2015.2440177>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

KURU, Ismail et al. A 3D-printed functioning anatomical human middle ear model. **Hearing Research**, v. 340, p. 204-213, out. 2016. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.heares.2015.12.025>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

LI, Chi et al. Applications of Three-Dimensional Printing in Surgery. **Surgical Innovation**, v. 24, n. 1, p. 82-88, 29 dez. 2016. SAGE Publications. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1177/1553350616681889>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

LIAW, Chya-yan; GUVENDIREN, Murat. Current and emerging applications of 3D printing in medicine. **Biofabrication**, v. 9, n. 2, p. 024102-024118, 7 jun. 2017. IOP Publishing. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1088/1758-5090/aa7279>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

MULFORD, Jonathan S.; BABAZADEH, Sina; MACKAY, Neil. Three-dimensional printing in orthopaedic surgery: review of current and future applications. **Anz Journal Of Surgery**, v. 86, n. 9, p. 648-653, 12 abr. 2016. Disponível em: <Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1111/ans.13533>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

NYBERG, Ethan L. et al. 3D-Printing Technologies for Craniofacial Rehabilitation, Reconstruction, and Regeneration. **Annals Of Biomedical Engineering**, v. 45, n. 1, p.45-57, 13 jun. 2016. Springer Nature. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10439-016-1668-5>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

PRASAD, Karthika et al. Metallic Biomaterials: Current Challenges and Opportunities. **Materials**, v. 10, n. 8, p. 884-916, 31 jul. 2017. MDPI AG. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/ma10080884>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

RAMAKRISHANIAH, Ravikumar et al. A comparative finite elemental analysis of glass abutment supported and unsupported cantilever fixed partial denture. **Dental Materials**, v. 31, n. 5, p. 514-521, maio 2015. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2015.02.003>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

SANTOS, Sara et al. Design and development of a customised knee positioning orthosis using low cost 3D printers. **Virtual And Physical Prototyping**, v. 12, n. 4, p. 322-332, 2 ago. 2017. Informa UK Limited. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/17452759.2017.1350552>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

SHAFIEE, Ashkan; ATALA, Anthony. Printing Technologies for Medical Applications. **Trends In Molecular Medicine**, v. 22, n. 3, p. 254-265, mar. 2016. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.molmed.2016.01.003>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

STOKKEN, Janalee K.; PALLANCH, John F.. The Emerging Role of 3-Dimensional Printing in Rhinology. **Otolaryngologic Clinics Of North America**, v. 50, n. 3, p. 583-588, jun. 2017. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.otc.2017.01.014>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

TUNCHEL, Samy et al. 3D Printing/Additive Manufacturing Single Titanium Dental Implants: A Prospective Multicenter Study with 3 Years of Follow-Up. **International Journal Of Dentistry**, v. 2016, p. 1-9, 2016. Disponível em: <Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/8590971>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

VEHMEIJER, Maarten et al. A Novel Method of Orbital Floor Reconstruction Using Virtual Planning, 3-Dimensional Printing, and Autologous Bone. **Journal Of Oral And Maxillofacial Surgery**, v. 74, n. 8, p. 1608-1612, ago. 2016. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.joms.2016.03.044>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

VELAZCO, D. P. C. et al. Rapid prototyping of a complex model for the manufacture of plaster molds for slip casting ceramic. **Cerâmica**, v. 60, n. 356, p. 465-470, dez. 2014. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132014000400003>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

VERRI, Fellippo Ramos et al. Three-Dimensional Finite Element Analysis of Anterior Single Implant-Supported Protheses with Different Bone Anchorages. **The Scientific World Journal**, v. 2015, p.1-10, 2015. Disponível em: <Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/321528>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

VUKICEVIC, Marija et al. Cardiac 3D Printing and its Future Directions. **Jacc: Cardiovascular Imaging**, [s.l.], v. 10, n. 2, p.171-184, fev. 2017. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2016.12.001>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

WANG, Guangshun et al. High-quality 3D structures shine light on antibacterial, anti-biofilm and antiviral activities of human cathelicidin LL-37 and its fragments. **Biochimica Et Biophysica Acta (bba) - Biomembranes**, v. 1838, n. 9, p. 2160-2172, set. 2014. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.bbamem.2014.01.016>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

WILSON, C.a. et al. Printed three-dimensional airway model assists planning of single-lung ventilation in a small child. **British Journal Of Anaesthesia**, v. 115, n. 4, p .616-620, out. 2015. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1093/bja/aev305>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

TACK, Philip et al. 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review. **Biomedical Engineering Online**, v. 15, n. 1, p.1-21, 21 out. 2016. Springer Nature. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1186/s12938-016-0236-4>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

TZENG, Ming-ji; HSU, Lai-hsing; CHANG, Shih-hsin. DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A CAD/3DP PROCESS FOR TRANSTIBIAL SOCKET FABRICATION. **Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications**, v. 27, n. 05, p.1550044-9, out. 2015. National Taiwan University. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4015/s1016237215500441>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

ZADPOOR, Amir A.; MALDA, Jos. Additive Manufacturing of Biomaterials, Tissues, and Organs. **Annals Of Biomedical Engineering**, v. 45, n. 1, p. 1-11, 8 set. 2016. Springer Nature. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10439-016-1719-y>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

ZUNIGA, Jorge et al. Cyborg beast: a low-cost 3d-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences. **Bmc Research Notes**, v. 8, n. 1, p. 10-18, 2015. Springer Nature. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1186/s13104-015-0971-9>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

SOBRE OS AUTORES

CUSTÓDIO LEOPOLDINO DE BRITO GUERRA NETO

Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Professor Associado e Coordenador do Programa de Pós-graduação em Gestão e Inovação em Saúde da UFRN. <http://lattes.cnpq.br/5387010100082241>

DANILO ALVES PINTO NAGEM

Doutor em Engenharia Mecânica com ênfase em Bioengenharia pela UFMG. Professor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, trabalhando no departamento de Engenharia Biomédica. <http://lattes.cnpq.br/5934458385325202>

HÉLIO ROBERTO HÉKIS

Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas, área de concentração em Gestão de Negócios pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Professor Adjunto IV do Departamento de Engenharia Biomédica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). <http://lattes.cnpq.br/9599726799047515>

KARILANY DANTAS COUTINHO

Doutora em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Professora Adjunta da UFRN, lotada no Departamento de Engenharia Biomédica. <http://lattes.cnpq.br/8409211766785367>

LEONARDO GURGEL CORREIA DE AZEVEDO

Discente em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Aluno Pesquisador do Laboratório de Inovação Tecnológica em Saúde (LAIS) na área de Prótese e Prototipagem rápida. <http://lattes.cnpq.br/7426930910598744>

LUIZ OTÁVIO SANTANA BAÍA JUNIOR

Bacharel em Ciências e Tecnologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Graduando em Engenharia Biomédica pela UFRN. <http://lattes.cnpq.br/7837878703759885>

MATHEUS DA SILVA OLIVEIRA

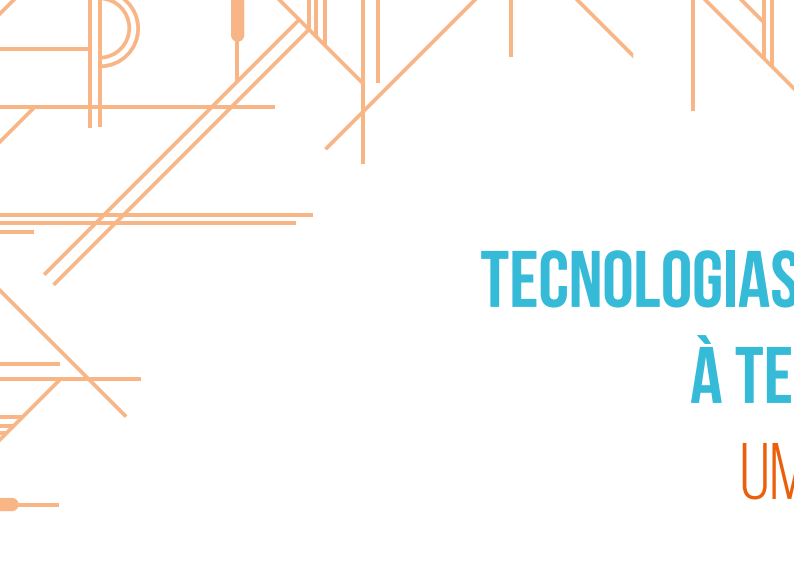
Bacharel em Ciências e Tecnologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2017). Atualmente é graduando em Engenharia Biomédica da UFRN. <http://lattes.cnpq.br/2479555084234365>

NADYNE DAYONARA MAURÍCIO DE AMORIM

Bacharel em Ciências e Tecnologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Graduanda em Engenharia Biomédica da UFRN. <http://lattes.cnpq.br/5618799727903548>

RICARDO ALEXSANDRO DE MEDEIROS VALENTIM

Doutor em Engenharia Elétrica e de Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Professor Adjunto IV da UFRN, lotado no Departamento de Engenharia Biomédica. Atualmente é Coordenador de Tecnologia da Informação e Comunicação na Secretaria de Educação a Distância (SEDIS/UFRN) e do Laboratório de Inovação Tecnológica em Saúde da UFRN/HUOL/EBSERH. <http://lattes.cnpq.br/3181772060208133>



TECNOLOGIAS ASSISTIVAS APLICADAS À TECNOLOGIA 3D NA SAÚDE: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

*Ana Karenina de Oliveira Paiva / Amarildo Silva Damasceno Júnior /
Arthur Balboa de Medeiros Martins / Kelvem Katyson Lira de Freitas /
Karilany Dantas Coutinho / Danilo Alves Pinto Nagem /
Custódio Leopoldino de Brito Guerra Neto / Hélio Roberto Hékis /
Ricardo Alexandro de Medeiros Valentim*

RESUMO

A tecnologia assistiva é uma ferramenta que engloba recursos e serviços, a qual objetiva proporcionar ou ampliar habilidades para pessoas com deficiência, promovendo auxílios no dia a dia, recursos de acessibilidade, entre outros. A utilização da tecnologia 3D como um recurso para o desenvolvimento de tecnologias assistivas na saúde está em crescente evolução e produzindo diversas inovações na área. Desse modo, este capítulo tem por objetivo a divulgação das atualidades e das inovações que a impressão 3D está proporcionando para a tecnologia assistiva, além dos problemas e obstáculos que devem ser superados em pesquisas futuras. Para tanto, foi realizada uma revisão de literatura nas bases de dados Scopus e CAPES e uma análise crítica e descritiva de 40 artigos foi desenvolvida. Para a seleção desses textos, foram utilizados os seguintes parâmetros: ano de publicação (entre 2014 e 2017), língua redigida e termos específicos presentes no título, resumo ou palavras-chave.

Palavras-chave: Tecnologia assistiva. Tecnologia 3D. Revisão de literatura.

INTRODUÇÃO

Os recursos e serviços inerentes à tecnologia assistiva vêm se tornando muito eficazes e importantes para pessoas com deficiência, pois é possível observar que com esses recursos os indivíduos conseguem uma maior independência e inclusão social. Pode-se ter como exemplo os cegos. A cada ano há mais indivíduos cegos e de baixa visão matriculados nas universidades e outros locais de ensino e de pesquisa e que, muitas vezes, não conhecem a linguagem Braille (BUEHLER et al., 2014). Mas sua permanência nesses centros de referência só é possível por meio da tecnologia assistiva, que facilita suas atividades diárias e permite uma maior inserção na sociedade, principalmente, no meio educacional.

O termo *Assistive Technology*, traduzido no Brasil como tecnologia assistiva, foi criado em 1988 como importante elemento jurídico dentro da legislação norte-americana conhecida como *Public Law 100-407*. Posteriormente, em 1998, o termo foi renovado como *Assistive Technology Act* de 1998 (*P.L. 105-394, S.2432*). Compõe, junto a outras leis, o *ADA – American with Disabilities Act*, que regula os direitos dos cidadãos com deficiência nos Estados Unidos (EUA), além de prover a base legal dos fundos públicos para compra dos recursos que são necessários. Na área da saúde, muitas são as aplicações das tecnologias 3D, como auxiliar na simulação cirúrgica e criar modelos biológicos que podem ser usados em testes de dispositivos médicos (SHENG et al., 2017).

A tecnologia assistiva foi conceituada no Brasil a partir do Comitê de Ajudas Técnicas (CAT), pela Portaria nº 142, de 16 de Novembro de 2016, propondo que:

Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social (ATA VII – Comitê de Ajudas Técnicas (CAT) – Coordenadoria Nacional para Integração da Pessoa Portadora de Deficiência (CORDE) – Secretaria Especial dos Direitos Humanos – Presidência da República).

Sendo assim, esta área da tecnologia proporciona ampliar as habilidades funcionais de pessoas com diversos tipos de deficiência para uma vida independente, incluindo esses indivíduos em várias atividades da sociedade e promovendo uma melhor qualidade de vida, por meio da ampliação de sua comunicação, mobilidade, controle de seu ambiente, habilidades de seu aprendizado, trabalho e integração com a família, amigos e sociedade.

Recentemente, a impressão 3D emergiu como uma ferramenta eficaz para criar objetos sofisticados e desenvolvidos sob medida com materiais de baixo custo (JO et al., 2016). Segundo Chen (CHEN et al., 2016), a impressão 3D de baixo custo está permitindo que muitos possam criar e fabricar adaptações de objetos comuns para torná-los acessíveis a usuários com deficiência ou para personalizá-los para casos específicos de uso.

Pode-se afirmar que a impressão 3D é promissora na fabricação de modelos biológicos devido às suas capacidades para réplica anatomia humana. Esses modelos são úteis

no planejamento pré-operatório, na simulação cirúrgica e na educação médica. De acordo com Sheng (SHENG et al., 2017), a fabricação de modelos em 3D na área da saúde é obtida, em grande parte, por meio do processamento de dados de tomografia computadorizada. A técnica de transferência de imagens de dados 2D para um modelo 3D impresso é mais eficaz pela melhor identificação dos tipos de detalhes, como fraturas ósseas e para o planejamento pré-operatório.

Entre as facilidades e as vantagens dos moldes e dos modelos criados por meio das impressoras 3D, pode-se destacar que em todo o processo de projeto e fabricação o deficiente pode participar. Dessa forma, ele pode apresentar suas necessidades e habilidades pessoais e, assim, a dinâmica colaborativa do projeto pode ser útil para alcançar as melhores soluções funcionais. (OSTUZZI et al., 2015).

Observa-se, portanto, que a tecnologia assistiva pode ser aplicada em diversos âmbitos da vida de um deficiente, desde a elaboração de utensílios para auxílio da vida diária, projetos arquitetônicos de acessibilidade à comunicação aumentativa (suplementar) e alternativa – CSA/CAA, (ABDALLAH; FAYYOUMI, 2016) além de tecnologias educacionais, com base em interações multissensoriais para apoiar na colaboração, inclusão e reflexividade. Todos esses eventos estão ligados, diretamente ou indiretamente, para contribuição de uma melhor saúde e bem-estar do indivíduo (BRULE et al., 2016).

Neste capítulo, será apresentada uma revisão dos últimos três anos sobre tecnologia assistiva, projetada e fabricada por meio da tecnologia de impressão 3D para a área da saúde e seus reflexos nos usuários.

METODOLOGIA

A revisão bibliográfica foi dividida em diversas etapas para otimização do tempo, as quais estão descritas a seguir.

1ª Etapa: identificação do tema e seleção da hipótese ou questão de pesquisa para a elaboração da revisão

Tema: Tecnologia 3D na Saúde.

Subtema: Tecnologias Assistivas Aplicadas à Tecnologia 3D na Saúde.

Problema: Acesso restrito dos usuários das tecnologias assistivas por tecnologia 3D.

Hipótese: As tecnologias assistivas vêm se inovando e, nos últimos anos, por meio da tecnologia 3D, as possibilidades são inúmeras, pois há um menor custo. Porém, ainda há pouca disseminação nessas práticas no meio industrial, não havendo produção em larga escala e, conseqüentemente aumento do custo, e assim essas tecnologias não conseguem chegar à população-foco em geral.

2ª Etapa: estabelecimento de critérios para inclusão e exclusão de estudos/amostragem ou busca na literatura

As buscas por artigos foram realizadas na biblioteca virtual Portal de periódicos da CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, e na base de dados Scopus. As palavras-chave utilizadas foram relacionadas a tecnologias assistivas e tecnologia 3D ou impressão 3D. As buscas dos artigos foram limitadas aos anos de publicação entre 2014 e 2017 em língua portuguesa, inglesa e espanhola com pelo menos uma citação. Dentre os 815 artigos encontrados na pesquisa, foram selecionados, rigidamente a partir dos critérios de exclusão, citados anteriormente, 40 artigos.

3ª Etapa: definição das informações a serem extraídas dos estudos selecionados/categorização dos estudos

De acordo com a temática central, foram definidos os principais subtemas que podem ser extraídos e que são considerados relevantes para o estudo de revisão de literatura, como:

- Visões gerais de tecnologia assistiva, incluindo o Brasil
- Impactos da tecnologia assistiva nos indivíduos que são beneficiados
- Tipos de tecnologias assistivas
- Tecnologia 3D aplicada na tecnologia assistiva
- Novas tecnologias na temática central que surgiram nos últimos anos
- Problemas e obstáculos que são encontrados no desenvolvimento e aplicação dessas tecnologias

4ª Etapa: avaliação dos estudos incluídos na revisão integrativa e interpretação de resultados

Os 40 artigos selecionados foram sumarizados e organizados em um quadro organizacional, contendo as seguintes informações: título, metodologia aplicada, ano de publicação, país onde realizou-se a pesquisa, número de citações e local de publicação. Pode-se observar o Quadro 1 logo a seguir.

<i>ABC and 3D: Opportunities and Obstacles to 3D Printing Special Education Environments</i>	
Ano de publicação: 2014	Número de citações: 48
Local da publicação: ASSETS '14 Proceedings of the 16th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility	Autores: Erin Buehler, Shaun K. Kane & Amy Hurst
Principal contribuição: O artigo é interessante por realizar uma abordagem completa ao desenvolver um estudo sobre a utilização da impressora 3D na educação especial, englobando indivíduos com deficiências cognitivas, motoras e visuais. Além disso, explora todos os aspectos, como um passo a passo, desde as contribuições que a prototipagem 3D realizou para o auxílio dos estudantes até preocupações e desafios futuros que devem ser explorados.	
<i>Assistive Technology for Deaf People Based on Android Platform</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 3
Local da publicação: Procedia Computer Science	Autores: Emad E. Abdallah & EbaaFayyoumi
Principal contribuição: Artigo sobre tecnologias assistivas para pessoas com deficiência auditiva feita em plataforma Android, podendo ser acessada por qualquer pessoa, incluindo esse deficiente em várias atividades.	
<i>Coming to Grips: 3D Printing for Accessibility</i>	
Ano de publicação: 2014	Número de citações: 7
Local da publicação: ASSETS '14 Proceedings of the 16th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility	Autores: Erin Buehler, Amy Hurst & Megan Hofmann
Principal contribuição: O artigo demonstra que a inserção da tecnologia 3D, com o auxílio de terapeutas computacionais, foi prática e eficaz para o desenvolvimento de um sistema de aderência de caneta para um usuário com capacidade motora limitada da mão, após tentativas falhas de outras formas de desenvolvimento do protótipo sem utilização de impressão 3D.	
<i>3D printed bio-models for medical applications</i>	
Ano de publicação: 2017	Número de citações: 4
Local da publicação: Rapid Prototyping Journal	Autores: Yee Ling Yap, Yong Sheng Edgar Tan, Heang Kuan Joel Tan, Zhen Kai Peh, Xue Yi Low, Wai Yee Yeong, Colin Siang Hui Tan, Augustinus Laude
Principal contribuição: O artigo discute a utilização de impressoras 3D para o desenvolvimento de biomodelos, sendo demonstrado de forma bem detalhada. Com isso, foi desenvolvido um modelo oftalmológico e um modelo de retina de forma eficaz com a utilização de impressão 3D. Além disso, foram demonstradas algumas dificuldades encontradas na produção desses modelos e adaptações nos possíveis usuários dessas ferramentas.	

Continuação

<i>Design Concepts of Polycarbonate-Based Intervertebral Lumbar Cages: Finite Element Analysis and Compression Testing</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 1
Local da publicação: Applied Bionics and Biomechanics	Autores: J. Obedt Figueroa-Cavazos, Eduardo Flores-Villalba, José A. Diaz-Elizondo, Oscar Martínez-Romero, Ciro A. Rodríguez and Héctor R. Siller
Principal contribuição: O artigo discute a possibilidade de utilização de gaiolas lombares intervertebrais impressas com tecnologia 3D, com base em polycarbonato biocompatível, propondo diversos projetos para a sua realização. Apesar de durante a análise serem encontradas regiões de concentração de estresse, as soluções propostas demonstraram viabilidade.	
<i>Comparison of the Conventional Surgery and the Surgery Assisted by 3D Printing Technology in the Treatment of Calcaneal Fractures</i>	
Ano de publicação: 2017	Número de citações: 3
Local da publicação: Journal of Investigative Surgery	Autores: Zheng W, Tao Z, Lou Y, Feng Z, Li H, Cheng L, Zhang H, Wang J, Guo X, Chen H
Principal contribuição: O artigo apresenta uma comparação entre uma cirurgia convencional e uma cirurgia com auxílio de impressão 3D no tratamento de fraturas calcâneas, comparando todas as vantagens e desvantagens que foram encontradas em cada uma delas, além da descrição de como foi a comunicação entre médico e paciente a partir da utilização da impressão 3D. É uma demonstração importante de como a tecnologia 3D é uma ferramenta em crescimento e que possui viabilidade em diversas áreas da tecnologia assistiva.	
<i>Introduction of 3D Printing Technology in the Classroom for Visually Impaired Students</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 3
Local da publicação: Journal of Visual Impairment & Blindness	Autores: Jo, Wonjin; I, Jang Hee; Harianto, Rachel Ananda; So, Ji Hyun; Lee, Hyebin; Lee, Heon Ju; Moon, Myoung-Woon
Principal contribuição: O estudo retrata o desenvolvimento de materiais táteis tridimensionais de mapas e de relíquias históricas, por meio de impressão 3D, para a utilização na sala de aula para estudantes com deficiências visuais. Os materiais desenvolvidos conseguiram otimizar a compreensão e conhecimento dos alunos, mostrando-se uma ótima ferramenta de auxílio e com grande viabilidade de utilização, embora ainda são necessários mais avanços na tecnologia 3D para aumentar de forma gradativa o acesso e também a eficácia do processo de aprendizagem.	

Continuação

<i>Investigating the Implications of 3D Printing in Special Education</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 13
Local da publicação: ACM Transactions on Accessible Computing	Autores: Erin Buehler, Niara Comrie, Megan Hofmann, Samantha McDonald and Amy Hurst
Principal contribuição: O artigo desenvolve uma investigação sobre como a tecnologia 3D pode ser utilizada como ferramenta de grande contribuição na educação especial. Descrevendo estudos com crianças que necessitam de educação especial, propondo técnicas para serem utilizadas, formas de melhorias e pontuando as principais dificuldades encontradas.	
<i>MapSense: Multi-Sensory Interactive Maps for Children Living with Visual Impairments</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 15
Local da publicação: Proceeding CHI '16 Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems	Autores: Emeline Brulé, Gilles Bailly, Anke Brock, Frédéric Valentin, Grégoire Denis, Christophe Jouffrais
Principal contribuição: Esse artigo traz mapas interativos sensoriais para crianças com deficiências visuais, com o objetivo de facilitar aprendizagem e permitindo explorar mecanismos para aprender outros aspectos que dificilmente são explorados em crianças com esse tipo de deficiência.	
<i>Reprise: A Design Tool for Specifying, Generating, and Customizing 3D Printable Adaptations on Everyday Objects</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 10
Local da publicação: Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology	Autores: Xiang 'Anthony' Chen, Jeeun Kim, Jennifer Mankoff, Tovi Grossman, Stelian Coros, Scott E. Hudson
Principal contribuição: Esse artigo traz uma ferramenta para fabricar objetos para o cotidiano de pessoas que precisam de pequenas adaptações, e ajudam em atividades do dia a dia, especificando vários tipos, como foi feito e possíveis adequações.	
<i>TUO project: low cost 3D printers as helpful tool for small communities with rheumatic diseases</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 5
Local da publicação: Rapid Prototyping Journal	Autores: Francesca Ostuzzi, Valentina Rognoli, Jelle Saldien, Marinella Levi
Principal contribuição: Artigo que traz impressoras 3D de baixo custo como ferramenta útil para um grupo específico de pessoas com doenças reumáticas, favorecendo suas atividades diárias e resolvendo problemas em atividades básicas.	

Continuação

<i>Creating perfused functional vascular channels using 3D bio-printing technology</i>	
Ano de publicação: 2014	Número de citações: 124
Local da publicação: Biomaterials	Autores: Lee VK, Kim DY, Ngo H, Lee Y, Seo L, Yoo SS, Vincent PA, Dai G
Principal contribuição: O artigo apresenta a construção de um canal vascular desenvolvido por meio da tecnologia de bioimpressão 3D, no qual utilizou-se apenas células e matrizes biológicas.	
<i>Personalized development of human organs using 3D printing technology</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 21
Local da publicação: Medical Hypotheses	Autores: Dina Radenkovic, Atefeh Solouk, Alexander Seifalian
Principal contribuição: Este artigo trabalha uma abordagem hipotética de medicina de precisão para fabricação de órgãos humanos, usando a tecnologia de impressão tridimensional, na qual os dados volumétricos seriam obtidos por meio de imagens TC e MRI de um paciente.	
<i>A tangible user interface-based application utilizing 3D-printed manipulatives for teaching tactual shape perception and spatial awareness sub-concepts to visually impaired children</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 3
Local da publicação: International Journal of Child-Computer Interaction	Autores: Rabia Jafri, Asmaa Mohammed Aljuhanib, Syed Abid Ali
Principal contribuição: O artigo demonstra o desenvolvimento de uma nova resolução que é baseada em interface de usuário tangível (TUI), objetivando o ensino e o reforço da percepção da forma tátil e consciência espacial para crianças com dificuldades visuais, com o auxílio da tecnologia 3D.	
<i>Development and validation of a 3D-printed interfacial stress sensor for prosthetic applications</i>	
Ano de publicação: 2014	Número de Citações: 30
Local da publicação: Medical Engineering & Physics	Autores: Laszczak P, Jiang L, Bader DL, Moser D, Zahedi S
Principal contribuição: Apresenta um novo sensor baseado em capacitância projetado para monitorar tensões mecânicas na interface stump-socket de amputados de membros inferiores, evidenciando o barateamento de custos e a possibilidade de personalização por fazer uso da prototipação rápida.	

Continuação

<i>Treatment of Die-Punch Fractures with 3D Printing Technology</i>	
Ano de publicação: 2017	Número de citações: 2
Local da publicação: Journal of Investigative Surgery	Autores: Chen C, Cai L, Zhang C, Wang J, Guo X, Zhou Y
Principal contribuição: O artigo desenvolve um estudo com a utilização de impressão 3D para o planejamento pré-operatório de pacientes com fratura do rádio distal, avaliando a viabilidade, precisão e eficácia a partir da comparação com processos convencionais.	
<i>A Low-cost Open Source 3D-Printable Dexterous Anthropomorphic Robotic Hand with a Parallel Spherical Joint Wrist for Sign Languages Reproduction</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 2
Local da publicação: International Journal of Advanced Robotic Systems	Autores: Andrea Bulgarelli, Giorgio Toscana, Ludovico Orlando Russo, Giuseppe Airò Farulla, Marco Indaco, Basilio Bona
Principal contribuição: O trabalho mostra uma mão robótica antropomórfica e de código aberto, especificamente projetada para reproduzir as poses de Mãos de Signs para usuários surdos e surdos-cegos utilizando a impressão 3D.	
<i>Development and use of augmented reality and 3D printing in consulting patient with complex skull base cholesteatoma</i>	
Ano de publicação: 2017	Número de citações: 2
Local da publicação: Virtual and Physical Prototyping	Autores: Elodie Chiarovano, Kai Cheng, Payal Mukherjee
Principal contribuição: A artigo utilizou o conceito de realidade aumentada e manufatura aditiva para a educação dos pacientes com problemas de colesteatoma, usando os exames de tomografia computadorizada para mostrar os ossos temporais afetados na doença no pré-operatório, podendo, assim, confortar o paciente em relação ao procedimento.	
<i>Customized 3D printed ankle-foot orthosis with adaptable carbon fibre composite spring joint</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 1
Local da publicação: Cogent Engineering	Autores: M. Walbran, K. Turner & A.J. McDaid
Principal contribuição: O trabalho discute acerca da construção de uma órtese de pé e tornozelo em impressão 3D, a fim de agilizar o tempo de fabricação desse equipamento, uma vez que o mecanismo projetado é altamente adaptável.	

Continuação

<i>Clinical outcomes following ear reconstruction with adjuvant 3D template model</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 3
Local da publicação: Acta Oto-Laryngologica	Autores: Zhu P, Chen S
Principal contribuição: O trabalho projeta e fabrica, por meio da impressão 3D, um modelo anatômico e correto para pacientes com microtia. O modelo é utilizado na cirurgia de microtia e auxilia na reconstrução auricular.	
<i>Routine clinical application of virtual reality in abdominal surgery</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 3
Local da publicação: Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies	Autores: Sampogna G, Pugliese R, Elli M, Vanzulli A, Forgione A
Principal contribuição: Artigo sobre aplicação clínica da realidade virtual em cirurgia abdominal, a qual pode ajudar profissionais na área da saúde e em procedimentos e diagnósticos, como ferramenta complementar.	
<i>Problems Encountered in Technical Education of the Blind, and Related Aids: Virtual Cubarythms and 3D Drawings</i>	
Ano de publicação: 2014	Número de citações: 8
Local da publicação: Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2014 IEEE	Autores: Dariusz Mikulowski, Jolanta Brzostek-Pawlowska
Principal contribuição: O artigo apresenta diversas possíveis soluções para o auxílio de estudantes com deficiências visuais para a aprendizagem e execução de operações matemáticas básicas com a utilização de dispositivos móveis e impressão 3D.	
<i>Sharing is Caring: Assistive Technology Designs on Thingiverse</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 48
Local da publicação: Proceeding CHI '15 Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems	Autores: Erin Buehler, Stacy Branham, Abdullah Ali, Jeremy J. Chang, Megan Kelly Hofmann, Amy Hurst, Shaun K. Kane
Principal contribuição: O artigo apresenta um estudo sobre as comunidades on-line que permitem o compartilhamento de projetos que podem ser desenvolvidos com utilização de prototipagem rápida, dando ênfase ao thingiverse.com. Ao realizar toda a análise, foi concluído que a maioria desses projetos está destinada à fabricação por meio de tecnologia 3D, incluindo dispositivos de auxílios e modificações para indivíduos com deficiência.	

Continuação

<i>Design and Fabrication of a Three Dimensional Printable Non-Assembly Articulated Hand Exoskeleton for Rehabilitation</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 4
Local da publicação: Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2015 37th Annual International Conference of the IEEE	Autores: Lei Cui, Phan A, Allison G.
Principal contribuição: O trabalho projetou e desenvolveu um novo exoesqueleto robotizado manual de cinco dedos, não montável, e utilizando uma modelagem paramétrica que se adapta ao tamanho da mão do usuário. Ele foi fabricado por meio da tecnologia de impressão tridimensional para ser utilizado na reabilitação de pacientes.	
<i>LucentMaps: 3D Printed Audiovisual Tactile Maps for Blind and Visually Impaired People</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 5
Local da publicação: Proceeding ASSETS '16 Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility	Autores: Timo Götzelmann
Principal contribuição: O artigo apresenta um estudo para a conciliação dos requisitos técnicos das impressoras 3D aos requisitos fisiológicos do sentido de toque e tato humano, com o objetivo de integrar os mapas tácteis impressos em 3D com os feedbacks auditivos para as pessoas cegas ou com deficiências visual.	
<i>3D Orbital Reconstruction in a Patient with Microphthalmos and a Large Orbital Cyst—A Case Report</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 3
Local da publicação: Ophthalmic Genetics	Autores: Mourits DL, Wolff J, Forouzanfar T, Ridwan-Pramana A, Moll AC, de Graaf P, Remmers JS, Kraal-Biezen E, Hartong DT
Principal contribuição: O artigo apresenta um sistema que faz uso de imagem 3D e a impressão capazes de apresentar a delineação exata dos cistos orbitais e das estruturas ósseas adjacentes de pacientes.	
<i>Design and 3D Printing of Scaffolds and Tissues</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 43
Local da publicação: Engineering Volume 1, Issue 2	Autores: JiaAn, Joanne Ee Mei Teoh, Ratima Suntornnond, Chee Kai Chua
Principal contribuição: Este artigo traz um estudo das tecnologias de impressão em 3D para aplicações de engenharia de tecidos, com foco particular no desenvolvimento de um sistema de design de andaimes assistido por computador.	

Continuação

<i>Textile cell-free scaffolds for in situ tissue engineering applications</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 11
Local da publicação: Journal of Materials Science. Materials in Medicine	Autores: Aibibu D, Hild M, Wöltje M, Cherif C
Principal contribuição: No artigo, são discutidos os benefícios oferecidos pelas arquiteturas de andaimes microfônicos fabricados por técnicas de fabricação de têxteis.	
<i>3D Printing of Scaffolds for Tissue Regeneration Applications</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 109
Local da publicação: Advanced Healthcare Materials	Autores: Do AV, Khorsand B, Geary SM, Salem AK
Principal contribuição: O artigo traz a discussão sobre os critérios de impressão de andaimes viáveis e funcionais, projetados para imitar a matriz extracelular e fornecer suporte estrutural.	
<i>3D Printing of Lightweight Cellular Composites.</i>	
Ano de publicação: 2014	Número de citações: 205
Local da publicação: Advanced Materials	Autores: Brett G. Compton, Jennifer A. Lewis
Principal contribuição: O trabalho relata uma nova tinta à base de epóxi que permite a impressão 3D de compósitos celulares leves com alinhamento controlado de reforço de fibras de proporções muito altas e de várias dimensões para criar estruturas hierárquicas.	
<i>Comparative Efficacies of a 3D-Printed PCL/PLGA/β-TCP Membrane and a Titanium Membrane for Guided Bone Regeneration in Beagle Dogs</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 14
Local da publicação: Polymers	Autores: Won JY, Park CY, Bae JH, Ahn G, Kim C, Lim DH, Cho DW, Yun WS, Shim JH, Huh JB
Principal contribuição: O estudo foi conduzido para avaliar os efeitos de uma membrana reabsorvível de policaprolactona, impressa em 3D, sobre regeneração óssea e osseointegração em áreas envolvendo implantes e para comparar os resultados com os de uma membrana de malha de titânio não reabsorvível.	

Continuação

<i>Evaluation of carbon fiber-embedded 3D printed structures for strengthening and structural-health monitoring</i>	
Ano de publicação: 2017	Número de citações: 6
Local da publicação: Materials & Design	Autores: Xinhua Yao, Congcong Luan, Deming Zhang, Liujuan Lan, Jianzhong Fu
Principal contribuição: O artigo mostra uma técnica para reforço estrutural e automonitoramento de peças termoplásticas fabricadas por modelagem de deposição fundida.	
<i>Biomimetic 3D printed scaffolds for meniscus tissue engineering</i>	
Ano de publicação: 2017	Número de citações: 1
Local da publicação: Bioprinting	Autores: Alexander Szojka, KaramveerLalh, Stephen H.J.Andrews, Nadr M.Jomha, Martin Osswald, Adetola B.Adesida
Principal contribuição: O objetivo principal do artigo foi projetar e fabricar modelos tridimensionais para serem utilizados na recuperação extracelular do menisco, com o intuito de fornecer um modelo de suporte estrutural para regeneração completa do menisco.	
<i>Modulating mechanical behaviour of 3D-printed cartilage-mimetic PCL scaffolds: influence of molecular weight and pore geometry</i>	
Ano de publicação: 2016	Número de citações: 26
Local da publicação: Biofabrication	Autores: Olubamiji AD, Izadifar Z, Si JL, Cooper DM, Eames BF, Chen DX
Principal contribuição: O artigo mostra que a modulação de MW de PCL e as configurações geométricas dos andaimes permitiram o projeto e a fabricação de andaimes PCL com propriedades mecânicas e biomiméticas que imitam melhor o comportamento mecânico da cartilagem articular humana.	
<i>Complementary multiplatforms in the growing innovation ecosystem: Evidence from 3D printing technology</i>	
Ano de publicação: 2017	Número de citações: 1
Local da publicação: Technological Forecasting & Social Change	Autores: Kiho Kwak, Wonjoon Kim, Kyungbae Park
Principal contribuição: O artigo apresenta várias plataformas de inovação, nas quais são encontradas a tecnologia 3D como base, e o quanto essas tecnologias vêm crescendo e se aprimorando para cada vez mais atingir classes de pessoas que ainda hoje não são incluídas na sociedade.	

Continuação

<i>A Tangible Interface-based Application for Teaching Tactual Shape Perception and Spatial Awareness Sub-Concepts to Visually Impaired Children</i>	
Ano de publicação: 2015	Número de citações: 6
Local da publicação: 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences, AHFE 2015	Autores: Rabia Jafri, Asma Mohammed Aljuhani, Syed AbidAli
Principal contribuição: O artigo descreve a criação de uma solução, que é baseada em interface do usuário e utiliza impressão 3D, para o auxílio e ensino de subconceitos de percepção de forma tátil e conscientização espacial para crianças com deficiência visual.	

Quadro 1 – Descrição dos artigos pesquisados para a revisão da literatura do tema Tecnologias Assistivas Aplicadas à Tecnologia 3D na Saúde.

Fonte: Autoria própria (2018).

Assim, foram analisados os conteúdos e realizadas sínteses e críticas desses artigos, extraindo os principais aspectos e subtemas citados anteriormente (3ª etapa).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

TECNOLOGIAS ASSISTIVAS APLICADAS À TECNOLOGIA 3D NA SAÚDE

A impressão 3D, técnica também conhecida como prototipagem rápida, é capaz de confeccionar objetos dos mais variados tipos e tamanhos, utilizando na maioria das vezes material de baixo custo e baseando-se em um sistema de sobreposição de camadas para criar os modelos tridimensionais. Vários autores destacam o uso dos recursos e produtos confeccionados pela impressão 3D em diversas áreas da Tecnologia Assistiva.

De acordo com Moretto et al. (2016), o uso de impressão 3D na área médica já vem sendo amplamente explorado nos últimos anos e deve ser entendido como uma característica fundamental para o desenvolvimento tecnológico na área. Os autores ainda apontam reduções de custos e melhor atendimento a pacientes como consequência providas por essa evolução.

Vukicevic et al. (2017) também evidenciam em seu artigo a existência de muitas técnicas de impressão 3D que possuem aplicações promissoras na medicina. Entre elas se destaca o processo para desenvolver e criar implantes para reconstituir partes do corpo. Pode-se observar que uma das grandes vantagens obtidas com a impressora 3D é a personalização da tecnologia, isto é, os modelos e as estruturas de apoio, ou de desenvolvimento, recursos básicos, entre outros, podem ser construídos de forma anatômica de cada paciente.

Silva e Maia (2014) apontam em seu trabalho a impressão 3D como peça fundamental na disseminação do conceito de personalização em massa, pelo fato de promover barateamento e artigos personalizados. Os autores citam ainda Galloway (2013) e Firefly (2014) ao falarem da importância que a impressão tridimensional possui para o processo de evolução da tecnologia assistiva.

A possibilidade de personalização que a impressão tridimensional proporciona é citada também em Jo et al. (2016). Os autores desenvolveram uma pesquisa para investigar ferramentas didáticas táteis produzidas usando tecnologia 3D que auxiliasse a sanar dificuldades de aprendizagem que jovens com deficiências visuais apresentavam em sala de aula. Os alunos possuíam diferentes condições visuais e, no decorrer do trabalho, foi necessário que houvesse uma fácil adaptação de um paciente para outro. Devido a essa personalização, Sharma (2013 apud SILVA; MAIA, 2014) afirma que o maior sucesso comercial do emprego da impressão 3D em tecnologias assistivas refere-se, sem dúvidas, ao encapsulamento anatômico dos aparelhos auditivos que acompanham a anatomia do canal auditivo das pessoas com deficiência auditiva.

A tecnologia 3D é também utilizada para imprimir modelos cirúrgicos utilizados no planejamento pré-operatório. Entretanto, para Radenkovic, Solouk e Seifalian (2015), o objetivo é alcançar a capacidade de desenvolver órgãos e tecidos humanos completamente funcionais, para auxiliar e superar as limitações que rotinas como as de transplantes de órgãos podem oferecer, como é o caso de falta de doadores, por exemplo.

Para alcançar esse nível de desenvolvimento, é necessário um grande investimento. Hoje as principais fabricantes de equipamentos de impressão 3D do mercado, a Stratasys e a 3D Systems, são responsáveis por financiarem e divulgarem soluções complexas de tecnologias assistivas realizadas por meio da impressão 3D. Muitas vezes essas soluções são desenvolvidas por pequenas empresas, organizações sem fins lucrativos ou por indivíduos, mas as empresas Stratasys e 3D Systems participam de sua divulgação para disseminarem a cultura da impressão 3D (SILVA; MAIA, 2014, p. 33).

No Brasil, o uso da prototipagem 3D aplicada em tecnologia assistiva já não é mais novidade. O Instituto Nacional de Traumatologia e Ortopedia Jamil Haddad (INTO), o qual é vinculado ao Ministério da Saúde, está desenvolvendo um projeto que produz próteses para pacientes amputados que são atendidos pelo Sistema Único de Saúde (SUS). O projeto já se prepara para produzir órteses de membro superior para pacientes que possuem amputação distal. O projeto Mão 3D, desenvolvido pela Profa. Dra. Maria Elizete Kunkel em parceria com a e-Nable (<http://e-nablebrasil.org>), uma comunidade mundial que disponibiliza modelos de próteses de mãos 3D para o mundo, distribui próteses de mão desenvolvidas em impressora 3D para pacientes de baixa renda (<https://www.biomecanicaeforense.com/mao3d>).

PROBLEMAS E OBSTÁCULOS

A utilização da impressão 3D como uma ferramenta de apoio para o desenvolvimento de tecnologias assistivas está em grande evolução, proporcionando inovações na área e se mostrando uma ótima ferramenta de inclusão. Mas ainda existem barreiras que necessitam ser quebradas para que a modelagem 3D se torne um meio cada vez mais importante como forma de auxílio, para o desenvolvimento de tecnologias assistivas na área da saúde. Uma das barreiras identificadas é a maior necessidade de integração e conhecimento dos profissionais da saúde em relação à tecnologia de impressão 3D e suas funcionalidades, como relata Buehler et al. (2014).

Buehler et al. (2014) desenvolveram um sistema de aderência de caneta com a utilização de impressora 3D, para que um usuário com capacidade motora limitada da mão pudesse escrever e utilizar o iPad. O desenvolvimento do protótipo foi realizado com eficácia, através de testes e adequações em um conjunto de sessões de prototipagens iterativas com o auxílio de terapeutas computacionais. Foi observado no decorrer de todo o processo que, não era necessário nenhum entendimento especializado em ferramentas de engenharia ou CAD. As principais dificuldades para os terapeutas ocupacionais conseguirem desenvolver o projeto por conta própria foram o tempo e a falta de treinamento. Os terapeutas tinham capacidade para dominar de design, mas não possuíam horários disponíveis para o aprendizado dos processos e para a revisão dos modelos 3D fornecidos.

Buehler et al. (2014) apresentou há alguns terapeutas computacionais a impressora 3D e suas funcionalidades. Os Terapeutas vislumbraram diversas oportunidades da utilização dessa tecnologia em seu trabalho, mas a falta de tempo ou de habilidades impediu os terapeutas a trabalharem diretamente com a impressora. Mas a união de conhecimentos, com uma colaboração mútua permitiu a concepção e desenvolvimento de objetos personalizados. Os terapeutas ocupacionais se veem como um consumidor, onde o de impressão e design 3D é considerado o trabalho para outra pessoa.

A impressão 3D permite o desenvolvimento de soluções de tecnologias assistivas econômicas e individualizadas. A capacitação dos terapeutas ocupacionais na modelagem 3D pode proporcionar o desenvolvimento e prototipagem de soluções por conta própria, permitindo-os utilizarem a impressão 3D para superar diversos obstáculos na tecnologia assistiva, que possuem disponibilidade limitada, custos elevados e grande dificuldade de ajuste. (BUEHLER et al., 2014).

Outras barreiras importantes e limitantes ao crescimento do uso da tecnologia 3D como tecnologia assistiva na saúde, é o custo dos equipamentos, o alto tempo gasto de impressão, a dificuldade de utilização dos softwares de modelagem e falta de facilidade de acesso da tecnologia a todos.

Zheng et al. (2017) desenvolveu um estudo de comparação entre a cirurgia convencional e a cirurgia com o auxílio de tecnologia de impressão 3D no tratamento de fraturas calcâneas, além disso, foi realizada uma investigação do efeito da tecnologia 3D em comunicação entre médicos e pacientes. De acordo com esse estudo, a tecnologia de impressão 3D possui diversas vantagens na aplicação do planejamento e técnica cirúrgica,

mas existem limitações que necessitam ser melhoradas. A modelagem aplicada no estudo foi baseada em imagens de tomografia computadorizada do osso, de modo que não foram obtidas informações em relação ao tecido mole adjacente e vascularização. Outro ponto que necessita de melhorias em estudos futuros é que para pacientes fraturas severas fragmentadas o procedimento 3D não consegue distinguir os fragmentos de fraturas menores. Outro aspecto relevante é o gasto de tempo entre a tomografia computadorizada de varredura até o desenvolvimento do protótipo, de modo que não é apropriado para casos de emergência. (ZHENG et al., 2017). Esta mesma conclusão também foi obtida por Yao et al. (2017), que trabalhava com impressoras 3D para o desenvolvimento de Biomodelos. Para ele o tempo e o custo de impressão são aspectos relevantes para o caso de uma emergência. Para ele as impressoras ainda não são capazes de desenvolver o modelo dentro dos parâmetros necessários em uma emergência.

Para a educação, a impressão 3D proporciona a possibilidade de auxílios de aprendizagem personalizados na sala de aula e tecnologia assistiva individualizada, só que para atingir esses objetivos é necessário que as instituições de educação tenham acesso a tecnologia de impressão 3D. (BUEHLER et al., 2014).

A dificuldade de acesso de muitas instituições de educação a tecnologia 3D ainda é um fator limitante, mas com o avanço nos estudos e no desenvolvimento de impressoras 3D a custos mais acessíveis, a viabilidade de aquisição dessa tecnologia torna-se cada vez maior.

Outro aspecto limitante para a utilização da modelagem 3D na educação são as dificuldades existentes em relação à manutenção, solução de problemas e resultados imprevistos de impressão de baixa qualidade. Um exemplo é no desenvolvimento de dispositivos assistivos ajustados, em que a precisão é imprescindível para a replicação dos detalhes e medições. Quando se ensina com o uso da Tecnologia 3D, a consistência e confiabilidade são fundamentais, pois erros na impressão podem afetar a experiência de aprendizagem. (BUEHLER et al., 2014). Outro obstáculo encontrado por Buehler, é que os softwares de modelagem na tecnologia 3D são complexos até para alunos de engenharia, que demoram alguns meses para se adaptar e passarem a desenvolver projetos com destreza. Estes softwares ainda não apresentam uma interface com características que facilitem o aprendizado de usuários com dificuldades visuais ou físicas. Essa dificuldade no uso do software pode fazer com que o aluno perca o interesse no projeto.

Apesar dessas dificuldades, Jo et al. (2016) introduziu a tecnologia de impressão 3D na sala de aula para estudantes com deficiências visuais, utilizando a impressão 3D para a criação de matérias tácteis tridimensionais de mapas e relíquias históricas que são encontradas como imagens nos livros didáticos. Os materiais desenvolvidos com a modelagem 3D se mostraram uma ótima ferramenta de auxílio para maior compreensão e conhecimento dos alunos com dificuldades visuais. Entretanto, foi possível diagnosticar, através de estudantes e professores, aspectos relevantes que necessitam ser melhorados futuramente: a determinação do tamanho ideal e dos detalhes dos materiais objetivando a redução do mal-entendido sobre as formas reais, o aumento na lisura da superfície e durabilidade e o desenvolvimento de materiais com maior diversidade e segurança com texturas diferentes. De maneira geral, diversos aspectos da impressão 3D devem ser otimizados para uma melhor eficácia no processo, possibilitando

uma maior aplicação. Existem dificuldades de design e custo, tempo de fabricação, além da limitação dos materiais para a construção dos objetos 3D.

DISCUSSÃO

Em tempos de debates a respeito da acessibilidade e mobilidade de pacientes com deficiência física, tecnologias assistivas terminam, em quase todas as ocasiões, fazendo parte desses diálogos. Com isso, a discussão sobre impressão 3D aparece, geralmente, como consequência ao tentarmos apontar solução para alguns problemas.

É inegável que a impressão 3D é uma das ferramentas que mais impulsionam o desenvolvimento das tecnologias assistiva no mundo. Mesmo sendo uma tecnologia relativamente nova, a prototipagem rápida vêm cada vez mais tornando-se acessível a todos, facilitando bastante o crescente avanço de pesquisas na área, muitas vezes impulsionadas até mesmo pelas grandes empresas do mercado de prototipadoras, no qual investem em projetos ligados a saúde e reabilitação de pacientes

Pode-se então observar o crescente desenvolvimento de novas tecnologias assistivas fabricadas por impressão 3D, e um início de disseminação destas tecnologias para os usuários com deficiência ou dificuldades diversas motoras, educacionais ou de inclusão, embora ainda vê-se a necessidade de investimento da própria indústria em fabricar e comercializar estas tecnologias para ter um maior alcance e chegar para mais indivíduos em que estas tecnologias sejam necessárias.

Observa-se também que pares que já existem no mercado das tecnologias assistivas estão sendo substituídos por aqueles construídos por meio de impressão 3D. Sem dúvidas, isso se deve a qualidade das peças impressas e ao baixo custo quando comparamos a produtos que já eram comercializados.

Um exemplo claro dessa situação é a fabricação de próteses utilizando a tecnologia de modelagem 3D, processo que o Sistema Único de Saúde está adotando. Uma prótese impressa pode custar menos do que algumas próteses comercializadas.

Vários sistemas virtuais foram desenvolvidos com vários modelos tridimensionais hospedados, e estão ao alcance de todos as aqueles que não dominam totalmente softwares de desenho tridimensional, essa é mais uma de democratizar a tecnologia, e torná-la acessível ao maior público possível, esse sistema de hardware aberto em muitas situações alicerçam o desenvolvimento de instrumentos para TA.

REFERÊNCIAS

- ABDALLAH, E. E.; FAYYOUMI, E. Assistive Technology for Deaf People Based on Android Platform. **Procedia Computer Science**, v. 94, p. 295–301, 2016.
- AIBIBU, D. et al. Textile cell-free scaffolds for in situ tissue engineering applications. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, v. 27, n. 63, 2016. DOI <http://doi.org/10.1007/s10856-015-5656-3>
- AN, J. et al. (2015). Design and 3D Printing of Scaffolds and Tissues. **Engineering**, v. 1, iss. 2, p. 261-268, jun. 2015. DOI <https://doi.org/10.15302/J-ENG-2015061>
- BUEHLER, E.; KANE, S. K.; HURST, A. ABC and 3D: opportunities and obstacles to 3D printing in special education environments. In: INTERNATIONAL ACM SIGACCESS CONFERENCE ON COMPUTERS & ACCESSIBILITY – ASSETS, 16., 2014, Rochester, NY. **Proceedings...** Rochester, NY, 2014a. p. 107–114. DOI <https://doi.org/10.1145/2661334.2661365>
- BUEHLER, E.; HURST, A.; HOFMANN, M. Coming to Grips: 3D Printing for Accessibility. In: INTERNATIONAL ACM SIGACCESS CONFERENCE ON COMPUTERS & ACCESSIBILITY – ASSETS, 16., Rochester, NY. **Proceedings...** Rochester, NY, 2014b. p. 291–292. DOI <https://doi.org/10.1145/2661334.2661345>
- BUEHLER, E. et al. Sharing is Caring: Assistive Technology Designs on Thingiverse. In: ANNUAL ACM CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 33., 2015, New York. **Proceedings...** New York, 2015. p. 525-534. DOI <http://dx.doi.org/10.1145/2702123.2702525>
- _____. Investigating the Implications of 3D Printing in Special Education. **ACM Transactions on Accessible Computing**, v. 8, n. 3, p. 1–28, 2016. DOI <https://doi.org/10.1145/2870640>
- BRULE, E. et al. MapSense: Multi-Sensory Interactive Maps for Children Living with Visual Impairments. In: ANNUAL ACM CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 2016, San José, United States. **Proceedings...**, San José, United States, 2016. p. 445-459.
- BULGARELLI, A. et al. A Low-Cost Open Source 3D-Printable Dexterous Anthropomorphic Robotic Hand with a Parallel Spherical Joint Wrist for Sign Languages Reproduction. **Int J Adv Robot Syst**, v. 13, n. 126, 2016. DOI <https://doi.org/10.5772/64113>

- CHEN, A. X. et al. Reprise: A Design Tool for Specifying, Generating, and Customizing 3D Printable Adaptations on Everyday Objects. In: ANNUAL SYMPOSIUM ON USER INTERFACE SOFTWARE AND TECHNOLOGY, 29., Tokyo. **Proceeding...**, Tokyo, 2016. p 29-39. DOI <https://doi.org/10.1145/2984511.2984512>
- CHEN, C. et al. Treatment of Die-Punch Fractures with 3D Printing Technology. **Journal of Investigative Surgery**, 2017. DOI 10.1080/08941939.2017.1339150
- CHENG, K.; MUKHERJEE, P.; CURTHOYS, I. Development and use of augmented reality and 3D printing in consulting patient with complex skull base cholesteatoma. **Virtual and Physical Prototyping**, 2017. DOI 10.1080/17452759.2017.1310050
- COMPTON, B. G.; LEWIS, J. A. 3D-Printing of Lightweight Cellular Composites. **Advanced Materials**, n. 26, p. 5930–5935, 2014. DOI 10.1002/adma.201401804
- CUI, L.; PHAN, A.; ALLISON, G. Design and fabrication of a three dimensional printable non-assembly articulated hand exoskeleton for rehabilitation. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY (EMBC), 37., 2015, Milan. **Proceedings...** Milan, 2015. p. 4627-4630. DOI 10.1109/EMBC.2015.7319425
- DO, A. V. et al. 3D Printing of Scaffolds for Tissue Regeneration Applications. **Advanced Healthcare Materials**, v. 4, n. 12, p. 1742–1762, 2015. DOI <http://doi.org/10.1002/adhm.201500168>
- FIGUEROA-CAVAZOS, J. O. et al. Design Concepts of Polycarbonate-Based Intervertebral Lumbar Cages: Finite Element Analysis and Compression Testing. **Applied Bionics and Biomechanics**, v. 2016, 2016. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/7149182>.
- GÖTZELMANN, T. LucentMaps: 3D Printed Audiovisual Tactile Maps for Blind and Visually Impaired People. In: INTERNATIONAL ACM SIGACCESS CONFERENCE ON COMPUTERS AND ACCESSIBILITY, 18., 2016, New York. **Proceedings...** New York, 2016. p. 81-90. DOI <http://dx.doi.org/10.1145/2982142.2982163>
- JAFRI, R.; ALJUHANI, M. A.; ALI, A. S. A Tangible Interface-based Application for Teaching Tactual Shape Perception and Spatial Awareness Sub-Concepts to Visually Impaired Children. **Procedia Manufacturing**, v. 3, p. 5562-5569, 2015. DOI <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.734>
- _____. (2016). A Tangible Interface-based Application for Teaching Tactual Shape Perception and Spatial Awareness Sub-Concepts to Visually Impaired Children. **International Journal of Child-Computer Interaction**, v. 11, p 3-11, jan. 2017. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2016.12.001>

- JO, W. et al. Introduction of 3D Printing Technology in the classroom for Visually Impaired Students. **Journal of Visual Impairment & Blindness**, v. 110, p. 115–122, apr. 2016.
- LASZCZAKA, P. et al. Development and validation of a 3D-printed interfacial stress sensor for prosthetic applications. **Medical Engineering & Physics**, v. 37, iss. 1, p. 132-137, jan. 2015.
- LEE, K. et al. Creating perfused functional vascular channels using 3D bio-printing technology. **Biomaterials**, v. 35, iss. 28, p. 8092-8102, 2014. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.biomaterials.2014.05.083>
- MCLOUGHLIN, L. et al. Virtual Sculpting and 3D Printing for Young People with Disabilities. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 36, n. 1, p. 22-28, jan./feb. 2016. DOI 10.1109/MCG.2016.1
- MIKUŁOWSKI, D.; BRZOSTEK-PAWŁOWSKA, J. Problems encountered in technical education of the blind, and related aids: Virtual cubarythms and 3D drawings. **2014 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)**, Istanbul, p. 995-998, 2014. DOI 10.1109/EDUCON.2014.6826223
- MOURITS, D. L. et al. 3D Orbital Reconstruction in a Patient with Microphthalmos and a Large Orbital Cyst - A Case Report. **Ophthalmic Genetics**, v. 37, n. 2, p.233–237, 2016. DOI <https://doi.org/10.3109/13816810.2015.1033558>
- MORETTO, E. G. et al. Elaboração de Próteses Auriculares Individualizadas por Meio de Manufatura Auxiliada por Computador. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, 36., 2016, Porto Alegre. **Anais...**, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/wim/2016/001.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2018.
- OLUBAMIJI, A. D. et al. Modulating mechanical behaviour of 3D-printed cartilage-mimetic PCL scaffolds: influence of molecular weight and pore geometry. **Biofabrication**, v. 8, n. 2, 2016. DOI <https://doi.org/10.1088/1758-5090/8/2/025020>
- OSTUZZI, F. et al. TUO project: low cost 3D printers as helpful tool for small communities with rheumatic diseases. **Rapid Prototyping Journal**, v. 21, iss. 5, p. 491-505, 2015.
- RADENKOVIC, D.; SOLOUK, A.; SEIFALIAN, A. Personalized development of human organs using 3D printing technology. **Medical Hypotheses**, v. 87, p. 30–33, 2015. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.mehy.2015.12.017>
- SAMPOGNA, G. et al. Routine clinical application of virtual reality in abdominal surgery. **Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies**, 2017. DOI: 10.1080/13645706.2016.1275016

SHENG, Y. L.Y. Y. et al. 3D Printed Bio-models for Medical Applications. **Rapid Prototyping**, v. 23, iss 2, 2017.

SHIM, J. H. et al. Comparative Efficacies of a 3D-Printed PCL/PLGA/ β -TCP Membrane and a Titanium Membrane for Guided Bone Regeneration in Beagle Dogs. **Polymers**, n. 7, p. 2061-2077, 2015. DOI 10.3390/polym7101500.

SILVA, J. V. L.; MAIA, I. A. Desenvolvimento de dispositivos de tecnologia assistiva Utilizando impressão 3D. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA ASSISTIVA, 1., 2014, Campinas. **Anais...** Campinas: CTI Renato Archer, 2014.

SZOJKA, A. et al. Biomimetic 3D printed scaffolds for meniscus tissue engineering. **Bioprinting**, v. 8, p. 1-7, 2017. DOI <https://doi.org/10.1016/j.bprint.2017.08.001>.

VUKICEVIC, M. et al. Cardiac 3D Printing and its Future Directions. **JACC: Cardiovascular Imaging**, v. 10, n. 2, p. 171–184, 2017.

WALBRAN, M.; TURNER, K.; MCDAID, A. J. Customized 3D printed ankle-foot orthosis with adaptable carbon fibre composite spring joint. **Cogent Engineering**, v. 3, n. 1, 1227022. 2016. DOI <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1227022>

YAO, X. et al. Evaluation of carbon fiber-embedded 3D printed structures for strengthening and structural-health monitoring. **Materials & Design**, 2016. 114.10.1016/j.matdes.2016.10.078.

YAO, Y. L. et al. 3D printed bio-models for medical applications. **Rapid Prototyping Journal**, v. 23, n. 2, p. 227–235, 2017. DOI <https://doi.org/10.1108/RPJ-08-2015-0102>

ZHENG, W. et al. Comparison of the Conventional Surgery and the Surgery Assisted by 3d Printing Technology in the Treatment of Calcaneal Fractures. **Journal of Investigative Surgery**, 1939, p. 1–11, sept. 2017. DOI <https://doi.org/10.1080/08941939.2017.1363833>

ZHU, P.; CHEN, S. Clinical outcomes following ear reconstruction with adjuvant 3D template model. **Acta Oto-Laryngologica**, 2016. DOI 10.1080/00016489.2016.1206967

SOBRE OS AUTORES

AMARILDO SILVA DAMASCENO JÚNIOR

Graduado em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. <http://lattes.cnpq.br/8677996116249506>

ANA KARENINA DE OLIVEIRA PAIVA

Engenheira de Materiais e Bacharel em Ciências e Tecnologia com ênfase em Tecnologia de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. <http://lattes.cnpq.br/6253260853210793>

ARTHUR BALBOA DE MEDEIROS MARTINS

Graduando em Ciências e Tecnologia (BCT) com ênfase em Engenharia de Telecomunicações na Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. <http://lattes.cnpq.br/6010714389879940>

CUSTÓDIO LEOPOLDINO DE BRITO GUERRA NETO

Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Professor Associado e Coordenador do Programa de Pós-graduação em Gestão e Inovação em Saúde da UFRN. <http://lattes.cnpq.br/5387010100082241>

DANILO ALVES PINTO NAGEM

Doutor em Engenharia Mecânica com ênfase em Bioengenharia pela UFMG. Professor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, trabalhando no departamento de Engenharia Biomédica. <http://lattes.cnpq.br/5934458385325202>

HÉLIO ROBERTO HÉKIS

Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas, área de concentração em Gestão de Negócios pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Professor Adjunto IV do Departamento de Engenharia Biomédica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). <http://lattes.cnpq.br/9599726799047515>

KARILANY DANTAS COUTINHO

Doutora em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Professora Adjunta da UFRN, lotada no Departamento de Engenharia Biomédica. <http://lattes.cnpq.br/8409211766785367>

KELVEM KATYSON LIRA DE FREITAS

Técnico em Informática pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - IFRN. Discente em Tecnologia da Informação pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. <http://lattes.cnpq.br/8295679830924248>

RICARDO ALEXSANDRO DE MEDEIROS VALENTIM

Doutor em Engenharia Elétrica e de Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Professor Adjunto IV da UFRN, lotado no Departamento de Engenharia Biomédica. Atualmente é Coordenador de Tecnologia da Informação e Comunicação na Secretaria de Educação a Distância (SEDIS/UFRN) e do Laboratório de Inovação Tecnológica em Saúde da UFRN/HUOL/EBSERH. <http://lattes.cnpq.br/3181772060208133>



Este livro foi produzido pela
equipe editorial da Secretaria
de Educação a Distância da
Universidade Federal do Rio Grande
do Norte em fevereiro de 2018.



WORKSHOP DE
TECNOLOGIAS
3D NA SAÚDE



LAIS
LABORATÓRIO DE INOVAÇÃO
TECNOLOGICA EM SAÚDE



Departamento de
**ENGENHARIA
BIOMÉDICA**



SEDIS
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

UFRN
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE



Associação Brasileira
das Editoras Universitárias