



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE ARTES  
DEPARTAMENTO DE DESIGN

MATEUS MORAES DE SOUSA

**GRANDE PEQUENO PASSO**

Estudo metodológico para a fabricação de próteses esportivas de baixo custo

BRASÍLIA  
2019

MATEUS MORAES DE SOUSA

## **GRANDE PEQUENO PASSO**

Estudo metodológico para a fabricação de próteses esportivas de baixo custo

Projeto de pesquisa apresentado ao Curso de Bacharelado em Design – Projeto de Produto, da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do título de graduado em Design.

Orientadora: Professora Nayara Moreno de Siqueira

BRASÍLIA

2019

*Dedico esse trabalho a todos aqueles  
que depositaram confiança em mim,  
família, amigos e professores.*

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço a Deus por ter me dado forças para conseguir superar todos os obstáculos e por ter colocado no caminho a professora Nayara, minha orientadora, que durante esse período se tornou minha amiga, confidente e companheira. Foi quem, com belas palavras, me fazia continuar entusiasmado e firme na minha trajetória. E, mesmo sendo gentil, não deixou jamais de me “dar broncas” para que eu pudesse extrair o meu melhor.

Também agradeço a minha família que sempre fez de tudo para conseguir me ajudar. Agradeço aos meus familiares e espero ter conseguido transmitir os valores que me foram passados, e afirmo que o caminho não poderia ter sido trilhado sem vocês. Agradeço a professora Pamela, por ter sido sempre prestativa e ter confiado e acreditado em minha capacidade, mesmo me conhecendo a pouco tempo.

E por último, mas não menos importante, agradeço ao meu amigo e sócio Leandro por ter me auxiliado quando precisei e sempre está disponível e disposto a ajudar.

## RESUMO

O trabalho apresentado contextualiza o design no campo da tecnologia assistiva e traz alguns exemplos de pessoas e possibilidades que os estudos da área já conseguiram atender em relação às necessidades das deficiências físicas. Traça também um paralelo de como a área se desenvolveu com a popularização das impressoras 3D, destacando como o uso de scanners 3D pode contribuir na prototipação individual, para conseguir captar pontos de deficiência e, com isso, alcançar melhores resultados. Após uma breve reflexão sobre o papel do design e suas responsabilidades, o foco deste trabalho de conclusão de curso — a tecnologia assistiva — é colocado em questão. Como o esporte pode ser utilizado no tratamento ou prevenção da depressão, principalmente em pessoas que sofreram amputação de algum membro do corpo? E como o design pode contribuir com essa relação? A partir da análise de um membro amputado de uma pessoa, são verificados quais os movimentos e articulações que ainda restaram. Tem-se aqui a canoagem como o esporte que é base do estudo. Após a análise cinesiológica, é proposta uma prótese personalizada, usando métodos de fabricação descritos no trabalho, para que exista a possibilidade do usuário voltar ou começar a praticar esportes, sempre visando o baixo custo de confecção.

**Palavras chaves:** design, tecnologia assistiva, depressão, prótese, esportes.

## **ABSTRACT**

*The work presented contextualizes design in the field of assistive technology and provides some examples of people and possibilities that studies in the area have already managed to meet in relation to the needs of physical disabilities. It also draws a parallel to how the area has developed with the popularization of 3D printers, highlighting how the use of 3D scanners can contribute to individual prototyping, to capture points of deficiency and thus achieve better results. After a brief reflection on the role of design and its responsibilities, the focus of this course completion work - assistive technology - is put into question. How can sports be used to treat or prevent depression, especially in people who have had a limb amputated? And how can design contribute to this relationship? From the analysis of a person's amputated limb, it is verified which movements and joints are still left. There is canoeing here as the sport that is the basis of the study. After kinesiological analysis, a custom prosthesis is proposed, using fabrication methods described in the work, so that there is the possibility of the user to return or start playing sports, always aiming at the low cost of confection.*

*Keywords: design, assistive technology, depression, prosthesis, sports.*

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1</i>	<i>Hugh Herr portador da prótese mais desenvolvida até o momento de membros inferiores</i>	<i>14</i>
<i>Figura 2</i>	<i>Alita personagem, que na ficção é um cyborg com parte humanos e robóticas.</i>	<i>15</i>
<i>Figura 3</i>	<i>Soldado invernial, personagem do filme Capitão América, que tem como sua principal arma uma prótese de membro superior.</i>	<i>15</i>
<i>Figura 4</i>	<i>Ressonância magnética do membro inferior do Hugh Herr</i>	<i>16</i>
<i>Figura 5</i>	<i>Máquina de acionamento por pressão, usada para diferenciar densidade dos tecidos do membro que é inserido.</i>	<i>17</i>
<i>Figura 6</i>	<i>Modelo 3D gerado a partir dos processos de ressonância magnética e a demarcação de densidades de tecidos feita com a máquina de acionamento por pressão.</i>	<i>17</i>
<i>Figura 7</i>	<i>Próteses com temas da cultura pop, para facilitar aceitação.</i>	<i>20</i>
<i>Figura 8</i>	<i>Peça fabricada em manufatura aditiva (impressão 3D), usadas em carros da BMW</i>	<i>21</i>
<i>Figura 9</i>	<i>Site de repositório de arquivos digital.</i>	<i>22</i>
<i>Figura 10</i>	<i>Site de repositório de arquivos digital.</i>	<i>22</i>
<i>Figura 11</i>	<i>Exemplo de um escaneamento feito por um Kinect 360.</i>	<i>24</i>
<i>Figura 12</i>	<i>Fotos de um tronco de árvore.</i>	<i>26</i>
<i>Figura 13</i>	<i>Imagens do tronco da árvore no programa.</i>	<i>26</i>
<i>Figura 14</i>	<i>Imagem de como o programa faz compara e assimila as imagens</i>	<i>26</i>
<i>Figura 15</i>	<i>O programa criando a relação entre as imagens e transforma em</i>	<i>27</i>
<i>Figura 16</i>	<i>Imagem da nuvem de pontos sendo processada.</i>	<i>27</i>
<i>Figura 17</i>	<i>Imagem da nuvem de pontos após ser processada.</i>	<i>28</i>
<i>Figura 18</i>	<i>Imagem da nuvem de pontos no programa Meshroom.</i>	<i>28</i>
<i>Figura 19</i>	<i>Imagem do programa convertendo a nuvem de pontos em modelo 3D.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 20</i>	<i>Análise cinesiológica da remada básica.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 21</i>	<i>Escaneamento com Kinect.</i>	<i>35</i>
<i>Figura 22</i>	<i>Modelo 3D obtido com escaneamento e tratado em outros programas.</i>	<i>36</i>
<i>Figura 23</i>	<i>Modelo 3D obtido com escaneamento e tratado em outros programas.</i>	<i>37</i>
<i>Figura 24</i>	<i>Modelo 3D de membro superior escaneado.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 25</i>	<i>Modelo 3D do membro superior escaneado frontal e posterior</i>	<i>39</i>
<i>Figura 26</i>	<i>Prótese projetada antes do Trabalho de Conclusão de Curso</i>	<i>44</i>
<i>Figura 27</i>	<i>Sketch dos mecanismos da prótese.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 28</i>	<i>Sketch do mecanismo da prótese.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 29</i>	<i>Sketch da prótese.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 30</i>	<i>Processo de modelagem da prótese.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 31</i>	<i>Processo de modelagem da prótese.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 32</i>	<i>Processo de modelagem da prótese.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 33</i>	<i>Prótese sem o mecanismo de pegada.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 34</i>	<i>Prótese com o mecanismo de pegada.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 35</i>	<i>Mecanismo de pegada.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 36</i>	<i>Mecanismo de pegada.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 37</i>	<i>Prótese com segunda opção de mecanismo de pegada.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 38</i>	<i>Prótese com segunda opção de mecanismo de pegada.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 39</i>	<i>Prótese com segunda opção de mecanismo de pegada.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 40</i>	<i>Prótese impressa.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 41</i>	<i>Protótipo impresso do mecanismo de pegada.</i>	<i>55</i>
<i>Figura 42</i>	<i>Protótipo impresso do mecanismo de pegada.</i>	<i>56</i>

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	8
1.1. Design como ferramenta.....	12
1.1.1. Tecnologia assistiva .....	18
1.1.2. Possibilidades do design.....	18
1.2. Impressão 3D e <i>Open Source</i> .....	20
1.3. Escaneamento .....	23
1.3.1. Scanner Kinect.....	23
1.3.2. Fotogrametria.....	25
1.4. Esporte como terapia.....	29
1.5. Cinesiologia .....	31
1.5.1. Análise cinesiológica da remada básica (Canoagem).....	31
2. MÉTODOS E SUAS APLICAÇÕES.....	33
3. PROJETO .....	38
<i>Comparação entre ABS e PLA fibra de carbono</i> .....	41
<i>Teste de impressão com Filamento de fibra de carbono</i> .....	42
<i>Teste de degradação de PLA fibra de carbono</i> .....	42
<i>Prótese</i> .....	46
CONCLUSÃO .....	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59

## INTRODUÇÃO

Esse projeto partiu da intenção de transformar o conhecimento adquirido na universidade em algo que pudesse ser usado em prol da sociedade. Uma vontade em querer ajudar pessoas com alguma limitação ou problema, por ser este o cerne do design: analisar, entender e propor soluções para os problemas de alguma situação ou de alguém. Mesmo que no Brasil ainda pouco se compreenda a função efetiva de um designer, o seu papel está se mostrando cada vez mais essencial, principalmente no design de serviço — em que se atende experiências e procedimentos com mais eficiência e eficácia. Talvez chegue o dia em que cada empresa tenha o seu departamento de design, um grupo de pessoas que fique responsável por solucionar as mais complexas adversidades que uma empresa pode encontrar.

Contudo, mesmo com a evidência da importância desta área do conhecimento, o design ainda é associado à melhoria dos aspectos formais, da aparência das coisas, o que reforça um entendimento equivocado da atuação da área. Resolver problemas de cunho social também e, principalmente, é função do design. O design tem como premissa a responsabilidade sobre os aspectos sociais de qualquer artefato ou serviço que projeta. O bem-estar e a segurança devem ser prioritariamente levados em consideração.

Com foco na tecnologia assistiva, este projeto foi idealizado para um usuário que já é portador de uma deficiência, o que torna o quadro ainda mais delicado, uma vez que qualquer erro pode agravar ainda mais o estado do indivíduo. Sendo assim, o designer não pode, de forma alguma, se isentar de qualquer responsabilidade.

Para o desenvolvimento do projeto foram usadas ferramentas que auxiliam na captação das especificidades dos possíveis usuários como: fotogrametria e escaneamento 3D. São programas computacionais que utilizam recursos voltados para a concepção de produtos extremamente personalizáveis, para qualquer pessoa ou deficiência, sem a perda do fator comercial, isto é, seu princípio básico pode ser aplicado em produtos para outras pessoas com problemas similares. A fabricação de baixo custo é outro quesito levado em consideração nas premissas deste projeto.

Ao contemplar esses meios, é possível desenvolver próteses de baixo custo para a prática esportiva. Esse tipo de prótese no Brasil é de difícil acesso, sendo as próteses comuns muito caras e o SUS (Sistema único de Saúde) não disponibiliza próteses esportivas. Produzir esse tipo de prótese em impressão 3D é viável e significativamente mais barata em relação às encontradas no mercado.

A prática esportiva para amputados é uma maneira de fazer com que eles se apropriem novamente do corpo, uma vez que a incidência de não rejeição e não reconhecimento do próprio corpo é alta nesses casos. No esporte, superar os próprios limites pode auxiliar nas questões que envolvem depressão por amputação. Os estímulos feitos durante o treinamento e a liberação de hormônios após a prática de qualquer esporte ajudam a combater os sintomas da depressão.

Este trabalho de conclusão de curso intenta buscar formas de fabricar próteses esportivas mais acessíveis – mesmo as mais complexas – para pessoas de baixo poder aquisitivo, que são os principais afetados com a perda de algum membro do corpo, uma vez que são esses que, na maioria das vezes, trabalham em profissões de riscos como motoboys, marceneiros, operadores de máquinas pesadas etc. Promover o bem-estar para essas pessoas é o objetivo principal, estimulando a prática esportiva, para o auxílio no combate à depressão.

O tempo de produção e o material leve e resistente são fatores que podem tornar as próteses produtos caros. O longo período de produção é algo que pode ser resolvido de maneira mais tangível, com o acesso a tecnologias digitais disponíveis atualmente. Seria um processo que consiste em automatizar parcialmente a produção, reformular e reduzir partes que tomam muito tempo de fabricação, acomodar máquinas no lugar de mãos humanas, deixando as técnicas mais precisas e eficientes. O uso das máquinas não excluiria a necessidade de ter um operador e a presença de um protético, apenas otimizaria o processo, conseguindo atingir um nível de precisão de individualidade ainda maior.

É possível alcançar um nível alto de eficiência no atendimento das particularidades e individualidades dos pacientes, ao desfrutar do estado atual de desenvolvimento da tecnologia digital. Com o design generativo<sup>1</sup>, por exemplo, pode-se criar uma família

---

<sup>1</sup> Design generativo é um meio de composição gerado por algoritmos, que se utiliza de programas computacionais.

de produtos, cada qual com suas características que são configuradas e aprimoradas a partir de um objeto inicial. Ainda sobre as alternativas de produção, vale mencionar a facilidade de viabilização que a impressão 3D traz tanto para a elaboração de protótipos como para a fabricação de peças prontas para o uso.

O projeto busca, assim, reunir processos diferentes de fabricação digital para propor uma forma mais rápida de medição e fabricação de próteses, com a tentativa de tornar a prótese adequada acessível a qualquer pessoa que sofreu a perda de algum membro. Esse tipo de produção pode ser viabilizada em centros de fabricação digital, como *Makerspaces* e *FabLabs*, o que cria a relação entre os que estão precisando e os que têm o envolvimento com este tipo de serviço.

Para obter os resultados esperados, a pesquisa almeja alcançar algumas metas, como:

- Identificar as necessidades dos amputados, por meio da observação e análise dos aspectos relativos às generalidades e individualidades dentro deste grupo
- Desenvolver um conjunto de procedimentos de fabricação simples para tornar a confecção acessível aos centros de prototipagem rápida
- Desenvolver um estudo de prótese que possibilite o usuário praticar esporte

É fato a grande dificuldade dos portadores de necessidades especiais, mais especificamente os amputados, encontrarem lugares especializados a que possam recorrer para obter ajuda. Exemplos disso são o fechamento do setor de design do Sarah Kubitschek, as filas de espera extremamente demoradas para a aquisição de prótese no SUS e os preços elevados de itens personalizados e adaptados para pessoas com necessidades especiais. As próteses atuais usam tecnologia de alto valor de produção. Quanto mais sofisticada a prótese em termos de material e processos de fabricação, mais cara ela será, e em se tratando de um membro “mecânico” de alto rendimento em práticas esportivas, materiais mais nobres e tecnológicos são usados, tornando o valor do produto ainda maior, limitando muito o público que pode adquirir esse tipo de prótese.

Hoje em dia, as filas de espera para conseguir uma prótese são grandes e demoradas, podendo durar em torno de 3 anos a espera. Além disso, as próteses no Brasil chegam a custar de R\$ 15 mil a R\$ 100 mil, dependendo essencialmente do equipamento que vai ser especificado, por conta de peças importadas, na maioria das vezes, e de material de alta resistência ou de tecnologia ainda utilizada em baixa escala. Outro fator que também encarece o produto é o fato de ser parte de um tema pouco abordado, que para ser estudado precisa de investimento alto, não só financeiro como de tempo e tecnologia. E por ser uma área multidisciplinar é preciso uma equipe grande, com vários profissionais altamente capacitados para conseguir desenvolver esse tipo de tecnologia.

No Brasil, ainda existe uma série de agravantes: a falta de incentivo à tecnologia por parte do governo, a cultura de investimento de tempo de estudo para entrar em concursos públicos, a migração de pesquisadores de ponta para outros países. Em suma, o Brasil perde diversos profissionais que ajudariam o mercado da tecnologia crescer nessa e em outras áreas. Há também um atraso tecnológico significativo, aspecto que só quem pesquisa e está atualizado em relação às inovações tecnológicas consegue perceber. Existem alguns estudos no campo da tecnologia assistiva que buscam soluções no âmbito dessa temática, mas seus esforços não se comparam aos estudos realizados em grandes polos de tecnologia do mundo afora.

A intenção não é criar algo inovador, que vai solucionar e promover a prática esportiva de todos os portadores de necessidades especiais. Este trabalho trata de reunir pesquisas, projetos e métodos já criados, para gerar uma prótese voltada para a prática de um esporte específico, o remo. Com isso, pode-se testar o uso de abordagens mais simples e de baixo custo para este tipo de necessidade, a dos amputados em prática de esportes. Conhecimentos adquiridos no curso de Design aliados à pesquisa pessoal propiciaram o desenvolvimento deste trabalho.

O custo da prótese ficará bem abaixo do valor das que são fabricadas atualmente, por usar tecnologia de impressão 3D. Com isso, consegue-se também uma grande precisão. Ademais, é possível fazer a troca das peças quebradas e não de toda a prótese, além de poder serem feitas próteses que acompanham o desenvolvimento corporal do indivíduo que ainda está em fase de crescimento.

## **1 DESIGN RESPONSÁVEL**

Segundo Flusser (2007) a palavra design é uma variação do que seria uma fraude, que um designer seria um ludibriador do universo. Sendo mais específico, a palavra quer dizer, em inglês, entre outras coisas, “propósito”, “intenção”, “meta”, “esquema maligno”, “conspiração”, “forma”, “estrutura básica” e todos esses outros significados estão relacionados a “astúcia” e a “fraude”. Em princípio, a função do profissional seria, burlar, transpassar os obstáculos que os problemas causariam para o usuário, mesmo parecendo algo duvidoso, o que o autor afirma é que o design é uma ferramenta para se encontrar soluções criativas para problemas encontrados no cotidiano ou até mesmo em grandes corporações.

Refletir sobre a responsabilidade do design é um dos intuitos atrelados à proposta deste projeto, visto que designers lidam com questões de atendimento às necessidades humanas que acarretam aspectos de segurança, fragilidades físicas e psíquicas. É imprescindível atender às demandas de toda sorte de maneira ética, honesta, responsável, profissional. Em todos os ramos de atuação, principalmente o que abarca saúde física e mental, o designer deve se acautelar nas propostas de soluções, considerando consequências e possíveis repercussões na vida do indivíduo ou grupo de indivíduos atendidos. Imaginar os cenários, possíveis problemas, considerar cada eventualidade, dentro da proposta do produto, e contornar essas adversidades, faz parte do contexto geral da profissão de design, e é sobre esses preceitos que esse trabalho é guiado.

### **1.1. Design como ferramenta**

O design é uma atividade profissional que tem como uma das características principais a versatilidade. Adapta-se ao trabalho em colaboração com outras áreas profissionais. No caso do trabalho apresentado aqui, o design trabalha em parceria com a tecnologia assistiva, campo que estuda e cria soluções capazes de suprir necessidade de portadores de necessidades especiais. Existe uma gama de

problemas que as deficiências acarretam e a tecnologia assistiva tem o ferramental para auxiliar projetos que os solucionem.

A tecnologia assistiva alinhada com a robótica, é capaz de criar soluções ainda mais sofisticadas. Os estudos não buscam apenas respostas para as adversidades que algumas deficiências trazem para os deficientes físicos, mas trazer de volta os membros ou as funções dos membros em sua total capacidade. É apenas uma questão de tempo para que humanos sejam parte máquinas, os denominados *homens biônicos*. Já existem próteses muito avançadas sendo desenvolvidas dentro de universidades por todo o planeta.

O MIT (Massachusetts Institute of Technology) lidera a área protética por ter as próteses mais desenvolvidas do mundo. Por ter um grande investimento e pelo incentivo que a universidade recebe, o laboratório que desenvolve esse tipo de tecnologia, unifica biologia e tecnologia, para criar essas próteses. E quem lidera o Centro de Biônica Extrema é o professor Hugh Herr que coordena o Grupo Biomecatrônico no MIT Media Lab.

*Herr* (Figura 1) perdeu suas pernas em um acidente enquanto praticava alpinismo, o que o motivou a criar uma prótese que fosse possível fazê-lo voltar a escalar paredões. Ele não pensava que as próteses fossem uma substituição dos seus membros perdidos, mas que elas fossem uma extensão, capazes de alterar sua altura, dar uma nova função ao membro, e isso apenas alterando o design delas. Pensar na prótese como uma extensão aumenta as possibilidades que podem ser exploradas, como mudar a forma para que se consiga atingir maiores velocidades, pensando que as pernas humanas não são os melhores arranjos estruturais do reino animal para se atingir velocidades elevadas, ou próteses de membros superiores que assumam funções específicas, levando em consideração que diferentemente das pernas as mãos são membros muito complexos e desempenham sua função de forma excepcional.



Figura 1 Hugh Herr portador da prótese mais desenvolvida até o momento de membros inferiores  
Fonte: <https://medium.com/physiatry/hugh-herr-discusses-bionic-limb-technology-highlights-from-his-reddit-ama-96e00770a585>

O professor *Herr* acredita que a tecnologia é capaz de erradicar as deficiências humanas, de corrigir e recuperar áreas que tenham sido danificadas ou perdidas por algum acidente ou doença, tornando os humanos seres biônicos: metade humano metade máquinas. Os seres biônicos podem vir a se tornar seres com mais capacidades do que os seres humanos comuns, se todos os implantes ou próteses fossem pensados em aprimorar a capacidade do indivíduo, saltando anos de evolução. Claro que estamos longe de sermos capazes de fazer esse tipo de redesign em humanos, mas a ficção já deslumbra as possibilidades. Alguns exemplos de filmes que fazem alusão a isso são: “Alita, anjo de combate” (Figura 2), “Capitão América, soldado invernal” (Figura 3), entre outros. Parece sem fundamento esse tipo de comparação, mas filmes já vislumbraram no passado tecnologias que temos nos dias de hoje, então talvez estas não sejam tão absurdas.



Figura 2– Alita personagem, que na ficção é um cyborg com parte humanos e robóticas.  
Fonte:<https://www.engadget.com/2018/11/13/alita-battle-angel-fighting-trailer/>



Figura 3 – Soldado invernial, personagem do filme Capitão América, que tem como sua principal arma uma prótese de membro superior.  
Fonte:<https://pipocamoderna.com.br/2018/05/interprete-do-soldado-invernial-e-confirmado-na-comic-con-experience-2018/>

Outro extrato que se obtém do design é a concepção da interação entre o usuário e o produto, coisa que cada vez mais tem sido pensada na conjectura atual do mercado. Interagir com os produtos tem se tornado não só comum, mas essencial em um produto. Pensar nessa interação é uma das capacidades que os designers adquirem durante sua formação. Projetar essa interação na tecnologia assistiva é algo extremamente complexo, porque o desenvolvedor tem que ir além do que está

acostumando e pensar em situações que nunca tinha parado para observar ou mesmo imaginar.

Os estudos que o Centro de Biônica Extrema fez, mostraram o que se pode alcançar com a união de diversas áreas. Para ilustrar melhor, uso os avanços na ergonomia que os pesquisadores conseguiram, se utilizando da ressonância eletromagnética (Figura 4) para visualizar a posição dos ossos dos membros amputados e compreender a geometria para unir isso a uma máquina de acionadores por pressão (Figura 5). Com isso, puderam mapear os tecidos rígidos e os macios, para que uma capsula (Figura 6) de pele sintética fosse confeccionada.

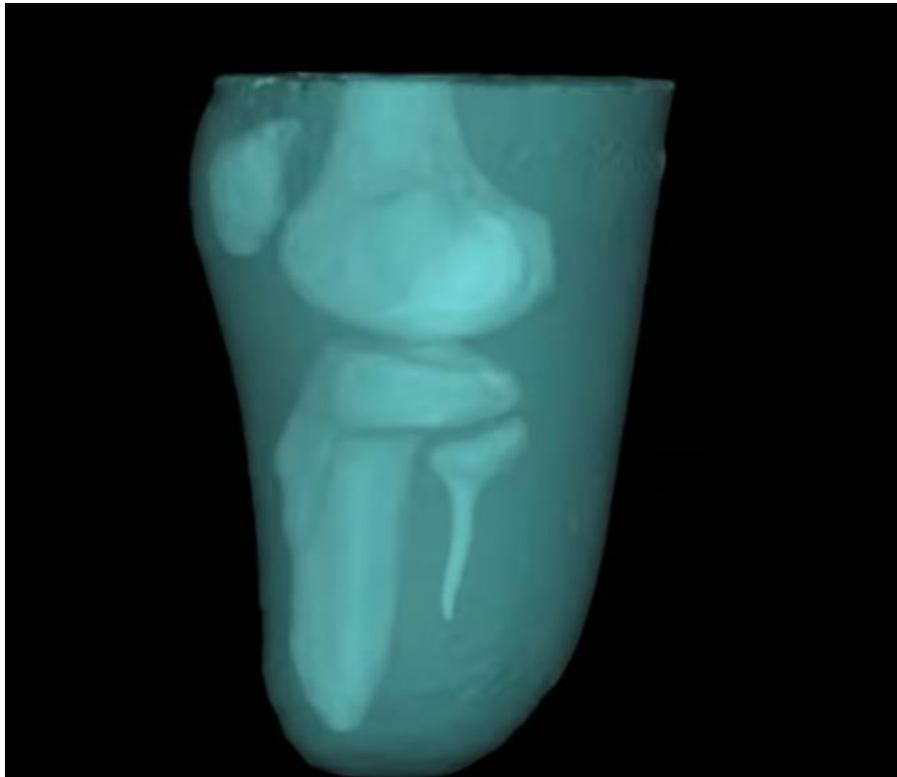


Figura 4 – Ressonância magnética do membro inferior do Hugh Herr  
Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=CDsNZJTWw0w&t=512s>



Figura 5 – Máquina de acionamento por pressão, usada para diferenciar densidade dos tecidos do membro que é inserido.

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=CDsNZJTWw0w&t=512s>

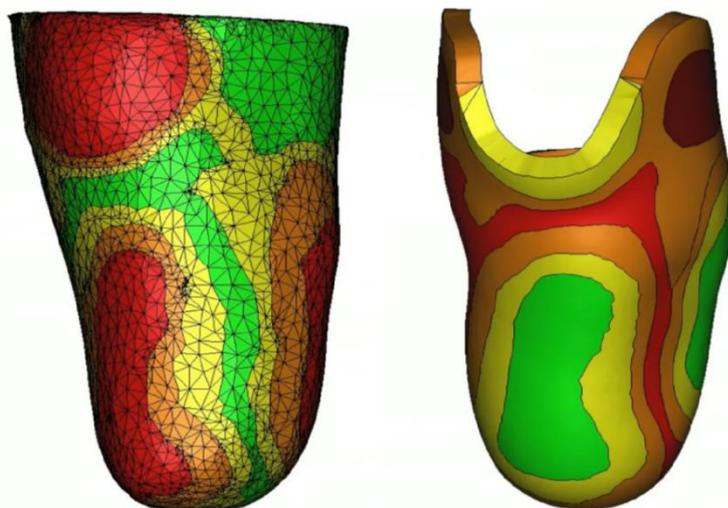


Figura 6 – Modelo 3D gerado a partir dos processos de ressonância magnética e a demarcação de densidades de tecidos feita com a máquina de acionamento por pressão.

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=CDsNZJTWw0w&t=512s>

### **1.1.1. Tecnologia assistiva**

Tecnologia assistiva é um termo ainda novo, utilizado para identificar todo o arsenal de recursos e serviços que contribuem para proporcionar ou ampliar habilidades funcionais de pessoas com deficiência e, conseqüentemente, promover vida independente e inclusão. Esta área de estudo é muito abrangente e resguarda todas as deficiências que os seres vivos podem possuir ou obter ao longo da vida. É também definida como "uma ampla gama de equipamentos, serviços, estratégias e práticas concebidas e aplicadas para minorar os problemas encontrados pelos indivíduos com deficiências" (SARTORETTO; BERSCH, 2019).

O campo de estudo da tecnologia assistiva deve ser respeitado por aqueles que o exploram, porque diferentes das outras ramificações que o design pode agregar, esse meio utiliza pessoas com deficiências físicas e intelectuais como estudo e a negligência que alguns profissionais têm com o design não pode permear essa área, já que qualquer instrumento que é pensado para auxílio dos mesmos pode retardar o desenvolvimento ou piorar ainda mais algum membro ou órgão que o usuário tenha a deficiência. Nesse contexto é muito importante a total entrega dos profissionais para que, de fato, consigam entregar soluções para os indivíduos que vão usufruir dos resultados. Mas como já foi dito o design é apenas umas das áreas que compõem esse meio, podendo ser considerado o intermediador entre essas áreas, sendo neste caso a: Fisioterapia, Terapia ocupacional, Fonoaudiologia, Educação, Psicologia, Enfermagem, Engenharia, Arquitetura e o Design.

Porém o sucesso dessa interação do design com outros campos depende, também, da capacidade, conhecimento e abertura do designer que com elas interagem.

### **1.1.2. Possibilidades do design**

O despertar dos profissionais para essa área tem um papel fundamental na inclusão dos que sofrem com suas limitações físicas, porque além de serem problemas complexos, são individualizados, sendo às vezes necessário soluções diferentes para o mesmo problema. Como na indústria não se tem a individualidade como requisito para a fabricação de produtos, as soluções têm que ser pensadas e projetadas em uma escala muito pequena ou até mesmo artesanal. O papel do

designer se adequa a esse tipo de situação, porque seu conhecimento consegue variar entre as duas escalas, do individual ao industrial, assim conseguindo criar soluções eficientes e criativas para os diversos problemas que a tecnologia assistiva abrange.

A popularização da impressão 3D também colaborou com o surgimento da tecnologia assistiva, uma vez que a produção não fica mais somente no âmbito da indústria. Com o conhecimento necessário e uma impressora 3D consegue-se prototipar ou até mesmo criar produtos manufaturados. Essa abertura criou um movimento *maker*.

O *Movimento Maker* é uma extensão da cultura do faça você mesmo (ou "*do it yourself*", em inglês, que se abrevia como DIY). Tudo começou no início de 2005, quando a revista *Make Magazine*, criada nos Estados Unidos, promoveu a *Maker Faire* (feira de fazedores). A feira fez tanto sucesso - recebeu mais de 250 mil pessoas - que a partir desse dia gigantes como Samsung, Intel, Microsoft, Raspberry, Arduino e Microchip começaram a desenvolver tecnologias exclusivamente para os *makers* (fazedores) (LEGNAIOLI, s.d.)

O movimento *maker* parte do princípio do "*do it yourself*" (faça você mesmo), que estimula que você mesmo crie a solução para seus problemas ou demanda. Essa ideia foi tão difundida pelo mundo que hoje existem bibliotecas online com uma série de soluções e projetos, que se pode usar para manufatura ou para uso próprio. Isso criou um nicho no mercado de "modelos digitais", que são vendidos em lojas online específicas para isso. Uma pessoa de qualquer lugar do mundo pode adquirir esses modelos e imprimi-los na sua impressora. Esse mercado cresceu muito depois que a cultura pop se transformou em tendência. Isso permeia até mesmo o campo de tecnologia assistiva, uma vez que próteses que se utilizam do visual de alguns filmes como *Avengers* e *Star Wars* (Figura 7), foram feitas mais lúdicas para que a criança tenha mais vontade de usar e o preconceito amenizado.



Figura 7 – Próteses com temas da cultura pop, para facilitar aceitação.

Fonte:<http://www.babycidade.com.br/proteses-transformam-criancas-deficientes-em-super-herois-e-princesa-da-disney/>)

## 1.2. Impressão 3D e *Open Source*

Quando as impressoras 3D se tornaram mais acessíveis, houve uma evolução considerável na tecnologia digital. O poder de produzir um protótipo em um laboratório básico, escritório ou na própria garagem deu aos entusiastas e desenvolvedores a capacidade de testar ideias, o que antes só poderia ser feito por meio de grandes investimentos ou pesquisas incansáveis. A própria indústria se apropriou dessa tecnologia e as aplicações passaram de caseiras para a escala industrial. No ramo automobilístico, a pioneira em usar impressão 3D foi a BMW, que já usa a tecnologia em algumas peças de seus carros, como demonstrado na Figura 8.

A BMW é uma das primeiras empresas a utilizar essa tecnologia na produção de veículos. “Com o BMW i8 Roadster, o BMW Group se tornou o primeiro fabricante de automóveis a utilizar a impressão 3D para produzir peças de metal em larga escala”, lembra Jen Ertel, chefe do Centro de Manufatura Aditiva do BMW Group e futuro diretor do Campus, referindo-se a uma peça de fixação da estrutura da capota de tecido. Feito de liga de alumínio, o item impresso é mais leve que o

normal moldado por injeção, e, ao mesmo tempo, mais rígido (ALUAUTO, s.d)



Figura 8 – Peça fabricada em manufatura aditiva (impressão 3D), usadas em carros da BMW  
Fonte:<http://aluauto.com.br/bmw-anuncia-planta-de-manufatura-aditiva/>

Mas os efeitos da impressão 3D não permearam somente a indústria. Um movimento de compartilhar projetos e soluções com outras pessoas para que pudessem usufruir do resultado ou até mesmo fazer modificações e disponibilizá-las, criou uma corrente de pessoas que fazem projetos e colocam na rede sem cobrar por isso, deixando-os abertos para a exploração monetária ou não. Este foi um dos efeitos que a tecnologia aditiva (impressão 3D por adição de material) trouxe para o mundo. Esse movimento de compartilhar projetos e soluções na rede é denominado de *open source* que

é um termo em inglês que significa código aberto. Isso diz respeito ao código-fonte de um software, que pode ser adaptado para diferentes fins. O termo foi criado pela OSI (Open Source Initiative) que o utiliza sob um ponto de vista essencialmente técnico (CANALTECH, s.d.)

Para exemplificar o tamanho desse movimento e o quanto pode conectar pessoas com boas intenções e expertises necessárias para contribuir com ela, exemplificarei algumas plataformas que reúnem e disponibilizam esses projetos. São elas:

- Thingiverse

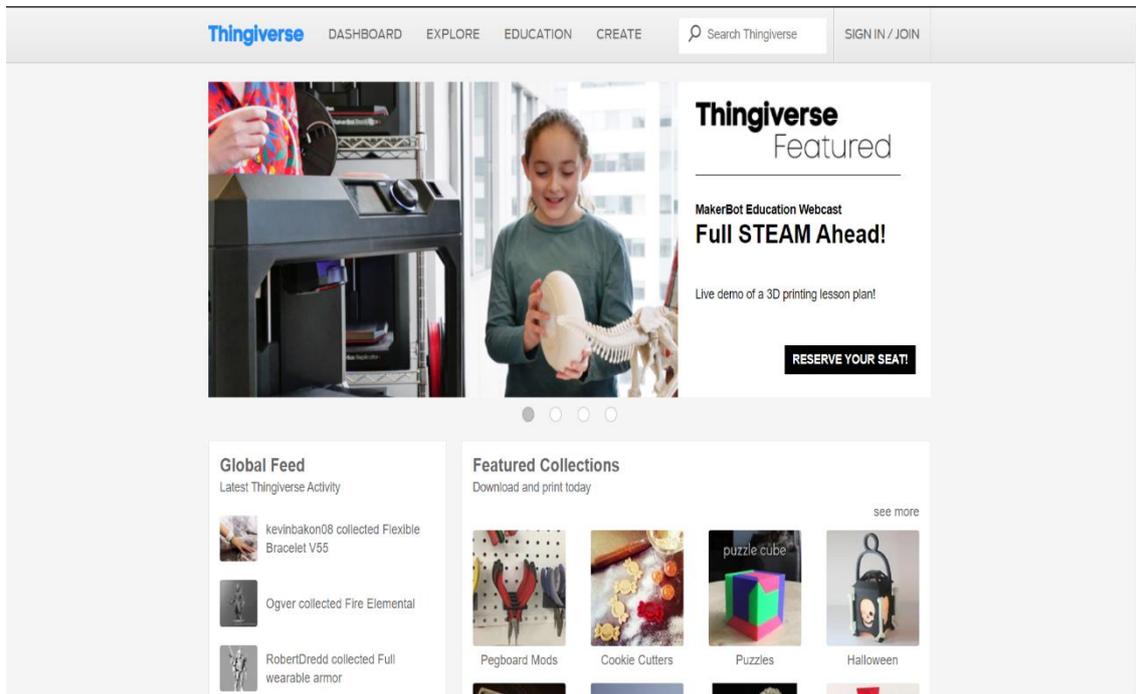


Figura 9 – Site de repositório de arquivos digital.  
Fonte: <https://www.thingiverse.com/>

- GRABCAD

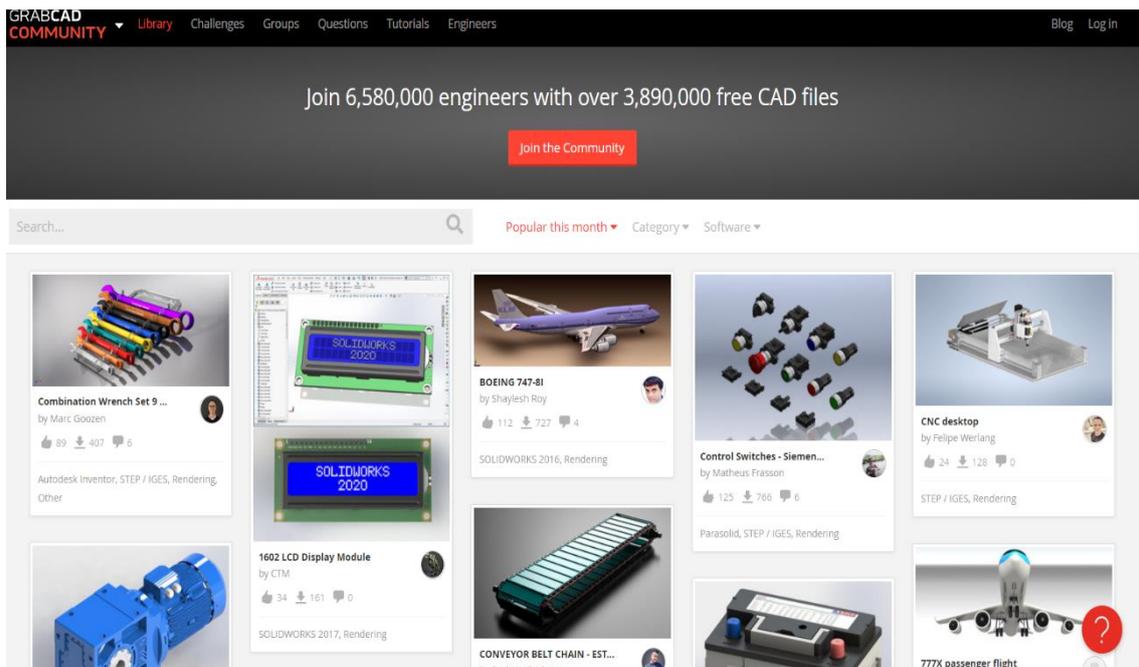


Figura 10 – Site de repositório de arquivos digital.  
Fonte: <https://grabcad.com/>

Esses repositórios que são resultado do movimento, além dessas bibliotecas contêm *softwares* que são melhorados a partir de sugestões dadas por usuários com conhecimentos em programação. A extensão disso e de como será ao longo dos anos é imprevisível, mas o caminho é promissor principalmente para o campo de tecnologia assistiva que explora bastante do potencial dessa cultura.

### **1.3. Escaneamento**

O modelo digital é essencial para que se consiga uma impressão 3D e existem alguns meios para que o modelo seja obtido. Uma das possibilidades é modelar em software 3D para construir o objeto, usando medidas em modelagem paramétrica ou polígonos (qualquer figura plana formada pelo mesmo número de ângulos e lados) em modelagem orgânica. Com o avanço tecnológico surgiram os scanners, que são basicamente equipamentos que possibilitam o rastreamento de superfícies de objetos e a transferência para um software, para que sejam criados modelos 3D a partir do objeto escaneado.

A qualidade dos escaneamentos varia de acordo com a qualidade do equipamento ou da técnica usada. Sobre o grau de dificuldade existe um equilíbrio entre custo e técnica. Pode-se alcançar resultados aproximados com os scanners 3D usando técnicas específicas, que exigem certo conhecimento e estudo para usá-los. Neste projeto, utilizo um tipo de scanner de baixo custo, o Kinect, que tem uma técnica de escaneamento denominada fotogrametria, que pode ser utilizado com uma câmera de celular.

#### **1.3.1. Scanner Kinect**

O Kinect, em princípio, foi criado para entretenimento, como um acessório para o vídeo game Xbox 360. Quando lançado, foi o ápice dos acessórios para vídeo games, por não necessitar de mais nada além do Kinect para criar a interação vídeo game e pessoa, lendo os movimentos do usuário e o reproduzindo em tempo real na tela. Mas os desenvolvedores viram outras possibilidades para o equipamento, uma vez que seus sensores basicamente rastreavam a pessoa em um ambiente e traduzia isso em informações. Começou-se a explorar o acessório como uma forma

de criar interação com outras máquinas. Ele foi usado tanto para criar um mouse usando apenas o movimento do braço quanto em um captador de movimentos para animações independentes. Porém, a usabilidade que mais teve destaque e estudos sobre o aparelho, foi a sua utilização como um *scanner*, uma vez que os equipamentos desse tipo eram extremamente caros. O *Kinect* foi considerado um equipamento de baixo custo, que poderia ser usado por qualquer pessoa e com diversas aplicações.

A qualidade que se consegue atingir no *Kinect* não é algo primoroso, se comparado com outros *scanners*, mas o seu preço o torna a melhor solução para alguém que quer começar a explorar a área.



Figura 11 – Exemplo de um escaneamento feito por um Kinect 360.  
Fonte: <https://3d1.com.br/noticia/64624>.

Quase sempre é necessário usar outros *softwares* para corrigir algumas imperfeições que o equipamento gera no escaneamento, como *Blender*, *Zbrush*, *Maia 3D*. E apesar da Microsoft ter disponibilizado os códigos para que desenvolvedores pudessem criar usabilidades para o produto, foi necessário criar um *software* que fizesse a interação entre o *Kinect* e o computador e o transformasse em um *scanner*. Um desses programas, que é muito intuitivo e simples de configurar, é o *Skaneect 3D*, que tem uma versão *free*, porém, é a versão *pro* que entrega as melhores funcionalidades. Ao se usar esse *software*, é possível conseguir resultados como visto na Figura 11, que apesar de algumas imperfeições é um resultado aceitável levando em consideração o valor do equipamento.

### 1.3.2. Fotogrametria

A fotogrametria é uma técnica de escaneamento 3D que consiste em tirar diversas fotos de um objeto de ângulos diferentes. As fotografias são processadas por um software que as transforma em uma nuvem de pontos que é também processada para gerar uma malha, ou seja, é criada a versão digital do objeto escaneado. A priori a fotogrametria era usada para medir terrenos e outros objetivos.

O projeto visa o baixo custo, tanto em equipamento quanto em confecção, porém a fotogrametria é uma técnica difícil de ser aplicada, exigindo muito tempo de estudo e testes. Contudo, os resultados podem ser comparados ao de scanners de alta qualidade. Para uma melhor compressão, exemplificarei um processo de fotogrametria executado pelo designer Leandro Cruz. A Figura 12 apresenta várias fotos feitas do tronco de uma árvore em ângulos diferentes para cobrir o máximo de área possível de sua superfície, usando uma câmera profissional, e sempre levando em consideração a quantidade de luz no ambiente que, de preferência, deve ser alta.



Figura 12 – Fotos de um tronco de árvore.  
Fonte: Leandro Cruz.

Em seguida, as fotos são inseridas no programa VisualSFM, para que sejam processadas e a relação entre elas criadas, como mostram as Figuras 13 e 14.



Figura 13 – Imagens do tronco da árvore no programa.  
Fonte: Leandro Cruz.



Figura 14 – Imagem de como o programa faz compara e assimila as imagens  
Fonte: Leandro Cruz.

Após esta etapa, o programa gera um mapeamento de quantas fotos estão relacionadas e forma um mapa que cruza as imagens e identifica que pedaço do objeto seria cada imagem, formando esse 'L' para determinar o cruzamento. Subsequentemente, a nuvem de pontos é gerada e, se essa nuvem de pontos reproduzir a forma do objeto que as fotos registraram, é grande a probabilidade de sucesso no resultado final, como mostra a Figura 15.



Figura 15 – O programa criando a relação entre as imagens e transforma em uma nuvem de pontos.  
Fonte: Leandro Cruz.

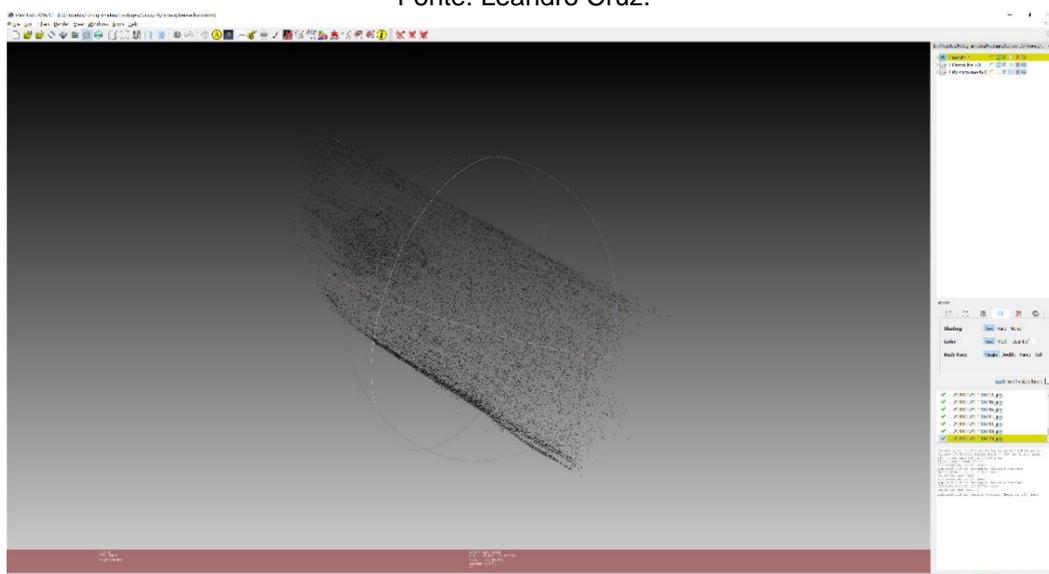


Figura 16 – Imagem da nuvem de pontos sendo processada.  
Fonte: Leandro Cruz.

Dependendo da qualidade das suas fotos e de como elas foram tiradas, o resultado final deverá ser como na Figura 16: uma nuvem de pontos muito densa que representará de forma fiel as feições do objeto escaneado.



Figura 17 – Imagem da nuvem de pontos após ser processada.  
Fonte: Leandro

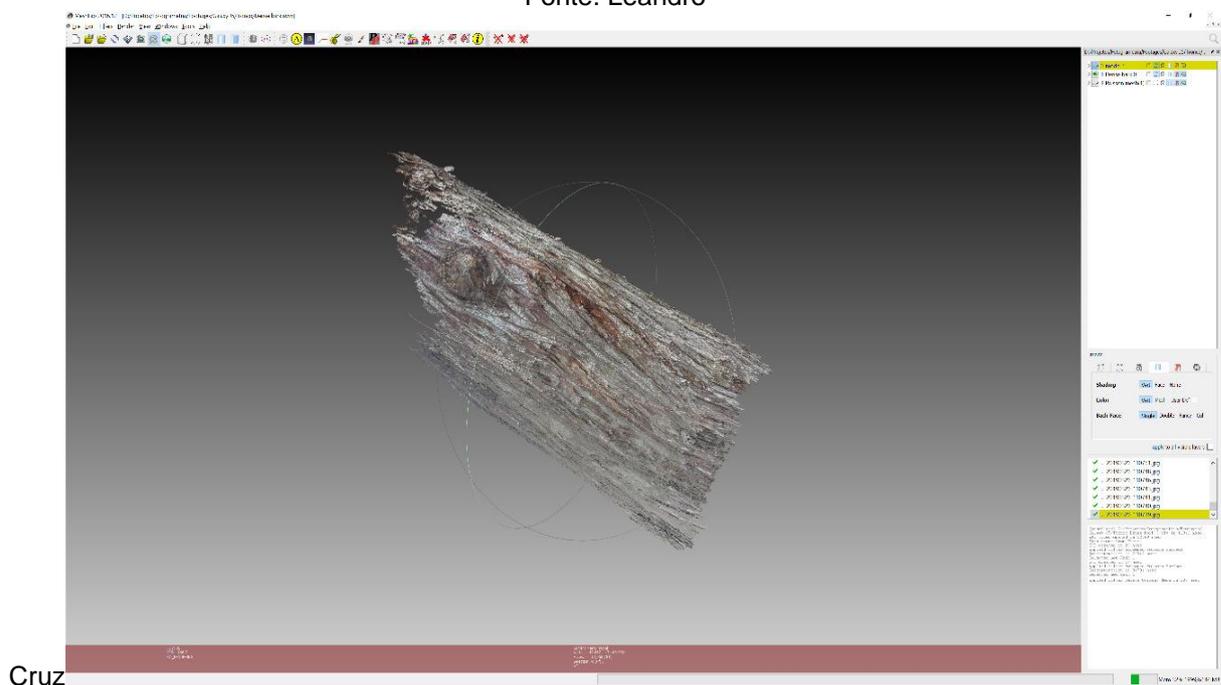


Figura 18 – Imagem da nuvem de pontos no programa Meshroom.  
Fonte: Leandro Cruz.

Com a nuvem de pontos obtida e após processadas as fotos, a nuvem é introduzida no software *Meshroom*, para que seja processada e, a partir de aproximação, são criados os polígonos que constituirão o modelo 3D do objeto, como mostram as

Figuras 17 e 18. O programa também fara o preenchimento dos espaços vazios para que o resultado final seja melhor (Figura 19).

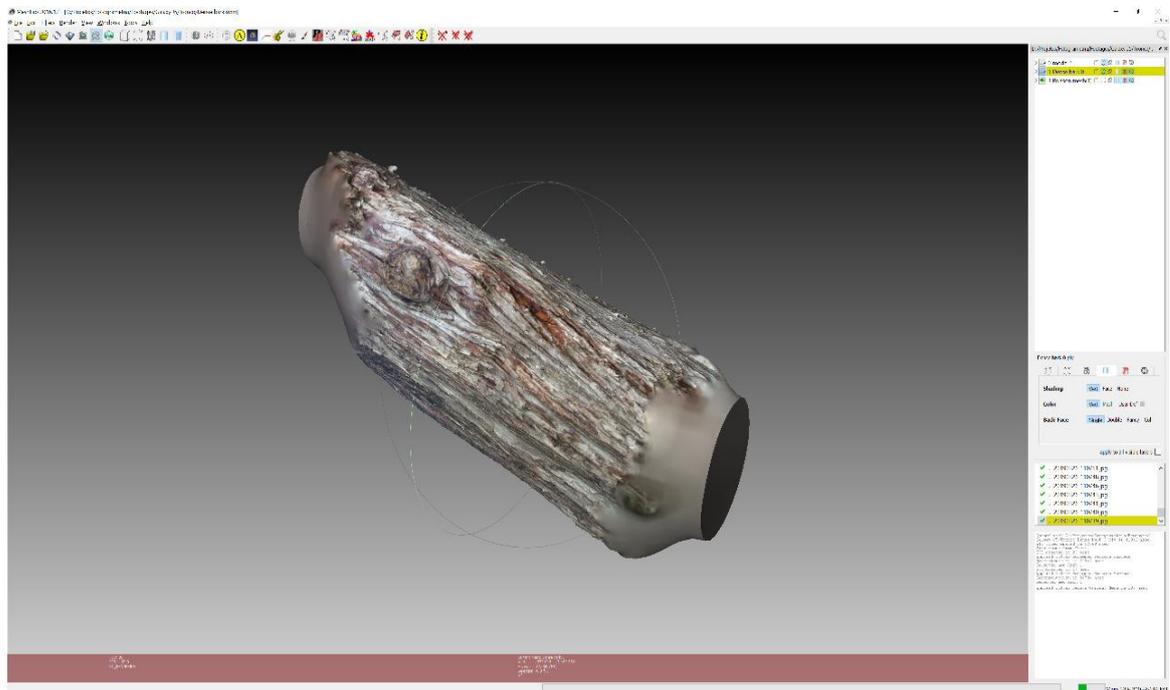


Figura 19 – Imagem do programa convertendo a nuvem de pontos em modelo 3D.

Fonte: Leandro Cruz.

A curva de aprendizado dessa técnica é tão grande, que para o projeto em questão não faz muito sentido, partindo-se da proposta de unir métodos e técnicas que sejam de fácil acesso e de rápido aprendizagem e que tenha um custo baixo em relação aos métodos tradicionais de fabricação e aplicação.

#### 1.4. Esporte como terapia

Considerada a doença do século a depressão atinge inúmeras pessoas. Trata-se de um “transtorno afetivo que se caracteriza por uma tristeza intensa e de longa duração” (Psicologiaviva, 2019). É considerada uma das doenças que mais acometem as pessoas hoje em dia.

Segundo o estudo de Batista e Ornellas (2013), pessoas que não praticam exercícios físicos e sedentárias são mais propensas a desenvolver um quadro de depressão, e pessoas que fazem alguma atividade física, podem ter o quadro de depressão controlado ou reduzido, além de servir como um preventivo contra a

doença. A atividade física pode auxiliar bastante na redução dos níveis de depressão, em muitos casos, ajudando até a controlar os episódios depressivos, principalmente em pessoas que visam um tratamento para depressão que não seja medicamentoso. E a prática de exercícios físicos é uma opção de tratamento que proporciona não só os benefícios psíquicos mais também os físicos, promovendo, também, um envelhecimento mais saudável.

Atualmente, a atividade física é considerada não só um meio de promover a competitividade em campeonatos esportivos e lúdicos, mas também um meio de se treinar o corpo para o ganho de maior capacidade física ou até para se conseguir uma melhor aparência estética. Para idosos e pessoas de meia idade, principalmente, o esporte pode servir na prevenção ou no combate de doenças. São alguns dos benefícios de prática de exercício físico: melhoria da circulação; diminuição do risco de doenças do coração; redução e controle do diabetes; auxílio no controle do peso; manutenção de ossos, articulações e músculos saudáveis; promoção do bem-estar físico e mental.

Em relação às questões neurais, a prática esportiva desencadeia uma série de processos cerebrais e hormonais que promovem o bem-estar dos praticantes, causando estímulos que pessoas com depressão não conseguem obter sem o uso de remédios. Por isso a busca pela inclusão dessas pessoas no esporte, pois é possível conseguir os mesmos estímulos que os remédios proporcionam de forma natural e saudável. As mudanças relatadas pelos amputados abarcam rotinas diárias, vida afetiva e profissional. Esses eventos culminam em quadros de ansiedade, depressão e desesperança. Os sintomas de depressão em amputados é algo comum, pois apresentam tristeza, pesar, isolamento social, perda de apetite, distúrbios do sono, entre outros (BATISTA; ORNELAS, 2013).

Estimular essas pessoas a praticarem esporte pode ser benéfico também no auxílio a aceitação do uso de prótese, pois

a perda de uma parte do corpo pode implicar em profundas desorganizações na estrutura psicológica do indivíduo, desestruturando seu esquema corporal, fazendo-se necessário um processo complexo de reorganização da sua vida. Este processo pode ser o principal responsável pela dificuldade de assimilar uma prótese que possa substituir o membro perdido (SABIANO et al, 2013).

O incentivo ao esporte pode aumentar as chances do paciente em aceitar o seu estado atual e partir para o processo de reabilitação, visando a volta da prática do seu esporte favorito ou o início da prática de um esporte com o qual o paciente mais se identifique.

## **1.5. Cinesiologia**

Cinesiologia é o estudo das forças que atuam sobre o corpo humano, com o intuito de promover o melhor proveito dos movimentos do corpo e, assim, prevenir lesões causadas por movimentos que não são adequados.

Este projeto usa o estudo da Cinesiologia para compreender os movimentos dos membros superiores, seu objeto de estudo. Deve-se levar em consideração que essa parte do corpo é analisada com base na narrativa de quem sofreu alguma amputação, para identificar quais os movimentos que foram perdidos e quais ainda estão em funcionamento, depois da amputação. A tentativa é de projetar uma prótese que vá extrair o máximo desses movimentos ou devolver os movimentos perdidos por meio da prática esportiva, que neste caso é canoagem e caiaque.

### **1.5.1. Análise cinesiológica da remada básica (Canoagem)**

A Figura 20 demonstra todo o movimento que é feito durante a remada. Essa análise é importante para que se consiga captar cada movimento para o projeto da prótese, visando a fidelidade na execução do movimento para o amputado. Os movimentos consistem em: POSIÇÃO INICIAL, ENTRADA, PUXADA, SAÍDA, RECUPERAÇÃO, PASSAGEM BILATERAL 1, PEGADA DUPLA COM ELEVAÇÃO DO REMO e a PASSAGEM BILATERAL 2.

Levou-se em consideração que: Na POSIÇÃO INICIAL havia uma ISOMETRIA, nas fases ENTRADA e PUXADA foi realizado um trabalho dinâmico com contração concêntrica nas fases de SAÍDA E RECUPERAÇÃO tinha uma contração dinâmica excêntrica (COSTA; PARADA, 2005)



Figura 20 – Análise cinesiológica da remada básica.  
Fonte: <https://www.efdeportes.com/efd83/canoa.htm>

## 2. MÉTODOS E SUAS APLICAÇÕES

Toda a pesquisa, indagações e prototipagem foram guiadas por três ideais: ter um por quê, ser acessível, ser útil. Esses ideais foram a base do projeto desde o começo, quando foi idealizada a primeira prótese. Esses três ideais têm uma função específica cada um.

O “ter um por quê” trata da necessidade de existir um motivo plausível para que o produto seja desenvolvido. O “ser acessível” abrange o perfil econômico das pessoas beneficiadas com o projeto, isso para que se possa focar, também, no custo final do produto com vistas a viabilizá-lo economicamente, pois o maior público que necessita de próteses no Brasil não tem condições financeiras para obter uma. Esse ideal também abarca a área de produção, que consiste na escolha dos materiais e métodos de fabricação disponíveis na região, necessários para a confecção do produto final, principais itens responsáveis pelo preço final de um produto. O terceiro ideal corresponde ao atendimento dos requisitos pré-estabelecidos de projeto no produto final.

Articulo requisitos, possíveis materiais e mecanismos em meu processo criativo que conjuga idealização mental e sketches do produto, para melhor visualização dos mecanismos e interação entre eles, além da identificação dos possíveis erros. A partir disso, passo para a modelagem 3D para ter uma ideia do volume e de como o produto se comportaria no espaço, ajustando os erros, que sempre aparecem quando se passa do *sketch* para o volume real. Começo, então, a buscar métodos de fabricação, com base no material escolhido.

O material interfere consideravelmente no método fabril. Por isso, deve ser pensando desde o começo para que se projete um produto condizente com as propriedades do material. No caso da prótese esportiva deste projeto, foi escolhida a confecção por meio da impressão 3D, para ser mais acessível e para contribuir com a popularização das impressoras 3D no Brasil. Em grandes cidades, encontrar esse tipo de maquinário não é difícil, pois existem grandes centros que fornecem o serviço de impressão 3D entre outros tipos de serviço de prototipação rápida.

### *Logística entre paciente e prótese*

Quando alguém tem um membro amputado, é comum que ele seja inserido em uma lista de espera do Sistema Único de Saúde - SUS para receber uma prótese. Lista em que o indivíduo fica, às vezes, por anos, até ser atendido. Quando é chamado, tem que se encaminhar para uma oficina pública de prótese e órtese, para ser submetido ao processo de medição tradicional, em que é aplicado gesso umedecido na região do cotoco e lá permanece até secar. Obtém-se um molde com a forma negativa da região do cotoco. Em seguida, é feito o processo inverso em que esse molde é preenchido com gesso e o positivo é obtido. Somente após todo esse processo a cápsula pode ser produzida ou de resina, resina e fibra de carbono ou somente fibra de carbono.

Neste projeto a logística é idealizada de outra forma. Quando o paciente se recuperasse, pediria uma prescrição médica, iria ao um centro de fabricação em colaboração e lá seria feito o escaneamento da região do cotoco. Após o escaneamento, usando suas medidas, uma cápsula com os mesmos parâmetros da feita tradicionalmente, seria produzida e com isso o centro poderia ou imprimir 100% da prótese, caso fosse esse o intuito, ou poderia encaixar a cápsula em uma prótese comum. Esse processo envolveria muito menos tempo e resíduos, além de ser menos invasivo. Ao partir do pressuposto de que o paciente buscou adquirir uma prótese esportiva, que no mercado seria extremamente cara, o centro fabricaria uma prótese específica para o esporte que ele quer praticar. Isso tudo tornaria o processo entre o paciente e a prótese muito mais rápido e acessível.

### *Ferramentas*

Com base em todo o processo necessário para a confecção de uma prótese, serão apresentadas e descritas as ferramentas escolhidas. Os requisitos para a escolha são: fácil acesso, baixo custo, disponibilidade, curva de aprendizagem e entrega de resultado.

A medição para a confecção da cápsula na forma tradicional é feita a partir da produção de um molde negativo do cotoco, sendo necessário, aplicar gesso na região, esperar endurecer, para confecção do molde negativo e, em seguida, o molde é preenchido com gesso, para a produção do molde positivo, que é usado para a fabricação da cápsula, com resina e fitas de fibra de carbono. Esse processo poderia ser reduzido e mais limpo utilizando-se métodos de escaneamento e impressão 3D. Seria feito um escaneamento da região do cotoco, e em seguida, a preparação do modelo digital. O membro seria impresso em impressão 3D, podendo ser usado para produzir a cápsula em resina e fita de carbono ou mesmo em impressão 3D. Porém, no caso desse projeto, todo esse processo é feito de forma digital sendo produzido apenas o modelo final para o usuário.

Por meio do Kinect 360, que é o dispositivo mais acessível usado como scanner, foi feito o escaneamento de uma persona, como demonstrado na Figura 21, usando o programa Skanect 3D. A persona permaneceu sentada para que pudesse aguentar o tempo de duração do procedimento de escaneamento realizado.

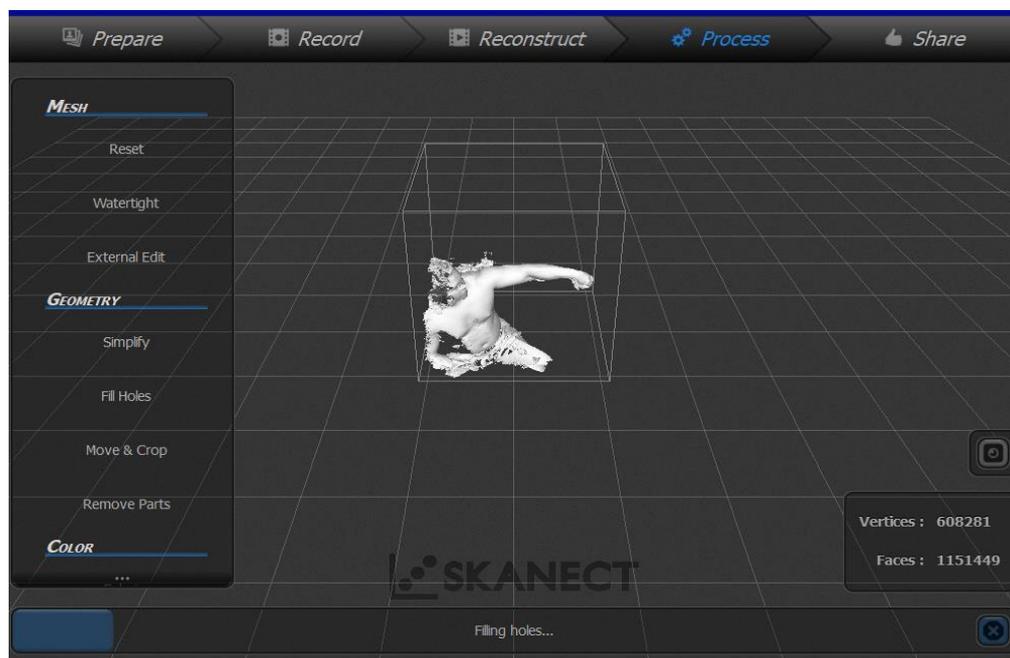


Figura 21 – Escaneamento com Kinect.  
Fonte: o autor.

Mesmo não capturando todas as formas e deixando alguns espaços vazios, esse foi um dos melhores resultados obtidos durante as tentativas de execução do procedimento (Figuras 22 e 23) que, no caso, foi o suficiente para o projeto. Usando

o próprio *Skaneect* foi realizada uma limpeza no *scan*, para que o processamento final fosse mais leve e o arquivo gerado ficasse menor.

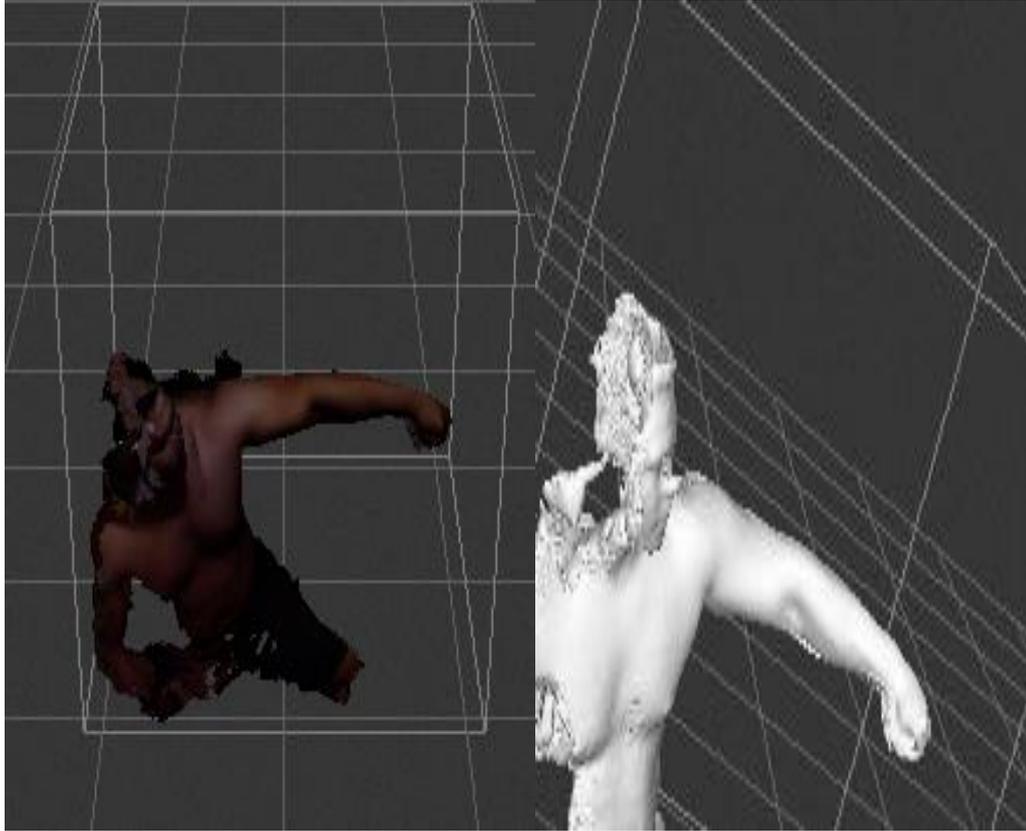


Figura 22 – Modelo 3D obtido com escaneamento e tratado em outros programas.  
Fonte: o autor.

A Figura 23 mostra o resultado final do escaneamento, depois de passar por um tratamento no *Zbrush*, que também poderia ter sido feito no *Blender*. Como a pessoa que passou pelo escaneamento não possuía um membro amputado, foi realizada uma amputação no modelo 3D para representar um membro amputado, para efeito de objeto de estudo.



Figura 23 – Modelo 3D obtido com escaneamento e tratado em outros programas.  
Fonte: o autor.

### 3. PROJETO

A apresentação do projeto se subdivide, a seguir, em requisitos de projeto, aspectos ergonômicos, análise cinesiológica, especificação de materiais, mecanismos e a prótese, propriamente dita.

#### *Requisitos de projeto*

Depois do escaneamento feito, iniciou-se a parte projetual. Para guiar o projeto, os requisitos foram estipulados, com base nos objetivos. Esses requisitos se subdividem em ser:

- modular
- resistente
- impresso em 3D
- de fácil manutenção
- de fácil manuseio
- funcional
- ergonômico
- desmontável (o máximo possível)
- de baixo custo de fabricação

Diferente do estudo ergonômico desenvolvido pelo laboratório do MIT, esse trabalho tem o intuito de fazer com que qualquer pessoa com um conhecimento básico de programas computacionais de modelagem consiga usar este projeto para desenvolver sua própria versão da prótese.

Partindo do modelo 3D, conseqüente do escaneamento feito do amputado, previamente, a análise cinesiológica deve ser feita, levando em consideração que o modelo 3D gerado é totalmente fiel às medidas do membro real.

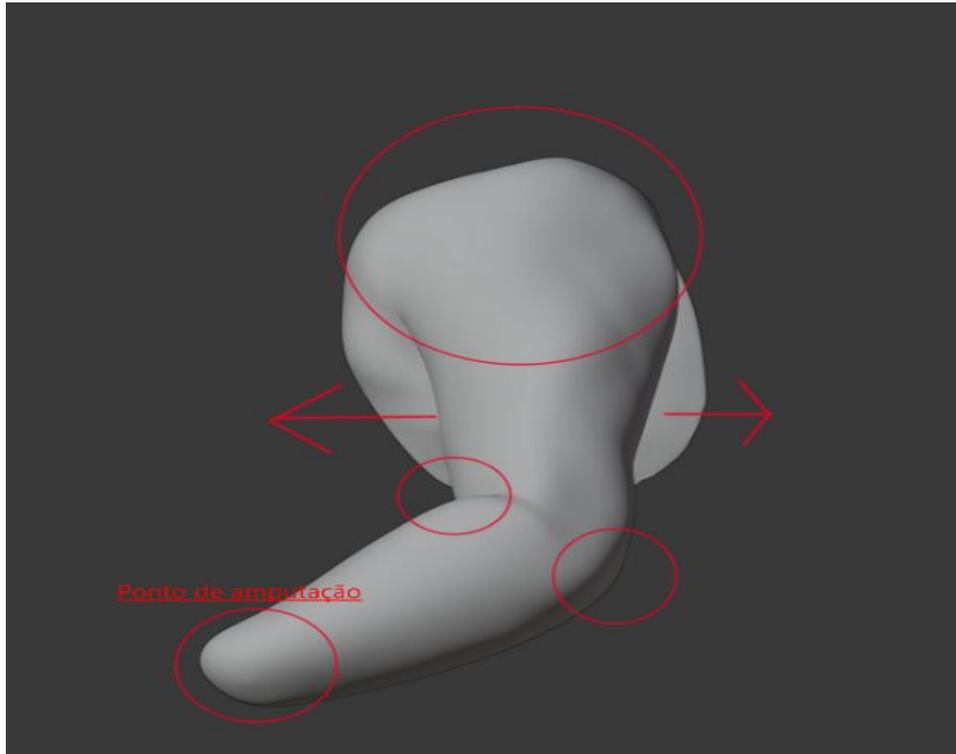


Figura 24 – Modelo 3D de membro superior escaneado.  
Fonte: o autor.

Uma amputação de desarticulação de punho foi feita no membro superior, na altura do punho esquerdo (figura 24), restando ainda as articulações do cotovelo e ombro. Ainda são possíveis a flexão como na figura 25 (aproximação dos ossos do antebraço em relação ao braço), a extensão (afastamento dos ossos do antebraço em relação ao braço), a abdução (movimento de afastamento do plano sagital mediano do corpo) e a adução (movimento de aproximação do plano sagital mediano do corpo) (LIPPERT, 2013).

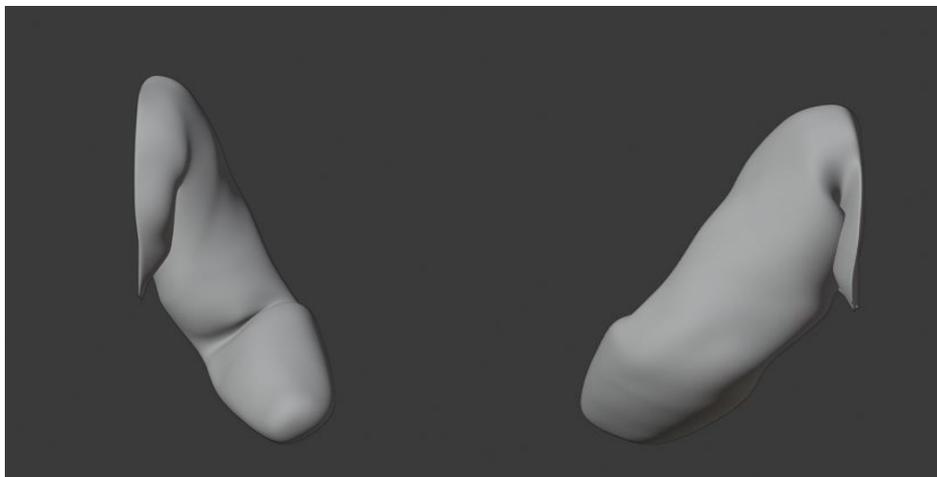


Figura 25: Modelo 3D do membro superior escaneado frontal e posterior  
Fonte: o autor.

O estudo sobre o material a ser especificado é a uma das partes cruciais do projeto, visto que a prótese deve ser fabricada com a menor variedade de material possível, para diminuir a complexidade de confecção, tornando o projeto mais acessível. A forma fabril escolhida limita o material em filamento, porque é o insumo das impressoras 3D. Os filamentos têm bases diferentes, que variam bastante em suas características técnicas (temperatura, tempo de impressão, resolução). O PLA (Ácido Polilático) trabalha com uma temperatura melhor do que o ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), e também não necessita de uma impressora que tenha uma mesa aquecida. O ABS trabalha com uma temperatura muito mais elevada, necessita de uma mesa aquecida e de que a impressora tenha uma estufa, para que o calor fique retido dentro da impressora.

A seguir são evidenciadas as características técnicas entre os dois tipos de filamento.

### ABS

O insumo precisa de uma impressora que mantenha calor constante e que possua uma estufa ou uma case que retenha o calor dentro do espaço de impressão. Caso isso não ocorra, o objeto que está sendo impresso descolará da base de impressão ou empenará, porque sua base já estará fria e o resto do objeto ainda sendo impresso. Logo, a dinâmica descolará a impressão, ocasionando possivelmente no descolamento total da peça ou em empenamento em algum ponto da peça. O material também é de fácil acabamento como, lixamento, pintura etc.

### Especificações técnicas:

- Temperatura de amolecimento: 97° C
- Temperatura de fusão: 225°C a 245°C
- Base aquecida: 100°C a 110°C

## PLA

O insumo consegue trabalhar em temperaturas menores e não é necessário o uso de uma impressora que mantenha a mesa aquecida. As impressoras que podem usar esse tipo de insumo não precisam ter uma estufa. Empenamentos ou descolamentos nesse tipo de material é muito difícil, porém acabamentos, como lixamento, pintura, é muito mais difícil, também.

### Especificações técnicas:

- Temperatura de amolecimento: ~60° C
- Temperatura de fusão: 145°C - 160°C
- Base aquecida: 0°C

### *Comparação entre ABS e PLA fibra de carbono*

#### 1° Teste

O modelo 3D de ABS foi submetido ao mesmo esforço que o modelo 3D de PLA fibra de carbono. O resultado foi uma deformação do modelo. O PLA fibra de carbono por sua vez, apresentou somente deformação superficial. Nesse primeiro teste o PLA fibra de carbono apresentou uma resistência muito superior ao ABS comum.

#### 2° Teste

Nos cubos foi feita a impressão com filamento de fibra de carbono e ABS. Foi aplicado uma força prensando cada cubo com um alicate de corte, usando a força das mãos. O cubo de filamento de fibra de carbono aguentou 4 aplicações de força, deformando-se completamente depois da 3ª. e se partindo apenas depois da 4ª. aplicação. O cubo de ABS comum, se partiu na primeira aplicação de força, usando o mesmo alicate.

### *Teste de impressão com Filamento de fibra de carbono*

Na impressão com muita resistência, o teste de resistência foi feito com alicate e suportou o esforço sem deformação no modelo, mas uma leve deformação na superfície. O topo apresenta defeito de impressão, onde a letra Y aparece afundada, como se tivesse sido derretido. Algumas das possíveis causas são:

- temperatura elevada demais
- falta do soprador na extrusora (duto que conduz o ar do fan ao bico da extrusora)
- preenchimento não está prestando o devido suporte para a construção da camada superior

### *Teste de degradação de PLA fibra de carbono*

O modelo 3D foi fabricado em filamento de fibra de carbono e colocado em um pote com água. Assim que coloquei, a peça não submergiu instantaneamente, talvez devido à quantidade de oxigênio ainda presente no modelo. A água não apresentou nenhuma mudança na coloração e nenhuma partícula, que pode ser vista a olho nu, foi solta na água pelo modelo.

- 2º. dia – A amostra foi tirada da água e não apresentou nenhuma degradação, superfície continua exatamente normal, sem apresentar nenhuma liberação de pigmento e nem está pegajosa, a amostra foi recolocada no pote com água.
- 3º. dia – O modelo 3D não apresentou nenhuma evolução aparente na degradação forçada, a superfície ficou mais escorregadia, a água continua transparente.
- 4º. dia – A água aparenta estar mais viscosa, mas continua transparente sem nenhuma partícula ou pigmento solto pelo modelo. O modelo 3D não apresenta nenhuma evolução na degradação.

- 5º. dia – A água aparenta estar mais viscosa, mas continua transparente sem nenhuma partícula ou pigmento solto pelo modelo. O modelo 3D não apresenta nenhuma evolução na degradação.
- 6º. dia – A água aparenta estar mais viscosa, mas continua transparente sem nenhuma partícula ou pigmento solto pelo modelo. O modelo 3D não apresenta nenhuma evolução na degradação.
- 7º. dia – A água aparenta estar mais viscosa, mas continua transparente sem nenhuma partícula ou pigmento solto pelo modelo. O modelo 3D não apresenta nenhuma evolução na degradação.
- 3 meses – A água aparenta estar mais viscosa, mas continua transparente sem nenhuma partícula ou pigmento solto pelo modelo. O modelo 3D não apresenta nenhuma evolução na degradação. O modelo foi colocado no sol para secar, para atestar se não ocorreria nenhuma mudança no modelo, o que não aconteceu. O teste de pressão com alicate comum foi feito e a resistência continuou a mesma.
- Conclusão do teste – O filamento, mesmo sendo feito à base de PVA (filamento feito com base de amido de milho), sendo biodegradável e quando exposto à água, que aceleraria a degradação, não apresentou mudança. Suponho que a adição da fibra de carbono tornou o material resistente à água, da mesma forma que o ABS. Não tenho dados suficientes para atestar que o material continua biodegradável, e também não é possível atestar que o material vá continuar mantendo a sua resistência e estrutura passando dos 3 meses em que isso foi constatado.

### *Mecanismos*

O desenvolvimento dos mecanismos foi com base nos requisitos estabelecidos. Eles deveriam ser resistentes o suficiente para aguentar o esforço que o amputado iria submeter a prótese, na prática esportiva de alto rendimento. Porém, se utilizando da impressão 3D, alcançar essa resistência seria um desafio muito grande. Então, a escolha do filamento foi crucial para que o projeto fosse adiante. Após comprovar a resistência do filamento de fibra de carbono, conseguir explorar essa propriedade do insumo foi a prioridade. Como todo projeto, o desenvolvimento partiu de rabiscos no

papel, usando ideias de um projeto anterior. O ponto de partida foi “o que não se deve fazer”. A Figura 26 apresenta uma prótese desenvolvida em uma disciplina de projeto de produto, idealizada para a mesma demanda do projeto atual. Teoricamente, o mecanismo projetado para a garra no remo funcionaria, mas o restante da prótese não seria capaz de aguentar o esforço.



Figura 26– Prótese projetada antes do Trabalho de Conclusão de Curso  
Fonte: o autor

Como a amputação da pessoa foi uma desarticulação de punho, a prioridade foi desenvolver um mecanismo capaz de agarrar o remo e fazer o movimento próximo do que um punho conseguiria desempenhar. Usar motores para que a mão fechasse sozinha não foi cogitado, pois teria que ser muito avançado tecnologicamente e impermeável, o que acarretaria em alto custo.

A essência do desenvolvimento deste projeto foi a exploração da forma para que a prótese desempenhasse sua função. O sistema de pegada foi desenvolvido com base nos princípios de uma gangorra, que consiste de uma reta apoiada sobre um eixo, fazendo com que enquanto um dos pontos extremos da reta está elevado o outro estará embaixo. Quando a alavanca está para baixo a mão fica aberta e quando a alavanca é puxada a mão se fecha, fazendo com que a mão faça a pegada no remo como demonstrado no sketch da Figura 27.

O outro mecanismo foi analisado com base na rotação de uma esfera sobre o seu próprio eixo. A esfera foi a forma geométrica encontrada para substituir o movimento

do punho, uma vez que é capaz de reproduzir todos os ângulos que da articulação do punho, unindo isso ao dispositivo de pesada idealizado na Figura 28.

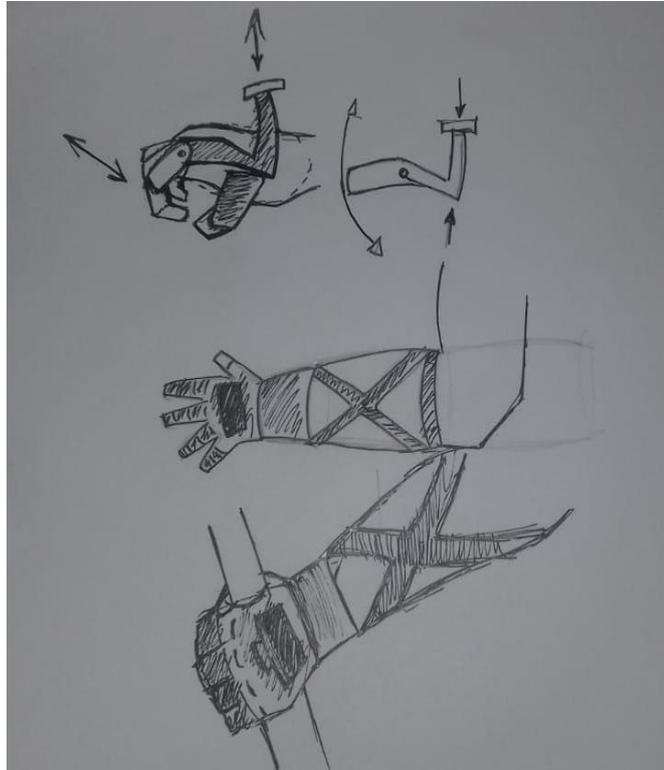


Figura 27 – Sketch dos mecanismos da prótese.  
Fonte: o autor.

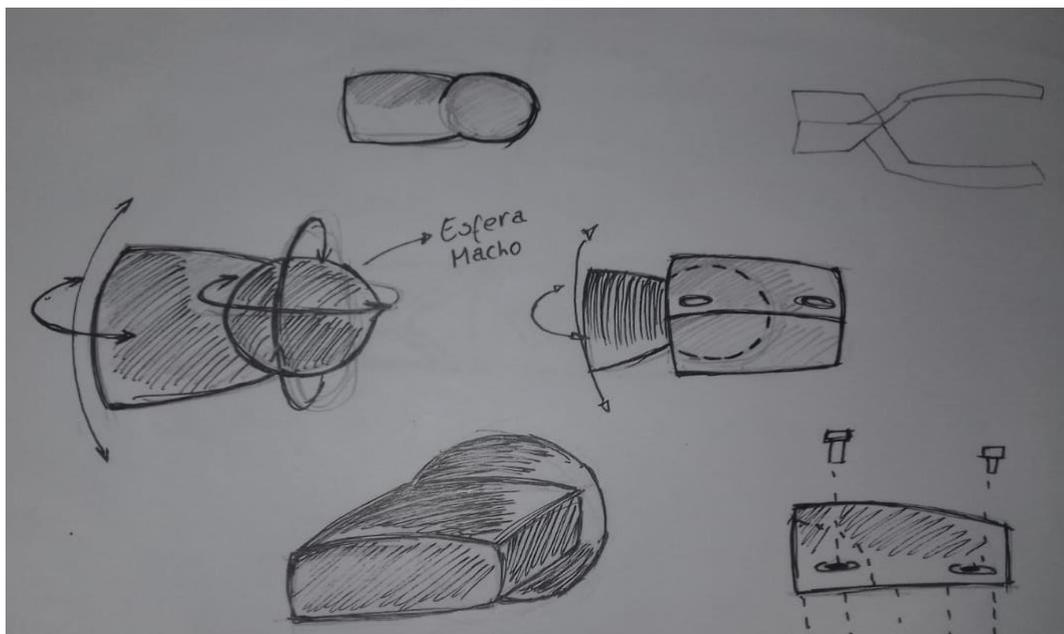


Figura 28 – Sketch do mecanismo da prótese.  
Fonte: o autor.

A prótese já seria capaz de reproduzir todos os movimentos necessários para execução das remadas. Mas uma questão surgiu. Como unir esse punho artificial ao resto da prótese, levando em consideração que esse punho iria sofrer todo o esforço dos movimentos que seriam feitos durante as remadas? Imaginei essa peça teria que ser removível para que fosse fácil e rápida a manutenção, como representada na Figura 29. Então, foi notado que para a esfera conseguir realizar o movimento ao redor do próprio eixo, era necessário um encaixe que também tivesse a forma esférica. Com base nisso, um acoplador foi fixado ao redor da cápsula até a extremidade da prótese, onde teria um acoplador do punho artificial com a mão (Figura 28), tornando possível o mecanismo que faz a pegada no remo.

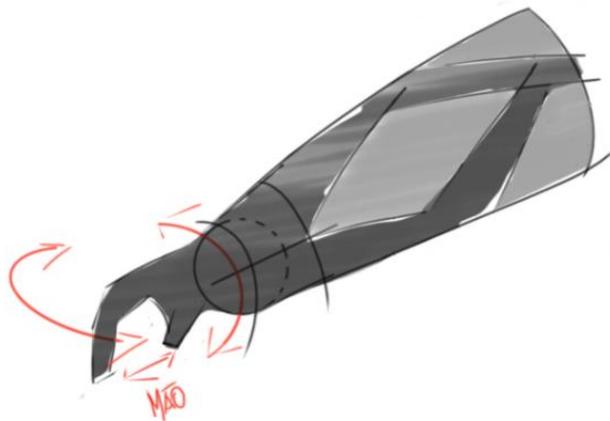


Figura 29 – Sketch da prótese.  
Fonte: o autor

### *Prótese*

Depois dos mecanismos idealizados, a modelagem 3D foi iniciada com o uso do *Blender*, por ser um programa *opensource* e de modelagem orgânica (poligonal). A cápsula foi modelada com a utilização de um *plugin* do *Blender* de *retopology*, que faz automaticamente o contorno da superfície selecionada. O resultado ilustrado na Figura 30 é um modelo 3D fiel a superfície escaneada, porém para que a superfície do modelo 3D seja suave igual ao do escaneamento, uma quantidade de linhas

traçadas com o plugin de *retopology* deve ser elevada, para que a malha gerada seja fina o suficiente para se deformar a cada saliência da superfície.

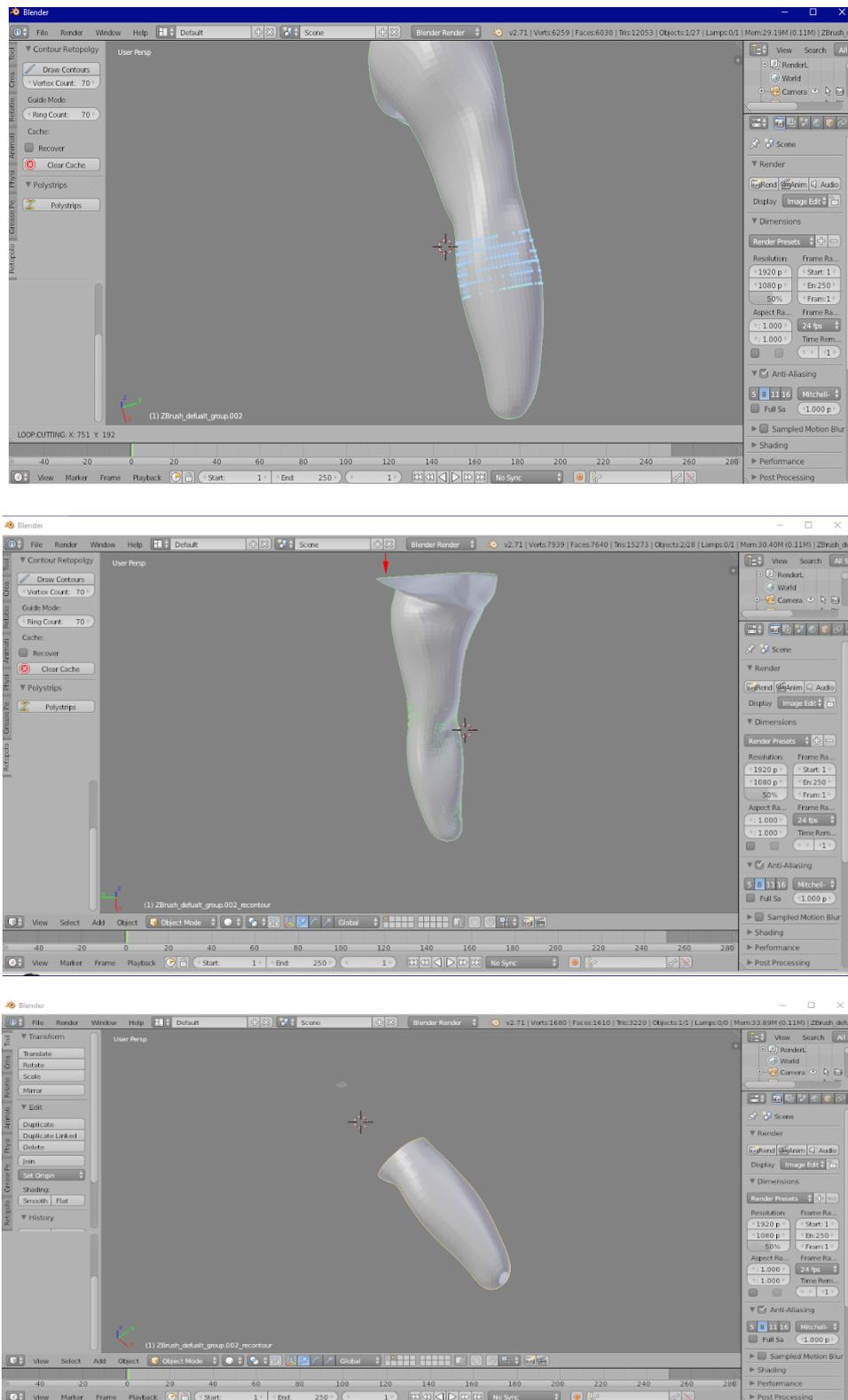


Figura 30 – Processo de modelagem da prótese.  
Fonte: o autor

Houve uma tentativa de modelagem dessa prótese no software *Fusion 3D*, mas o programa não possui as qualidades necessárias para que se possa fazer o modelo 3D em tal organicidade. Com isso, o *Blender* foi usado para modelar toda a prótese deixando somente para o *Fusion* peças que exigem precisão nas medidas, o que o *Blender* não consegue fazer com qualidade.

Um cilindro foi colocado na extremidade da cápsula. Diante disso, o negativo foi gerado a partir da interseção entre o cilindro e a cápsula; e gerado, também, o negativo de uma esfera para que a mão também fosse acoplada no conector. Depois disso, a modelagem de uma estrutura em formato de uma amarra foi feita para que o conector não escapasse da cápsula durante as remadas (Figura 31).

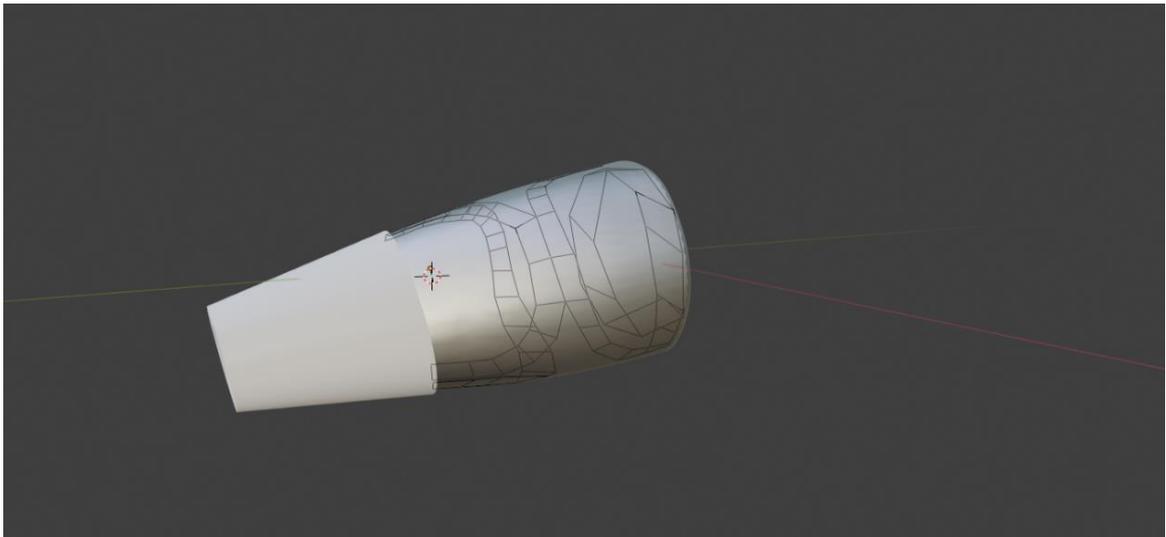


Figura 31 – Processo de modelagem da prótese.  
Fonte: o autor.

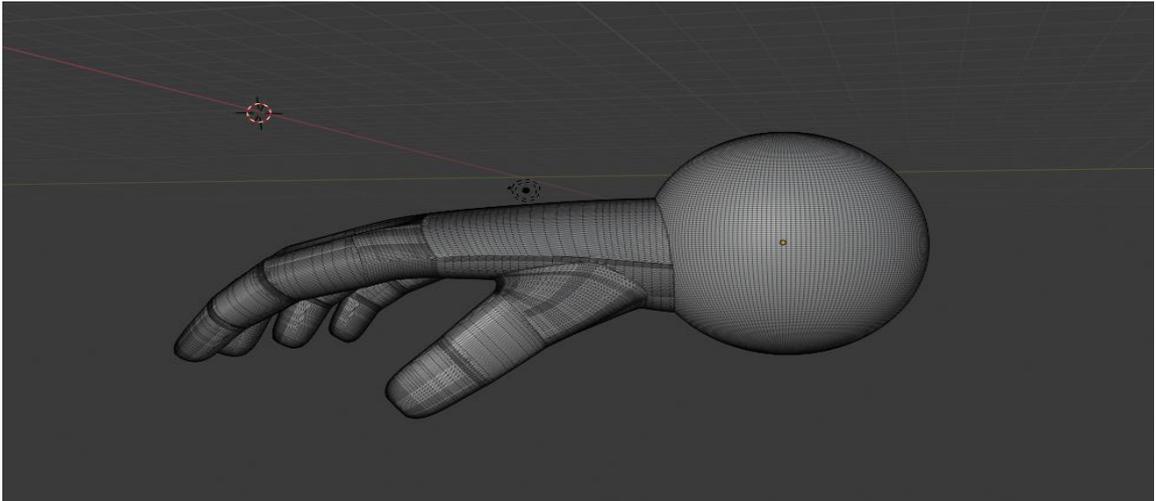


Figura 32– Processo de modelagem da prótese.  
Fonte: o autor.

Para a mão, uma esfera foi mesclada a um modelo 3D de uma mão de onde será modelado o mecanismo de pegada.

Na Figura 35 é demonstrado o resultado final da prótese, sem os mecanismos de pegada.

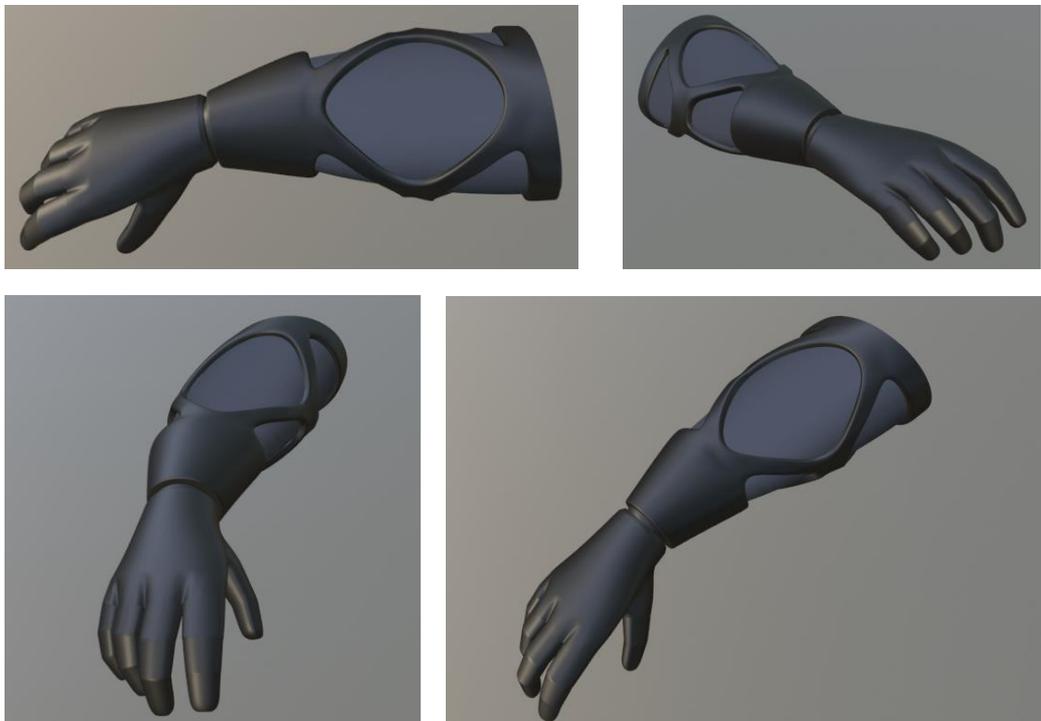


Figura 33 – Prótese sem o mecanismo de pegada.  
Fonte: o autor.

O modelo 3D de uma prótese para amputados de desarticulação de punho é fabricada em prototipagem rápida com o uso de filamento de fibra de carbono para a prática de remo e canoagem em alto desempenho. O intuito é que o usuário possa usar o esporte como auxílio contra a depressão e para que se aproprie, novamente, das funções do seu corpo. A prótese (Figura 36) contém dois mecanismos de pegadas diferentes, possibilidade proporcionada pela modulação.



Figura 34– Prótese com o mecanismo de pegada.

Fonte: o autor.

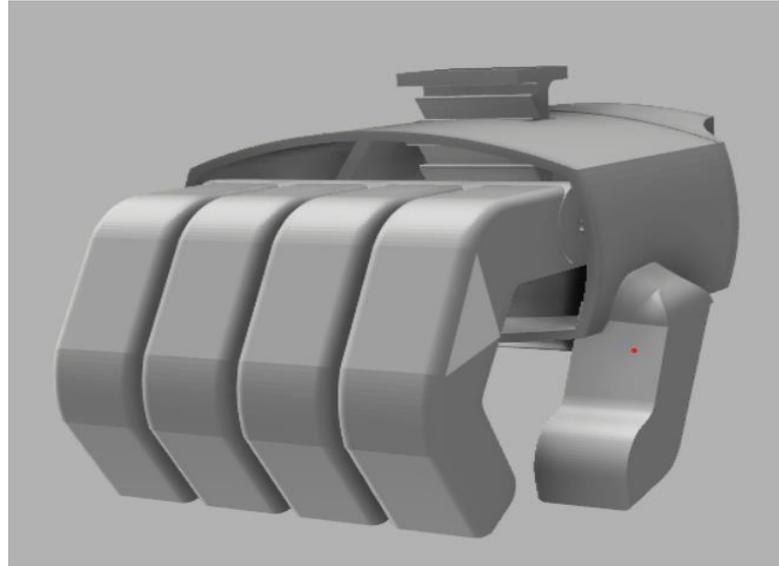


Figura 35 – Mecanismo de pegada.  
Fonte: o autor.

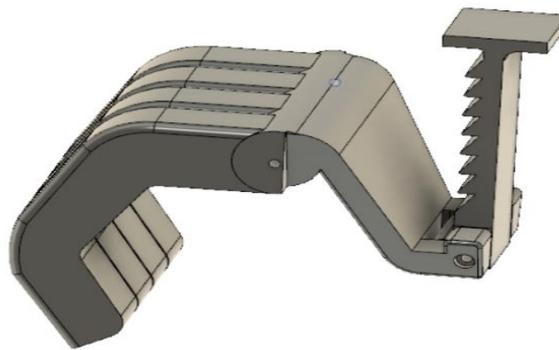


Figura 36 – Mecanismo de pegada.  
Fonte: Autor

Esse mecanismo funciona usando uma cremalheira e uma trava, então o usuário colocaria a mão protética no cano do remo e puxaria a cremalheira até que a pegada se tornasse firme travando no local. O segundo mecanismo seria basicamente o mesmo da prótese mostrada anteriormente, na figura 26 que usa dois ganchos contrários e onde o usuário colocaria o remo entre os ganchos e giraria até em direção as aberturas dos ganchos assim fazendo a trava do remo na prótese.



Figura 37 – Prótese com segunda opção de mecanismo de pegada.  
Fonte: Autor



Figura 38 – Prótese com segunda opção de mecanismo de pegada  
Fonte: Autor



Figura 39– Prótese com segunda opção de mecanismo de pegada  
Fonte: Autor

Porem só foi impresso a prótese sem o mecanismo de pegada, mas foi impresso o mecanismo de pegada que usa cremalheira e uma trava para fixar a mão mecânica no remo, como mostra nas figuras 37, 38 e 39.



Figura 40 – Prótese impressa.  
Fonte: o autor



Figura 41 – Protótipo impresso do mecanismo de pegada.  
Fonte: Autor



Figura 42 – Protótipo impresso do mecanismo de pegada.  
Fonte: o autor.

## CONCLUSÃO

Diante o desenvolvimento desse projeto, foi entendido que o papel do designer vai além do que apenas projetar artefatos belos e caros. O design tem a capacidade de se unir a outras áreas e conceber coisas significativas a partir dessa união. Talvez o design seja o campo de estudo e atuação mais empático que existe por conseguir se colocar no lugar de outras pessoas e projetar. Conseguir levar o bem-estar para quem se projeta é uma tarefa complexa, pois não é apenas com a entrega de um produto que essa pessoa vai conseguir superar seus problemas.

Para se levar bem-estar para pessoas que sofreram alguma amputação, o primeiro passo para mim foi ser empático, me colocar no lugar dessas pessoas e o que essa perda representaria para mim. Procurei entender que, após a perda, o contexto da vida mudaria totalmente. Se a amputação fosse nos membros inferiores, a mobilidade seria o grande desafio, pois não poderia mais correr, dançar, andar de bicicleta e, se fosse nos membros superiores, não poderia mais desenhar, jogar (dependendo do nível da amputação), abraçar, ergue coisas e dirigir. Após essa reflexão, buscar imaginar o que traria bem-estar para uma pessoa que sofreu amputação no membro superior foi a primeira etapa nesse caminho.

Acredito que a prática esportiva traz de volta a motivação para continuar a viver com saúde física e mental e tornar melhor a condição física de pessoas que sofrem amputação nos membros para tornar possível que ela pratique algum esporte é uma das diversas responsabilidades e tipo de atuação do design. Este tipo de atuação incrementa tanto a área da saúde quanto a do esporte que, neste caso, serve como ferramenta para combater a depressão. O outro aspecto relevante considerado neste projeto e que contribui com o atendimento de uma parcela maior de pessoas, é a questão financeira envolvida. Diminuir, consideravelmente, o custo desse tipo de artefato proporciona a capacidade de aquisição para uma gama da população que, na maioria das vezes, é desconsiderada nesses processos.

Quanto à contribuição para a área do design, acredito que consegui mostrar a importância da empatia e da observação do ser humano como um todo integrado em seus aspectos físico, mental e social, para desenvolver projetos, além de tornar acessível e, por que não, popular a tecnologia computacional da impressão 3D.

## REFERÊNCIAS

ANGELO, D. L. **O impacto do exercício físico na depressão e ansiedade**, s.d.

BERSCH, M. L. S. E. R. assistiva tecnologia e educação. **O que é Tecnologia Assistiva?**, s.d. Disponível em: <[assistiva.com.br/tassistiva.html](http://assistiva.com.br/tassistiva.html)>. Acesso em: 02 novembro 2019.

CANALTECH. **O que é open source**, s.d. Disponível em: <[canaltech.com.br/produtos/O-que-e-open-source](http://canaltech.com.br/produtos/O-que-e-open-source)>. Acesso em: 05 outubro 2019.

FLUSSER, V. **O mundo codificado**. [S.l.]: Cosac & Naify, 2007.

GABRIEL BRUNO GALVAN, M. L. T. M. A. Estudo de Psicologia. **Corpo e identidade: reflexão acerca da vivência de amputação**, Campinas, setembro 2009.

LEGNAIOLI, S. ecycle. **Movimento Maker: um jeito de praticar o faça você mesmo**, s.d. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/movimento-maker-faca-voce-mesmo-diy.html>>. Acesso em: 23 outubro 2019.

LIPPERT, L. S. **Cinesiologia Clínica e Anatomia**. 5. ed. [S.l.]: Guanabara Koogan, 2013.

MOREIRA, J. C. C. efdeportes. **Canoagem: análise cinesiológica da remada básica**, 2005. Disponível em: <<https://www.efdeportes.com/efd83/canoa.htm>>. Acesso em: 17 outubro 2019.

MOVIMENTO, A. A. E. ALUAUTO: Alumínio em Movimento. **BMW anuncia planta de manufatura aditiva**, s.d. Disponível em: <[aluauto.com.br/bmw-anuncia-planta-de-manufatura-aditiva/](http://aluauto.com.br/bmw-anuncia-planta-de-manufatura-aditiva/)>. Acesso em: 14 novembro 2019.

MUNDOVESTIBULAR. **O que faz um estudante de medicina?**, c2007. Disponível em: <[mundovestibular.com.br/cursos/medicina](http://mundovestibular.com.br/cursos/medicina)>. Acesso em: 16 setembro 2019.

RODRIGUES, R. engiobra. **O Que Faz o Engenheiro Civil Exatamente**, s.d. Disponível em: <<https://engiobra.com/engenharia-civil/engenheiro-civil/>>. Acesso em: 18 setembro 2019.

STEPHANIE DI MARTINO SABINO, R. M. T. A. C. G. P. **Ansiedade, depressão e desesperança em pacientes amputados de membros inferiores**, 15 outubro 2013.

WAGNER DA SILVA BATISTA, F. H. O. Exercício físico e depressão: relação entre o exercício físico e o grau de depressão. **Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício**, São Paulo, v. volume 7, n. 42, p. 474-482, Dezembro 2013. ISSN 1981-9900.