

MANUFATURA ADITIVA COMO FERRAMENTA NA MEDICINA 4.0 PARA PRODUÇÃO DE PRÓTESES BIOMECÂNICAS

Autores

Wesley Felipe Capucho¹

Tiago Magalhães Silveiras²

Rafael Pereira Alves³

Rosinei Batista Ribeiro⁴

Resumo

O Brasil registrou, no período de 2012-2020, 446,9 mil notificações de acidentes de trabalho, dos quais 24% atingem os dedos, o que resulta em perdas totais ou parciais de membros. Este artigo teve como objetivo demonstrar como a manufatura aditiva tem sido uma ferramenta importante na medicina 4.0, desenvolver um projeto de prótese biomecânica para posteriormente ser produzida em uma impressora 3D para ser direcionada a um usuário que sofreu a perda da falange média e distal do dedo indicador da mão esquerda por consequência de um acidente de trabalho. O método aplicado neste artigo foi a de Design Science Research, em que ocorreu a compreensão do problema por meio de coletas de dados científicos e estatísticos, o que ajudou a entender as características do usuário e, por conseguinte, a fabricar uma réplica feita de resina da mão esquerda do usuário com o fim de ser o objeto de estudo do grupo responsável pela pesquisa. Por fim, foi realizado o desenho 2D e 3D da prótese no software Autocad de acordo com os dados coletados por meio de medidas antropométricas da mão lesionada do usuário e do questionário, modelo permatius, para posteriormente ser fabricada por meio da manufatura aditiva.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Manufatura Aditiva. Antropometria. *Design Science Research*. Medicina 4.0.

Abstract

In 2012-2020, Brazil recorded 446.9 thousand notifications of accidents at work, with 24% of accidents affecting the fingers, resulting in total or partial loss of limbs. The article aimed to demonstrate how additive manufacturing has been an important tool in medicine 4.0, and to develop a biomechanical prosthesis project to be later produced in a 3D printer to be directed to the user who suffered the loss of the middle and distal phalanx of the finger forefinger of the left hand because of an accident at work. The method applied in this article was Design Science Research, where the problem was understood through scientific and statistical data collection, which helped to understand the characteristics of the user. Therefore, the manufacture of a replica made of resin from the user's left hand to be the object of study by the group responsible for the research. Finally, the 2D and 3D design of the prosthesis was performed in the Autocad software according to the data collected through anthropometric measurements of the hand

¹ Graduação em Tecnologia de Gestão da Produção Industrial- Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo. E-mail: contato@fateccruzeiro.edu.br

² Graduação em Tecnologia de Gestão da Produção Industrial- Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo. E-mail: contato@fateccruzeiro.edu.br

³ Graduação em Tecnologia de Gestão da Produção Industrial- Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo. E-mail: contato@fateccruzeiro.edu.br

⁴ Pós-Doutorado pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) e docente da Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo. E-mail: rosinei.ribeiro@fatec.sp.gov.br

injured of user and the questionnaire, permatous model, to be later manufactured through additive manufacturing.

Keywords: *Industry 4.0. Additive Manufacturing. Anthropometry. Design Science Research. Medicine 4.0.*

1. INTRODUÇÃO

Desde as máquinas a vapor, passando pela fabricação em massa, pela automatização dos sistemas produtivos, a indústria está cada vez mais conectada e agora chega até a chamada Indústria 4.0, que vem causando grandes mudanças no mercado, especialmente na criação de novos modelos de negócio tanto no âmbito físico quanto no digital, e com um mercado cada vez mais globalizado e exigente, as empresas vêm se adaptando a essas novas tecnologias para se manterem competitivas no mercado e atender as necessidades específicas do cliente.

A indústria 4.0 traz consigo diversas tecnologias, dentre elas a manufatura aditiva (additive manufacturing - AM), também conhecida como impressão 3D, que possibilita a prototipagem rápida de qualquer peça de formatos complexos, o que não é possível por outros processos de fabricação tradicionais; a tecnologia AM tem potencial significativo de fabricação para gerar inovação na Indústria 4.0.

Segundo o Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho, o Brasil possui 446,9 mil notificações de acidentes de trabalho (cat) - total de acidentes (inss/catweb, 2020) e 1,9 mil notificações de acidentes de trabalho (cat) - acidentes com óbito (inss/catweb, 2020). Considerando esses dados, este artigo tem como objeto de pesquisa a relação das tecnologias resultantes da indústria 4.0 com a medicina e os resultados de pesquisas e trabalhos científicos de profissionais da ciência médica e engenharia sobre quais foram as soluções criadas utilizando a manufatura aditiva para os dilemas enfrentados pelos trabalhadores e pessoas que possuem anomalias físicas ou sofreram lesões permanentes nas mãos e dedos por consequência de algum acidente de trabalho.

Este artigo possui a justificativa por envolver e desenvolver tópicos e temas pertinentes à atual transformação digital que está abrangendo e revolucionando diversas áreas, inclusive a medicina, em que resultou no surgimento de uma nova área conhecida como "medicina 4.0", que agrega diversas ferramentas tecnológicas, como por exemplo, a manufatura aditiva que está se tornando essencial no planejamento de operações cirúrgicas com o objetivo de diminuir a

probabilidade de erros, estudos de doenças e anomalias, impressão tridimensional de próteses biomecânicas que se firmou como um grande ramo da medicina e bioengenharia, trazendo importantes resultados no âmbito médico e restabelecendo a qualidade de vida dos pacientes.

O presente artigo demonstra, ainda, quais são as colaborações e pesquisas científicas elaboradas por diversos profissionais da medicina e engenharia, direcionadas à sociedade com o objetivo de gerar soluções para os dilemas médicos que afligem a sociedade. Considerando esse ponto, foi conceituada a necessidade de selecionar um usuário para colaborar com o desenvolvimento do estudo, posteriormente foi designado um homem de 35 anos que foi vítima de acidente de trabalho que resultou na perda da falange distal e média do dedo indicador da mão esquerda e, por conseguinte, foi proposto o desenvolvimento de pesquisa de uma prótese biomecânica para o dedo lesionado do usuário.

A ciência e a tecnologia vêm proporcionando um desenvolvimento extraordinário da indústria. Da convergência entre ambas resultam em feitos extraordinários em vários setores produtivos, em que tudo se encontra conectado e interligado mediante os dados, resultando em tecnologias formidáveis conhecidas como inteligência artificial, comunicação entre objetos inteligentes (IoT), manufatura aditiva, realidade aumentada e virtual, dentre outros, que possibilitam a criação de novos métodos para reabilitação de indivíduos com algum tipo de desvirtude biomecânica.

Medicina 4.0 é o resultado da integração do universo da tecnologia com a medicina, fazendo uso de softwares como computação em nuvem, mecanismos automatizados, internet das coisas, dentre outras tecnologias, logo, pode-se dizer que a medicina 4.0 não diz respeito somente a tratar doenças, ela visa a prevenção, predição de enfermidades evitando terem de ser remediadas.

Atualmente existem procedimentos que consistem em análises de imagens obtidas mediante de uma tomografia computadorizada e ressonância magnética, em que o médico responsável realiza uma impressão em 3D de uma réplica de regiões anatômicas do corpo humano em questão e, assim, decide, a partir delas, como irá prosseguir com o procedimento médico de seu paciente.

De acordo com Schwab (2016), a quarta revolução industrial não é definida por um conjunto de tecnologias emergentes em si mesmas, mas a transição em direção a novos sistemas

que foram construídos sobre a infraestrutura da revolução digital (anterior), bem como a interação entre os domínios físicos, digitais e biológicos.

Este trabalho trata-se de uma pesquisa bibliográfica, em que foram levantadas informações relevantes à indústria 4.0 na medicina e sua colaboração para a comunidade científica. Seguidamente foi adotado o método Design Science Research em que ocorreu uma análise e compreensão do problema, desenvolvimento de alternativas para o protótipo que suprissem as necessidades do usuário, mockups, sketches e desenhos técnicos do produto no software de modelagem 2D/3D Autocad. Como objetivo geral pretendeu-se demonstrar como a manufatura aditiva é uma ferramenta importante na medicina 4.0 na produção de próteses biomecânicas e os objetivos específicos foram o levantamento de dados estatísticos e de obras de autores conceituados para embasar a pesquisa científica.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Indústria 4.0

A primeira revolução industrial aconteceu entre 1760 e 1860, tendo surgido na Inglaterra, em que se originaram importantes invenções que provocaram a evolução do setor produtivo e de transporte, mas principalmente a máquina a vapor que fora utilizada para automação de processos, sendo a indústria têxtil a primeira a utilizar a nova tecnologia (SAKURAI, 2018, p.482).

Com a segunda revolução industrial, que se iniciou no final do século XIX e perdurou aproximadamente até o meio do século XX, veio o advento da eletricidade e de outras novas tecnologias, as empresas buscavam cada vez mais lucro, maior especialização do trabalho e principalmente ampliação da produção, foi então que surgiram os sistemas de produção em massa (BOETTCHER, 2015).

A terceira revolução industrial surgiu em decorrência dos avanços tecnológicos do século XX e XXI, dentre os quais podem ser citados os avanços no campo da informática, da robótica, das telecomunicações, dos transportes, da biotecnologia e da nanotecnologia (BOETTCHER, 2015).

Na publicação “Indústria 4.0: O que é, e como ela vai impactar o mundo”, do ano de 2016, diz que o termo Indústria 4.0 surgiu pela primeira vez em 2011, na feira de Hannover, a partir de um projeto do governo alemão voltado à tecnologia.

Segundo Sakurai (2018, p.485), “o fundamento básico da Indústria 4.0 é de que conectando máquinas, sistemas e ativos, as empresas podem criar redes inteligentes e assim controlar os módulos de produção de forma autônoma”. É a partir desta integração que surgem as “fábricas inteligentes”, de forma que não será necessária muita interferência humana nos processos.

De acordo com Schwab (2016, p.16), “o que torna a quarta revolução industrial fundamentalmente diferente das anteriores é a fusão dessas tecnologias e a interação entre os domínios físicos, digitais e biológicos”.

Conforme a publicação “Indústria 4.0 – Evolução ou Revolução”, de 2018, existem 9 tecnologias que estão tornando possível a quarta revolução industrial, dentre elas: Internet das Coisas, Big Data e Analytics, Robôs Autônomos, Simulações, Integração de Sistemas, Cibersegurança, Computação em Nuvem, Manufatura aditiva e a Realidade Aumentada.

No campo da biologia, em particular na genética, as inovações são diversas, como por exemplo o processo de sequenciamento genético que teve seu custo e tempo reduzido absurdamente; hoje em dia o genoma pode ser sequenciado em poucas horas, por um preço acessível. Para Schwab (2016, p.29), “O próximo passo da genética é a biologia sintética. Ela oferecerá a capacidade de criar organismos personalizados, escrevendo o DNA deles.”

A manufatura aditiva ou impressão 3D trata-se da criação, camada sobre camada, de um objeto físico em 3D, por meio de um modelo digital. Contudo, existem as restrições em relação a tamanho, custo e velocidade, mas são progressivamente superadas, principalmente em relação à capacidade de processamento. (SCHWAB, 2016, p.24).

2.2 Manufatura Aditiva

No final da década de 1980, surgiu o princípio de fabricação baseada na sobreposição de materiais em camadas, a Manufatura Aditiva (Additive Manufacturing – AM), que, ao longo dos anos, vem sendo aperfeiçoada. Esse processo possibilita a produção de peças em polímeros, cerâmicos, metais, entre outros, compreendendo o setor industrial, joalheiro, brinquedos, arquitetura, forense, além do setor da medicina. (AHRENS; VOLPATO, 2007; GUO; LEU, 2013; LONGHITANO, 2015).

De acordo com Gibson et al. (2010), a MA é definida como um grupo de tecnologias que utiliza uma abordagem camada por camada para criar objetos com forma livre, desde a base até o topo.

Volpato (2017, p. 16) descreve a MA como um modelo de fabricação a partir da adição consecutiva de matérias em forma de camadas por meio de informações obtidas de uma representação gráfica 3D que geralmente é feita com auxílio de softwares como o CAD.

A Figura 1 mostra o processo MA que tem início mediante um modelo 3D da peça gerado por um software que produz um formato de arquivo STL(StereoLithography) que contém dados que descrevem o layout de um objeto tridimensional para representação de objetos em MA, que, subsequente, é fatiada eletronicamente, obtendo-se as curvas de nível 2D que definirão, em cada camada, onde será ou não adicionado o material até a peça fabricada.

Figura 1: Representação gráfica das principais etapas do processo de MA ou impressão 3D.

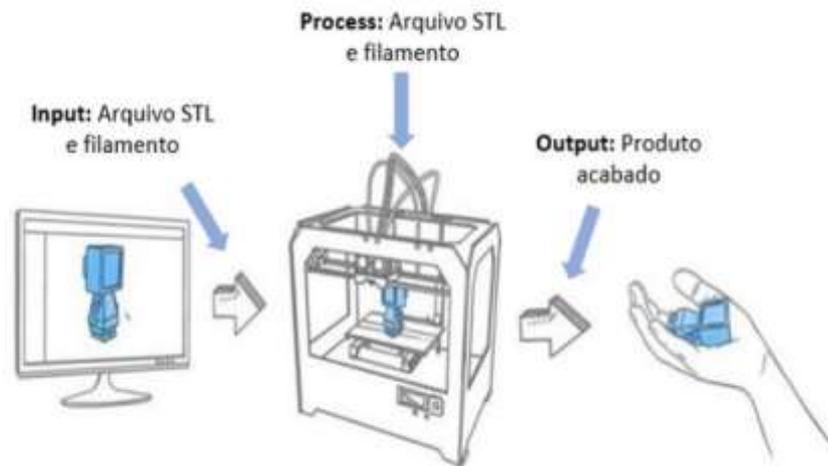


Fonte: Manufatura Aditiva - tecnologias e aplicações da impressão 3D (2017).

Um ponto importante da MA é a automatização, o que reduz consideravelmente a necessidade de intervenção humana no processo, sendo apenas necessário na alimentação de matéria prima até a retirada do produto, já que durante o processo utiliza-se as informações que são inseridas por um software.

A Figura 2 exemplifica o processo MA, desde o input, que é a entrada da matéria prima, ou seja, os recursos transformadores, passando pelo processo, que é a fase em que matéria prima está sendo transformada, até o Output, em que se dá a saída do produto acabado.

Figura 2: Ciclo do processo MA – Fonte: Boa impressão 3D, adaptada pelos autores



Fonte: Como é imprimir alguma coisa numa impressora 3D (2015).

2.3 Bioengenharia

É a ciência que se refere à aplicação de técnicas e métodos de engenharia e ciências exatas na criação e desenvolvimento de órgãos internos artificiais e dispositivos que auxiliam os sistemas biológicos, estando inserida no âmbito da engenharia biomédica como uma de suas subdivisões, resultando do esforço pioneiro de médicos que, durante a fase inicial da era dos transplantes cardíacos, habituados a criar ferramentas e equipamentos que supriam suas necessidades urgentes, encontraram algumas dificuldades técnicas inerentes à gestão de estruturas industriais produtivas, que eram necessárias naquele momento, e também para o projeto de desenvolvimento e criação de equipamentos de monitoração e de suporte da vida com alto nível de complexidade e de confiabilidade, competências que iam além dos domínios da Medicina.

Antonio (2004) afirma que:

A bioengenharia focaliza o estudo do sistema orgânico à luz da matemática, física e bioquímica, entre outras, equacionando sua constituição e funcionamento sistêmico com o objetivo de criar ferramentas teóricas que permitam compreender e criar artificialmente órgãos internos, equipamentos extracorpóreos e próteses implantáveis.

Apesar do fato de que a bioengenharia já possui mais de cinquenta anos, ela apenas começa a ter um desenvolvimento considerável por conta do desafio constante de superar a grande complexidade que envolve o funcionamento dos organismos vivos. A bioengenharia vem sendo trabalhada e é utilizada no mundo todo, em setores em que o desenvolvimento é apontado como mais urgente e é menos sujeito às limitações de ordem técnica ou material,

como por exemplo as áreas cardiorrespiratórias, próteses biomecânicas, ortopedia de tecidos artificiais e de materiais biocompatíveis.

Considerando que o profissional de bioengenharia atuará em uma nova área do conhecimento, irá se deparar com situações inusitadas e absolutamente novas, que exigirão conhecimento profundo e técnico e uma grande capacidade criativa na solução de problemas. Essa característica transforma a bioengenharia em uma das mais interessantes e desafiadoras carreiras técnicas, isso faz com que o engenheiro possa exercer todo o potencial para o qual foi treinado. Portanto, a bioengenharia se constitui como um campo de atuação complexo e com uma multidisciplinaridade que exige uma considerável colaboração entre os especialistas de diversas áreas, em que o relacionamento possui um grau de dificuldade na maior parte do tempo e exige a renúncia a vaidades individuais em prol da ciência, além de total foco e dedicação.

2.4 Engenharia de Reabilitação

A engenharia de reabilitação é uma das especialidades mais recentes da engenharia biomédica e é concentrada basicamente na pesquisa, desenvolvimento, projeção e produção de equipamentos e próteses, atuando tanto na indústria ou de forma multidisciplinar, em conjunto com a unidade de terapia e instituições de pesquisa. Os mais novos avanços obtidos na área de processamento de sinais biológicos e neurotransmissores que constituem um dos campos de maior desenvolvimento nesse setor e vem criando um panorama para atuação da medicina na criação de terapias com maior eficácia. Antonio (2004) explica:

As populações jovens, vivendo em aglomerações de alta densidade, estão mais expostas a lesões traumáticas. Embora numericamente menos significativas essas lesões têm um altíssimo custo social, gerando frequentemente pessoas jovens debilitadas ou permanentemente incapacitadas para uma vida normal e produtiva. Em populações urbanas do Brasil, as lesões traumáticas são a primeira causa tanto da internação hospitalar quanto da morte na segunda e terceira décadas da vida dos jovens.

Em associação com às novas gerações de materiais e novos métodos de fabricação, multiplicaram-se as possibilidades para construção e desenvolvimento de próteses inteligentes que podem ser comandadas por sinais mio-elétricos que possuem as mais variadas finalidades, e, agora, mais leves e confortáveis, com custo acessível. Todo conhecimento preciso da biomecânica da estrutura esquelética, anatomia humana e os efeitos que são causados pelos esforços sobre a estrutura alveolar dos ossos são realizados por intermédio de simulações

calculadas por métodos avançados como o de elementos finitos, que resulta em novas gerações de próteses, tanto externas como implantáveis, muito mais resistentes, duráveis e seguras.

As mais diversas áreas do conhecimento precisam e devem ser integradas de tal maneira em que possam contribuir para o desenvolvimento dos indivíduos em concordância à sua forma de ver o mundo. Essa relação interdisciplinar supera a visão restrita de mundo e proporciona a compreensão da complexidade da realidade. Knudson e Morrison (2001) descrevem bem a natureza interdisciplinar da análise qualitativa do movimento, apresentando em detalhes como pode ser feita a integração de várias subdisciplinas, como biomecânica, desenvolvimento motor, pedagogia, aprendizagem motora, fisiologia. A biomecânica tem como objetivo servir como uma das ferramentas para análise do movimento e alcançar a eficiência do movimento, ou seja, realizar o movimento de maneira correta com uma melhor relação entre gasto metabólico e gasto mecânico.

2.5 Medicina 4.0

Medicina 4.0 ou Saúde 4.0 é o resultado da integração do universo da tecnologia com a medicina, fazendo uso de softwares de gestão, computação em nuvem, mecanismos automatizados, internet das coisas, dentre outras tecnologias, visando a prevenção de enfermidades (MORSCH, 2018).

De acordo com a publicação “Saúde 4.0: o que é e como se preparar para a revolução no atendimento médico”, de 2018, a tecnologia vem revolucionando a medicina, uma vez que no passado era focada em tratar doenças e hoje em dia está voltada para a prevenção das doenças. A exemplo da internet das coisas, faz com que os sistemas digitais passem a atuar de forma integrada, sendo baseadas na comunicação e cooperação, agilizando os processos relacionados ao monitoramento dos pacientes.

Com a capacidade de processo se expandindo cada vez mais, mais técnicas e aparelhos complexos surgirão para a prevenção de doenças e acompanhamento dos pacientes, mesmo a distância, pois os dados sobre os pacientes podem ser armazenados em nuvem, possibilitando que a medicina chegue a localidades isoladas ou com baixa renda.

2.6 Manufatura Aditiva na medicina

Pode ser que a manufatura aditiva (manufatura aditiva - AM) na área médica tenha começado com o trabalho do neurocirurgião Paul Steven D'Urso of Surgery, University of

Queensland, University of Brisbane, Austrália. O primeiro lote de trabalhos registrados nesta área são de 1990, desde então, as impressoras 3D têm sido usadas não só na medicina.

Segundo Volpado (2017), em geral, a manufatura aditiva já ocupa uma grande proporção, tem o potencial atual e pode mudar o futuro da área. Paul D'Urso foi responsável por criar o termo "biomodelo", usado nas áreas médica e odontológica, bem como em outras áreas relacionadas à saúde.

Inicialmente, os pacientes precisam ser examinados para obter imagens no formato DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) padrão. Em seguida, o exame é processado por um software de processamento de imagens médicas e os dados obtidos pelo software são exportados em formato adequado, para que um sistema CAD (computer aided design) possa ser utilizado para a confecção de uma prótese ou guia cirúrgico específico para cada paciente, inclusive a simulação utilizando software CAE (Computer Aided Engineering) específico, que pode utilizar o método dos elementos finitos (FEM) para analisar o comportamento estático e dinâmico da estrutura.

Subsequentemente, os biomodelos ou diretrizes cirúrgicas podem ser usados no planejamento cirúrgico como uma referência confiável durante a cirurgia. No futuro, mais automação e processos de projeto integrados poderão fornecer um ritmo mais rápido para a produção de dispositivos médicos.

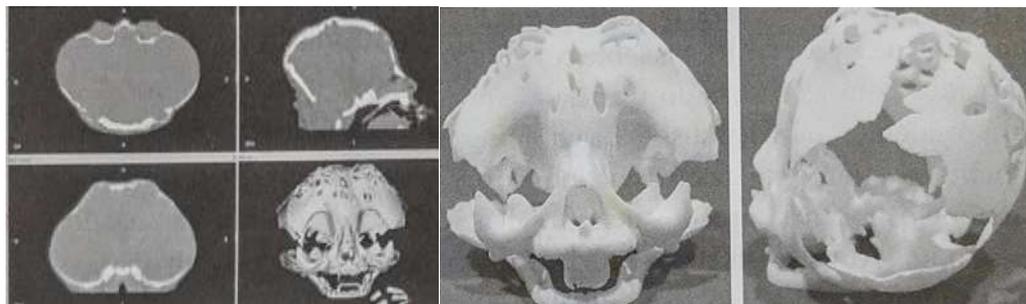
2.6.1 Aplicações Da Manufatura Aditiva com Materiais Não Metálicos

A tecnologia de MA (manufatura aditiva) começou a ser utilizada no início dos anos 1990 alcançando outras especialidades médicas. O princípio são imagens capturadas por equipamentos médicos de Tomografia e Ressonância Magnética seguindo os protocolos para construção tridimensional, que, posteriormente, serão processadas em softwares específicos. Assim, essa classe de software é essencial para se produzir a versão digital de uma estrutura anatômica ou uma anomalia de um paciente em um formato tridimensional de malhas (STL), que é o requisito para a impressão 3D do modelo físico.

Os biomodelos, após serem obtidos, apresentam uma precisão altamente dependente da qualidade das imagens captadas, sua edição e da tecnologia de MA utilizada. Atualmente, a maior parte das aplicações da medicina podem ser beneficiadas com a utilização dos biomodelos, além disso, esses modelos possuem a acurácia suficiente para serem utilizados como uma referência precisa no momento do procedimento médico.

A Figura 3 mostra as imagens da geração de modelo um tridimensional para AM empregando o software InVesalius, baseado em imagens de TC, e, ao lado direito, a impressão já concluída do biomodelo em material poliamida, utilizando equipamento HiQ (3D Systems), do crânio proveniente de um bebê que sofria da síndrome do "crânio em folha de trevo", que é conceituada uma anomalia rara e possui um difícil tratamento. Essa anomalia, geralmente, leva o recém-nascido a óbito e é caracterizada pela configuração anormal da calvária com ossificação prematura das suturas cranianas. Esse modelo, como vários outros, foi utilizado como objeto de estudo na medicina para gerar soluções em relação a essa doença em outros pacientes. Esse modelo tridimensional foi utilizado pelo time do neurocirurgião Anderson Rodrigo Souza, da unidade de neurocirurgia pediátrica e de cirurgia plástica craniofacial proveniente do Hospital Beneficência Portuguesa de São Paulo - SP, no planejamento, para adquirir melhores entendimentos e tomadas de decisões mais subsidiadas na intervenção.

Figura 3: Biomodelo produzido a partir da manufatura aditiva para cirurgia de craniossinostose severa, denominada “Crânio em folha de trevo”.



Fonte: Manufatura aditiva: Tecnologia e Aplicações da impressão 3D.

Diversificando a aplicação é a fabricação de prótese para cranioplastia com o objetivo de corrigir um defeito após o procedimento de craniotomia descompressiva. A Figura 4 ilustra a prótese já produzida em um modelo 3D e aplicada no paciente.

Figura 4: Prótese em PMMA (polimetilmetacrilato) feita por impressão 3D para cirurgia de craniotomia.



Fonte: Manufatura aditiva: Tecnologia e Aplicações da impressão 3D.

Partindo do modelo biológico integrado obtido, a MA tem uma ampla gama de aplicações na área da saúde em todos os processos de que dispõe. Por meio de imagens médicas, o cirurgião consegue ter um planejamento e uma diminuição na probabilidade de erros antes e durante a operação. Com os biomodelos, os cirurgiões realizam procedimentos mais precisos em menos tempo, muitas vezes proporcionando um processo menos invasivo e com o custo menor além de ter uma grande utilidade na educação e formação de novos profissionais na medicina. Volpato (2017) faz uma afirmação importante: “Diante das transformações em curso determinadas pela MA, será necessário em curto, médio e longo prazo, a criação de regulamentações para o setor, de maneira que o uso de produtos originados da MA possa ter segurança na área da saúde”.

3. MATERIAIS E MÉTODO DE PESQUISA

3.1 Materiais utilizados para a confecção da réplica da mão usuário

- 1kg de Resina Poliéster Cristal Com Catalisador 30g
- 2kg de Borracha de Silicone Branca Com Catalisador 30g (2x)
- 90g de vaselina sólida industrial
- Pigmento Branco Poli – 100g

A Figura 5 mostra quais foram os materiais utilizados no processo de fabricação do molde e da réplica:

Figura 5: Produtos e equipamentos de proteção individual (EPI's) utilizados: máscaras de proteção, luvas e óculos de proteção.



Fonte: Autores (2021)

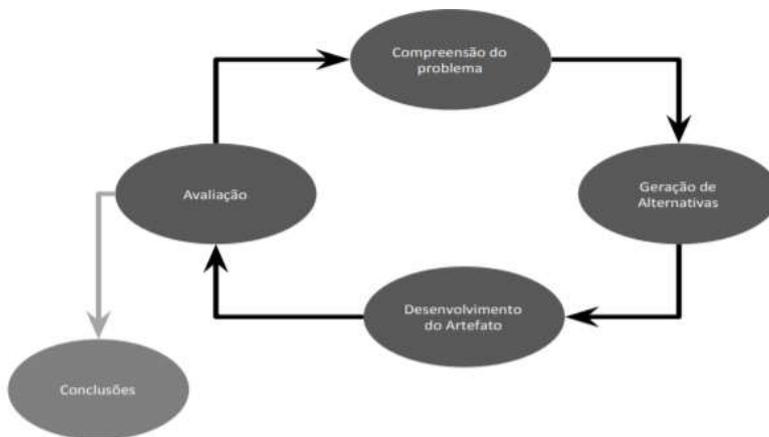
3.2 Método de Pesquisa

O método aplicado foi o Design Science Research, que, segundo Aguinaldo dos Santos (2018):

É um método de pesquisa onde são desenvolvidas e avaliadas a eficiência e eficácia de um artefato na solução de uma categoria de problema. Sua característica construtiva e prospectiva, buscando estabelecer o “como deveria ser” contrasta com a característica analítica de outros métodos que buscam entender “como é” o mundo real.

Diferente da tradição científica que busca compreender os fenômenos no mundo, o Design Science se inspira na tradição do próprio Design em que prevalece a ideia de desenvolver projetos com a finalidade de criar soluções para mudar e melhorar a condição da sociedade. O DSR possui algumas etapas importantes a serem desenvolvidas, conforme ilustra a Figura 6, e o desenvolvimento da pesquisa também envolveu os métodos quantitativo, revisão bibliográfica e desenvolvimento de produto.

Figura 6: Ciclo das Etapas da Pesquisa em Design Science.



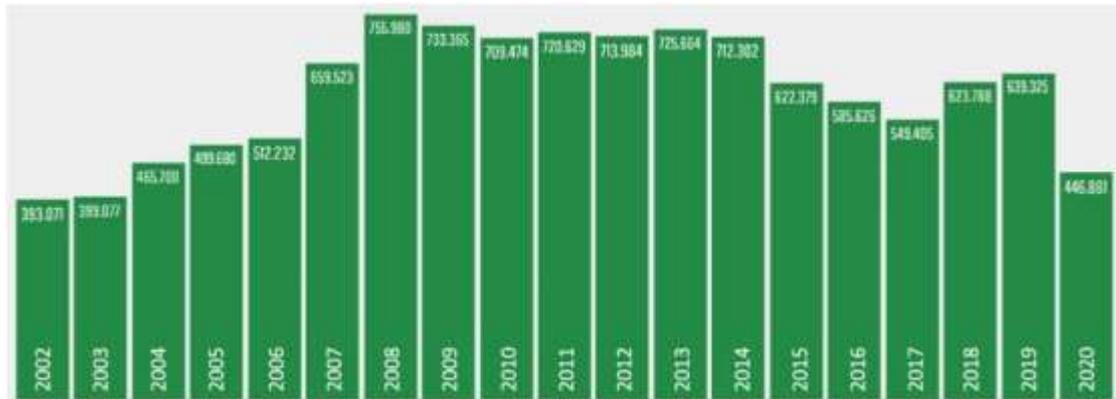
Fonte: Seleção do Método de Pesquisa: Guia para pós-graduandos em design e áreas afins (2018).

3.3 Compreensão do problema:

Foi utilizado o método de pesquisa bibliográfica para levantar dados sobre acidentes de trabalho no Brasil e no estado de São Paulo. Segundo o Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho, o Brasil possui 446,9 mil notificações de acidentes de trabalho (cat) - total de acidentes

(inss/catweb, 2020), conforme mostra a Figura 7, e 1,9 mil notificações de acidentes de trabalho (cat) - acidentes com óbito (inss/catweb, 2020).

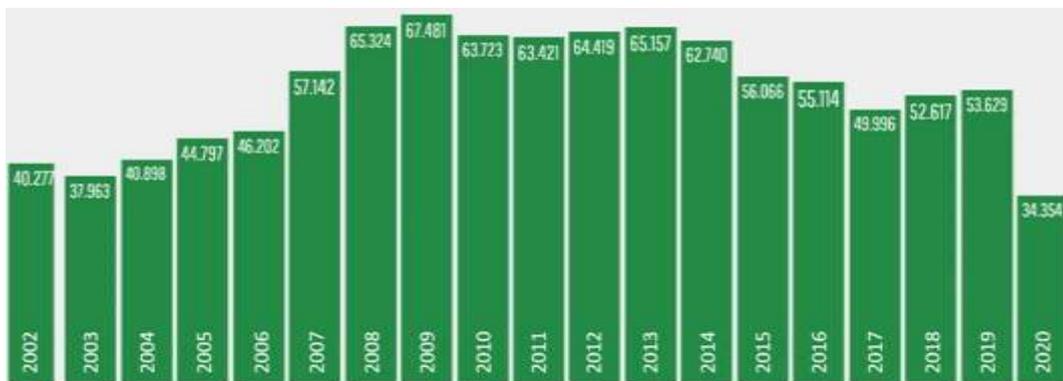
Figura 7: Evolução histórica do número de notificações no período de 2002 até o ano de 2020.



Fonte: INSS (2000-2017, AEAT; 2018-2020, CATWEB).

No estado de São Paulo, o observatório de segurança e saúde no trabalho mostra que existem 34,4 mil notificações de acidentes de trabalho (cat), conforme ilustra a Figura 8, e 455 notificações de acidentes de trabalho (cat) - acidentes com óbito (inss/catweb, 2020).

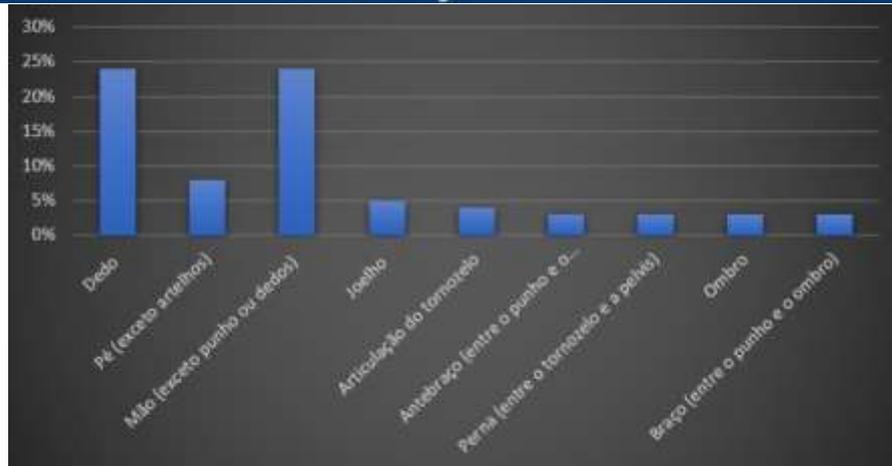
Figura 8: Evolução histórica do número de notificações no período.



Fonte: INSS (2000-2017, AEAT; 2018-2020, CATWEB).

O observatório de segurança e saúde no trabalho também mostra que, no Brasil, a parte do corpo mais afetada pelos acidentes de trabalho são os dedos com a porcentagem de 24%, conforme ilustra o gráfico 9.

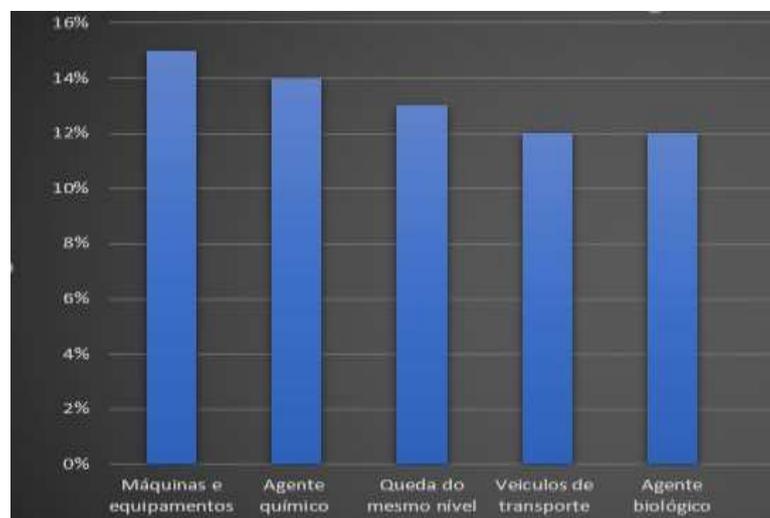
Figura 9: No gráfico, comparam-se, para o período de 2012 a 2020, o percentual de participação das diferentes partes do corpo.



Fonte: Ministério da Economia - Secretaria de Trabalho.

Outro ponto importante são os agentes causadores. Segundo o gráfico do observatório de segurança e saúde no trabalho, o principal agente causador dessas lesões são máquinas e equipamentos com 15% dos casos de acidentes, conforme ilustra o gráfico 10.

Figura 10: No gráfico, comparam-se, para o período de 2012 a 2020, os percentuais de participação dos diferentes grupos de agentes causadores.



Fonte: Ministério da Economia - Secretaria de Trabalho.

Considerando os dados obtidos, foi utilizada a metodologia de revisão bibliográfica em que foram levantadas as informações pertinentes aos temas: Manufatura Aditiva e Medicina 4.0, vindas de diversos autores conceituados como por exemplo Schwab e Volpato, para basear o desenvolvimento do protótipo em projetos de manufatura aditiva na fabricação de próteses biomecânicas para pacientes que sofreram amputações por consequência de acidentes de trabalho ou as que sofrem com alguma anomalia genética.

3.4 Geração de Alternativas:

Foi aplicado o brainstorming para a fase de concepção do produto, avaliar as diferentes ideias e selecionar as melhores.

Com intuito de obter dados factíveis para o desenvolvimento do projeto do produto, foi nomeado um usuário que sofreu uma amputação de parte do dedo indicador em um acidente de trabalho que levou a perda da falange distal e média, como mostrado na Figura 11. Foi apresentado a ele um projeto com a proposta de desenvolvimento e impressão de uma prótese biomecânica para o dedo indicador, para que, dessa forma, ele possa recuperar as características funcionais da mão esquerda. Posteriormente foi realizado o estudo ergonômico da mão do usuário para determinar as dimensões do produto e realizar os primeiros esboços/sketches, para posteriormente realizar o desenho 2D e 3D no software AutoCAD.

Figura 11: Mão esquerda do usuário que sofreu a amputação da falange média e distal do dedo indicador.



Fonte: Autores (2021).

Foram feitos os primeiros esboços após a concepção da ideia principal que guiou o desenvolvimento conceitual do protótipo, assim, foi feito um molde da mão lesionada para testes e tomadas as medidas da mão do usuário para a preparação do esboço, com o auxílio de um software de desenho 2D, para, posteriormente, ser executada a impressão 3D do protótipo.

3.5 Etapas de Desenvolvimento:

Etapa 1: Foi realizada a mistura do Silicone em sua forma pastosa com o catalisador e adicionado ao recipiente (não houve necessidade de uso de epi neste manuseio, pois não há

material tóxico). A mão do usuário foi inserida no recipiente com o silicone por 20 minutos, até que entrasse em sua forma final e resultasse no molde propriamente dito, conforme mostra a Figura 12.

Figura 12: Mistura do silicone com o Catalisador, imersão da mão do usuário no molde de silicone.



Fonte: Autores (2021).

Etapa 2: Foi executada a mistura da resina poliéster com o catalisador e o pigmento branco com o objetivo de causar contraste no produto. A resina foi adicionada ao molde de silicone e após o tempo de 25 minutos, ela já se encontrava solidificada, conforme ilustra a Figura 13.

Figura 13: Mistura da resina com o pigmento, resina sendo adicionada no molde de silicone.



Fonte: Autores (2021).

Etapa 3: Após o transcorrer do tempo necessário para a solidificação da resina, a réplica foi retirada do molde de silicone e posteriormente foi utilizada como objeto de estudo para coleta de dados, conforme ilustra a Figura 14.

Figura 14: Réplica da mão esquerda do usuário feito de resina epóxi que serviu de objeto de estudo para o desenvolvimento do protótipo.



Fonte: Autores (2021).

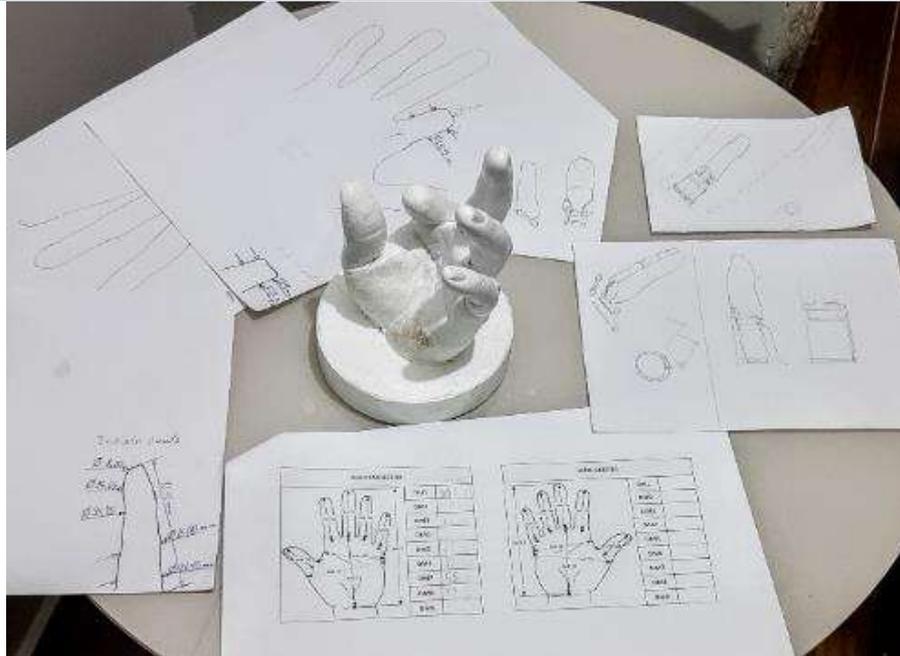
Foram coletadas medidas do molde da mão esquerda e posteriormente coletadas medidas da mão direita do usuário para o dimensionamento do protótipo, conforme ilustram as Figuras 15,16 e 17.

Figura 15: Coleta das dimensões do molde da mão esquerda.



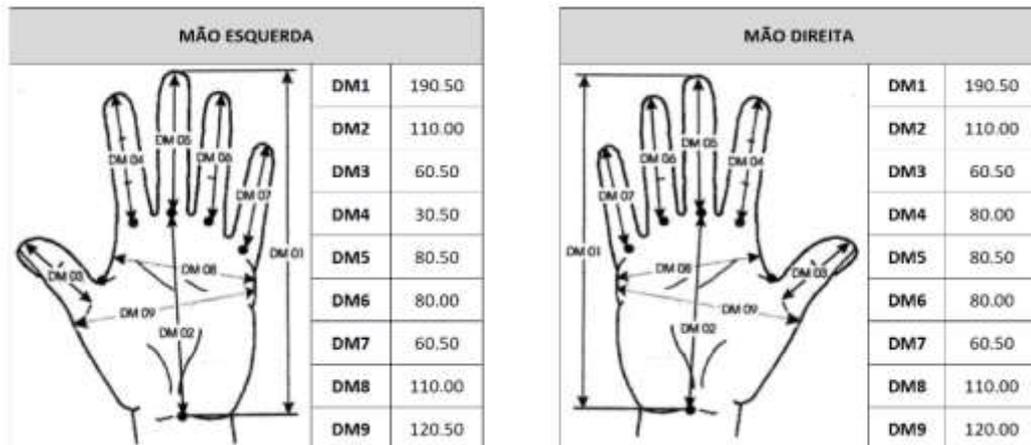
Fonte: Autores (2021).

Figura 16: Coleta das dimensões e desenvolvimento do Skatch.



Fonte: Autores (2021).

Figura 17: Dados Antropométricos em milímetros da mão direita e esquerda do usuário.

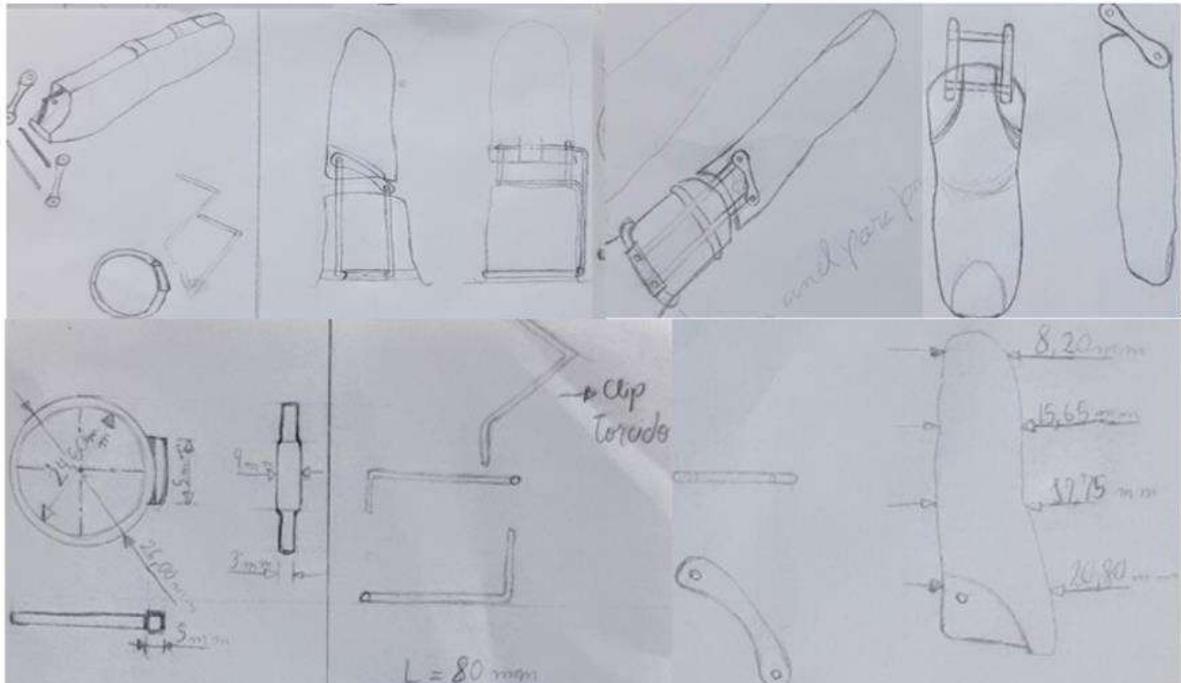


Fonte: Antropometria da Mão Humana: Influência do Gênero no Design Ergonômico de Instrumentos Manuais.

3.6 Sketches do protótipo

A Figura 18 mostra os sketches de cada peça e do produto em vista isométrica, para uma melhor concepção do produto.

Figura 18: Sketches do protótipo.



Fonte: Autores (2021).

3.7 Teste sensorial

Segundo Dias (2009), análise do “processo sensorial” tem o propósito de verificar as sensações que acontecem durante cada etapa do ciclo de interações produto-usuário, enfatizando todas as implicações dessas interações em relação aos materiais presentes no produto e trabalha com as sensações usualmente aplicadas: visuais, táteis, olfativas, acrescidas das sensações hápticas, térmicas e funcionais.

Foi realizado um teste sensorial com o usuário com três tipos de materiais (Aço, Madeira e Polímero) que podem compor o produto final e posteriormente aplicado um questionário para mensurar qual dos materiais propostos conseguiriam suprir as necessidades do usuário. A Tabela 1 mostra a pontuação de acordo com a avaliação do usuário e a Figura 19 ilustra a análise sensorial do aço carbono feita pelo usuário.

Tabela 1: Questionário sobre o Aço Carbono.

Nota de 0 a 10 a respeito dos requisitos abaixo para o material: Aço	
Requisitos	Nota
Benefícios	6
Cheiro	8
Conforto	5
Contexto de Uso	7
Cor	7
Estilo de Design	10
Limpeza e Higiene	6
Qualidade	8
Resistência	10
Temperatura	5
Textura	9

Fonte: Autores (2021).

Figura 19: Análise sensorial do aço feita pelo usuário.



Fonte: Autores (2021).

A Tabela 2 mostra a pontuação de acordo com a avaliação do usuário e a Figura 20 ilustra a análise sensorial da madeira de pinheiro feita pelo usuário.

Tabela 2: Questionário sobre a Madeira de Pinheiro.

Nota de 0 a 10 a respeito dos requisitos abaixo para o material: Madeira	
Requisitos	Nota
Benefícios	4
Cheiro	5
Conforto	6
Contexto de Uso	6
Cor	7
Estilo de Design	9
Limpeza e Higiene	7
Qualidade	6
Resistência	7
Temperatura	9
Textura	8

Fonte: Autores (2021).

Figura 20: Análise sensorial da Madeira feita pelo usuário.



Fonte: Autores (2021).

A Tabela 3 mostra a pontuação de acordo com a avaliação do usuário e a Figura 21 ilustra a análise sensorial do polímero poliestireno de alto impacto feita pelo usuário.

Tabela 3: Questionário sobre o polímero poliestireno de alto impacto.

Nota de 0 a 10 a respeito dos requisitos abaixo para o material: Polímero	
Requisitos	Nota
Benefícios	8
Cheiro	7
Conforto	8
Contexto de Uso	7
Cor	9
Estilo de Design	7
Limpeza e Higiene	10
Qualidade	7
Resistência	8
Temperatura	7
Textura	9

Fonte: Autores (2021).

Figura 21: Análise sensorial do polímero feita pelo usuário.

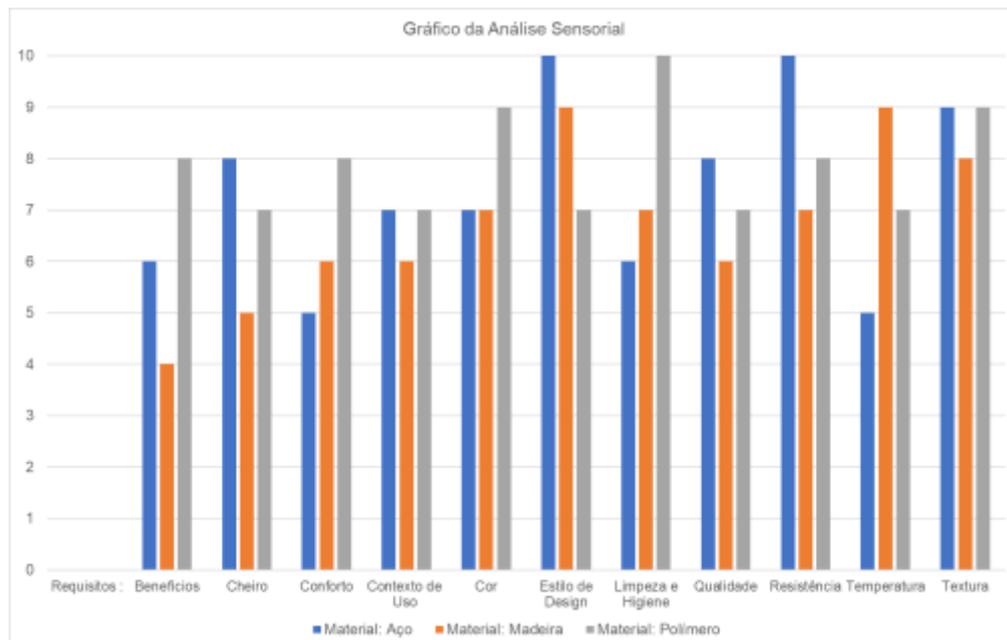


Fonte: Autores (2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados coletados por meio das respostas do questionário respondido pelo usuário, foi elaborado um gráfico de barras em formato de colunas para visualizar qual dos materiais propostos conseguiria suprir as necessidades do usuário, conforme ilustra o gráfico 1.

Gráfico 1: Resultado da pesquisa da análise sensorial.



Fonte: Autores (2021).

Após a análise do gráfico, chegou-se no seguinte resultado:

- Polímero: 93 pontos

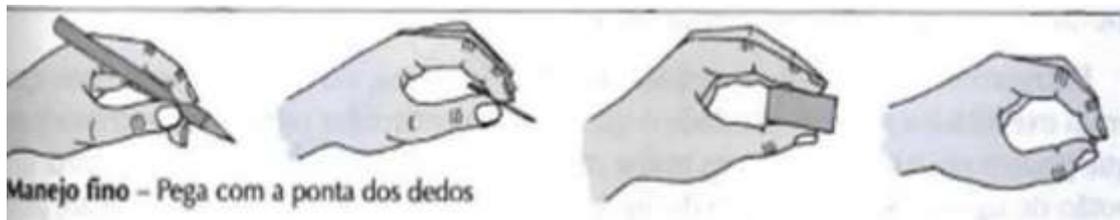
- Aço: 88 pontos
- Madeira: 81 pontos

Concluiu-se que o material proposto com validação do usuário foi o polímero, seguido do aço e madeira.

Depois da realização de todas as etapas de pesquisa, coleta de dados e fabricação da réplica, em paralelo, foi realizado o questionário para identificação de qual material deveria ser adotado, bem como foi desenvolvido o modelo em 2D e 3D do protótipo no software Autocad, contando com as peças detalhadas, conforme as Figuras 23, 24, 25, 26 e 27. Desse modo, com as peças modeladas, poder-se-á prosseguir para a etapa de programação da impressão das peças utilizando uma impressora 3D.

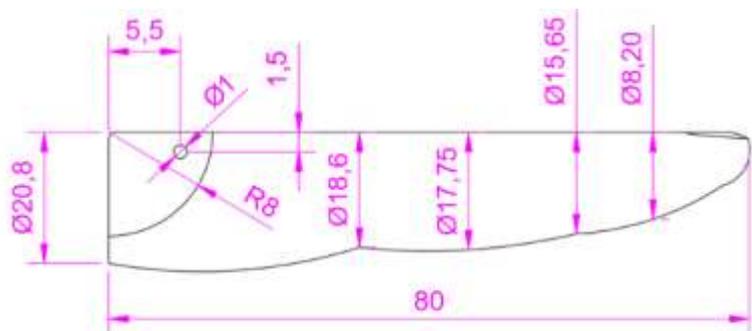
A montagem do protótipo inicia-se pela peça 1, nela é fixado a peça 2, a peça 3 tem a função de unir as três partes, pois, ela atravessa as duas peças, fazendo delas um só conjunto. Com o conjunto em mãos, o usuário põe o anel em seu dedo e então encaixa as duas hastes no furo do anel, para que dessa forma tudo esteja unido. Assim, o usuário poderá executar alguns movimentos anatômicos que irão trazer de volta a utilidade parcial do dedo que sofreu a amputação acidental, conforme ilustra a Figura 22.

Figura 22: Ilustração de manejo fino que o usuário poderá realizar ao utilizar a prótese.



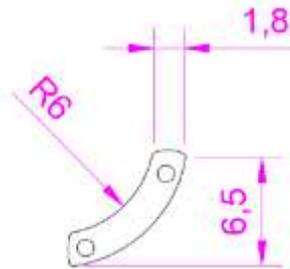
Fonte: IIDA, I. Ergonomia: projeto e produção. Ed. rev. e ampl. - São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

Figura 23: Peça 1: Modelo de dedo



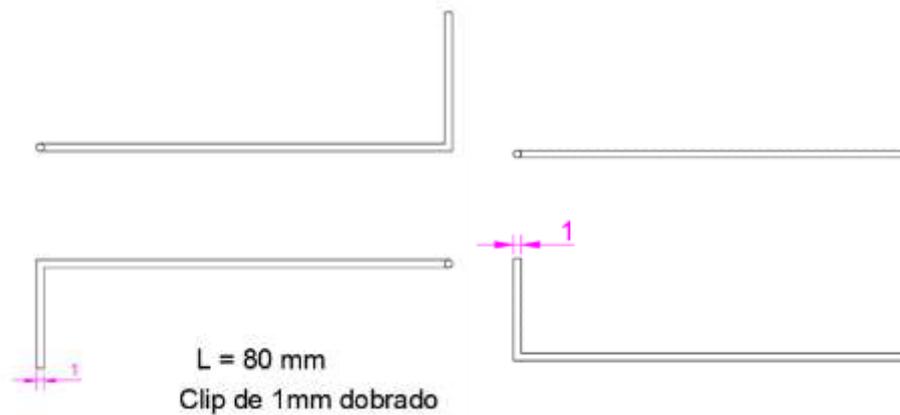
Fonte: Autores (2021).

Figura 24: Peça 2: Placa de ligação da articulação.



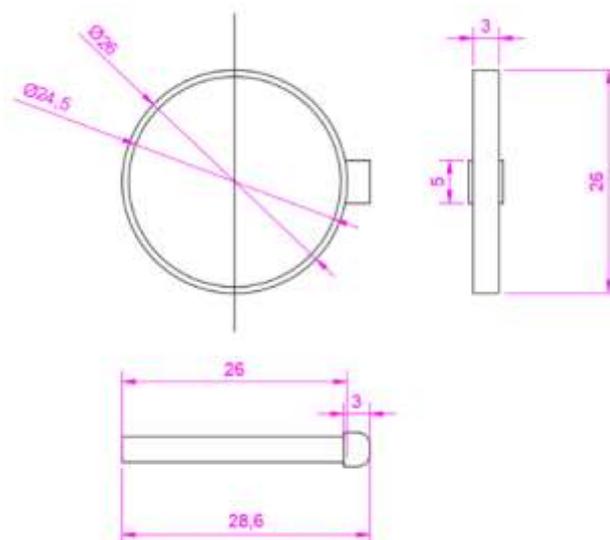
Fonte: Autores (2021).

Figura 25: Peça 3: Haste de fixação (x 2), as dobras do lado esquerdo são opostas.



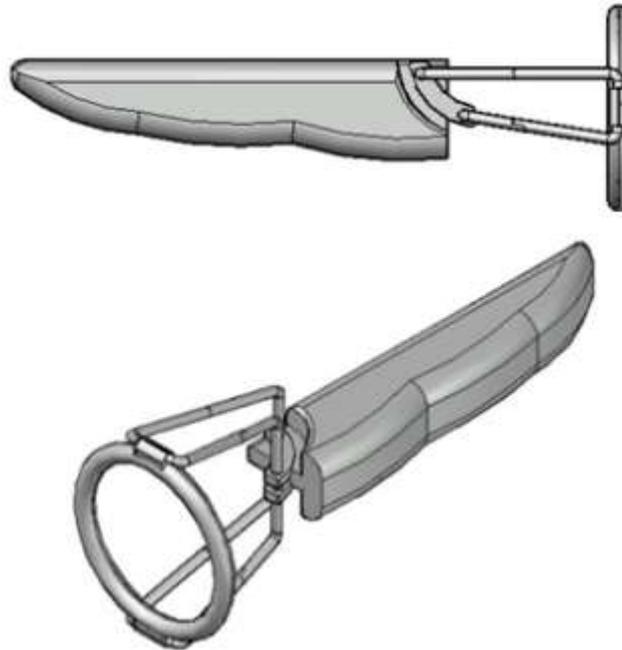
Fonte: Autores (2021).

Figura 26: Peça 4: Anel de fixação.



Fonte: Autores (2021).

Figura 27: Modelo 3D das peças reunidas do protótipo.



Fonte: Autores (2021)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ciência é uma parte muito importante da evolução da sociedade humana e é responsável por toda grande desenvolvimento tecnológico em diversas áreas, ajudando os indivíduos a solucionarem grandes dilemas. Este artigo levou o grupo responsável a concluir que a pesquisa científica possui uma grande relevância para o bem-estar das pessoas, sejam quais forem suas necessidades.

O foco principal deste artigo científico foi utilizar conhecimentos da ciência do design, bioengenharia e biomecânica para desenvolver uma solução para um problema muito comum que aflige grande parte da população que sofreu perda de parte de um membro. Depois de muito estudo, coleta de dados e levantamento de obras já realizadas de autores conceituados, foi concluído o primeiro passo desse projeto com a elaboração do primeiro conceito 2D e 3D do protótipo. O próximo passo é continuar a desenvolver o protótipo, executar a impressão 3D, realizar testes, colher dados e aplicar melhorias para que enfim tenha um produto final direcionado ao usuário, recuperando a eficácia biomecânica do dedo lesionado, permitindo que o usuário possa realizar o manejo fino de pinça. Essa pesquisa também irá provar que a ciência é uma grande aliada da sociedade e sempre irá ajudar a solucionar problemas e melhorar a

qualidade de vida e, ainda, demonstrar que a manufatura aditiva é uma das grandes ferramentas da nova medicina 4.0.

Referências

ANTONIO, Ana Maria. **A BIOENGENHARIA NO BRASIL, SÉCULO XX: ESTADO DA ARTE**. Escola de Engenharia de São Carlos / Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto/ Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil, 2004.

AHRENS, Carlos Henrique.; VOLPATO, Neri. 1965-. **Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações**. [S.l.]: Edgard Blücher, 2007. Disponível em:<<https://books.google.com.br/books?id=1oO6DwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 23 out. 2020.

BAYAZIT, Nigan. **Investigating Design: A Review of Forty Years of Design Research**. Massachusetts Institute of Technology. 2004. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/235700969_Investigating_Design_A_Review_of_Forty_Years_of_Design_Research>. Acesso: 03 abril 2021.

BOAIMPRESSÃO3D. **Como é imprimir alguma coisa numa impressora 3D**. [S.l.] 2015. 539pixels x 189pixels, 22,793 bytes. Formato JPEG. Disponível em:<<https://boaimpressao3d.com.br/dicas/como-e-imprimir-alguma-coisa-numa-impressora-3d/>>. Acesso em: 20 set. 2020.

BOETTCHER, M. **Revolução Industrial - Um pouco de história da Indústria 1.0 até a Indústria 4.0**. LinkedIn. 2015. Disponível em:<<https://pt.linkedin.com/pulse/revolu%C3%A7%C3%A3o-industrial-um-pouco-dehist%C3%B3ria-da-10-at%C3%A9-boettcher>>. Acesso em: 26 set. 2020.

CORRÊA, Sônia Cavalcante. **Fundamentos da biomecânica: O corpo e o movimento**. 1ª edição, São Paulo: editora Mackenzie, 2014.

DIAS, M.R.A.C. **Percepção dos materiais pelos usuários: modelo de avaliação PERMATUS**. 2009. 293p. Programa de pós-graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento, Tese de doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 2009.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE ADMINISTRAÇÃO. **Indústria 4.0: o que é, consequências, impactos positivos e negativos**. [S.l., 2020?]. Disponível em: <<https://fia.com.br/blog/industria-4-0/>>. Acesso em: 31 out. 2020.

GIBSON, I.; STUCKER, B.; ROSEN, D. W. **Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing**. New York: Springer, 2010.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. Ed. rev. e ampl. - São Paulo: Edgard Blücher, 2005. Altura: 960 pixels. Largura: 720. Disponível em:<<https://images.app.goo.gl/pP1MrcbsLdPLjJbh7>>. Acesso em: 21 abr. 2021.

KNUDSON, D.; MORRISON, G. **Análise qualitativa do movimento humano**. Barueri: Manole, 2001.

LAVAGNOLI, Silva. **Indústria 4.0 – Evolução ou Revolução?** [S.l.] 2018. Disponível em: <<https://opencadd.com.br/9-pilares-da-industria-4-0/>>. Acesso em: 24 out. 2020.

MALAJOVICH, Maria Antônia Muñoz. **Biotecnologia**. 2º Edição, Rio de Janeiro, ACTE, 2016.

MORSCH, J. A. **Saúde 4.0: o que é e como se preparar para a revolução no atendimento médico**. [S.l.]. 2018. Disponível em: <<https://telemedicinamorsch.com.br/blog/saude-4-0/>>. Acesso em: 11 out. 2020.

PASCHOARELLI, Luis Carlos et al. Antropometria da Mão Humana: Influência do Gênero no Design Ergonômico de Instrumentos Manuais. **Revista Brasileira de Ergonomia**. [S.I.] 2010. Altura: 386 pixels. Largura: 467 pixels. Formato PNG. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/134500/ISSN1519-7859-2010-05-02-01-08.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 21 abr. 2021.

PIRES, Ana Luiza et all, **Departamento de Engenharia de Materiais e de Bioprocessos**, Faculdade de Engenharia Química Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, Brasil, agosto de 2015.

SAKURAI, R.; ZUCHI, J. D. **AS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS ATÉ A INDÚSTRIA 4.0**. Revista Interface Tecnológica, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 480-491, 2018. Disponível em:<<https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/386>>. Acesso em: 27 set. 2020.

SIMON, H. A. **The Sciences of the Artificial**. 3rd ed. Cambridge: MIT Press, 1996.

SIMON, H. A. **The Sciences of the Artificial**. Cambridge: MIT Press, 1969

SILVEIRA, C. B. **Indústria 4.0: o que é, e como ela vai impactar o mundo**. [S.l.] 2017. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>>. Acesso em: 18 out. 2020.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. Tradução de Daniel Moreira Miranda. 1 ed. São Paulo: Edição, 2016. Tradução de *The Fourth Industrial Revolution*.

Notificações de Acidentes de Trabalho (CAT). Disponível em: <smartlabbr.org/sst/localidade/0?dimensao=perfilCasosAcidentes> acesso em: 25 de abril de 2021.

VOLPATO, N (et. al). **Manufatura Aditiva - tecnologias e aplicações da impressão 3D**. 1ª ed. São Paulo: Blucher, 2017.