UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

Bruno Borges da Silva

O CO-DESIGN NA PRODUÇÃO DE UMA PRÓTESE TRANSRADIAL MIOELÉTRICA DE BAIXO CUSTO DESENVOLVIDA POR MEIO DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA

Bauru - SP
2020

Bruno Borges da Silva

O CO-DESIGN NA PRODUÇÃO DE UMA PRÓTESE TRANSRADIAL MIOELÉTRICA DE BAIXO CUSTO DESENVOLVIDA POR MEIO DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Design, no Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, linha de pesquisa de Ergonomia, sob orientação do Prof. Dr. Luis Carlos Paschoarelli.

Bauru - SP
2020

SILVA, Bruno Borges.
O Co-design na produção de uma Prótese Transradial Mioelétrica de baixo custo desenvolvida por meio de prototipagem rápida / Bruno Borges da Silva. 2020. :91f.

Orientador: Luis Carlos Paschoarelli

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2020.

Palavras chave: 1. Co-design 2. Prótese Mioelétrica 3. Membro superior 4. Tecnologia Assistiva 5. Impressão 3D.

UAL PAULISTA

Campus de Bauru

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE BRUNO BORGES DA SILVA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 27 dias do mês de agosto do ano de 2020, às 10:00 horas, no(a) via sistemas de videoconferência e outras ferramentas para comunicação a distância, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Titular LUIS CARLOS PASCHOARELLI - Orientador(a) do(a) Programa de Pós-Graduação em Design / FAAC/UNESP/Bauru, Prof. Dr. FAUSTO ORSI MEDOLA do(a) Programa de Pós-Graduação em Design / FAAC/UNESP/Bauru, Profª. Drª. EMILENE ZITKUS DE ANDRADE do(a) Loughborough University, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de BRUNO BORGES DA SILVA, intitulada **O CO-DESIGN NA PRODUÇÃO DE UMA PRÓTESE TRANSRADIAL MIOELÉTRICA DE BAIXO CUSTO DESENVOLVIDA POR MEIO DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Titular LUIS CARLOS PASCHOARELLI

Prof. Dr. FAUSTO ORSI MEDOLA - **realizado via videoconferência.**

Profª. Drª. EMILENE ZITKUS DE ANDRADE - **realizado via videoconferência.**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais, Arnon e Rosemeire, que sempre me incentivaram e me apoiaram em toda minha vida acadêmica.

A minha namorada Denise Caputo, pelo companheirismo que tem sempre demonstrado.

A UNESP, FAAC, em especial ao PPG-Design, por todo conhecimento e vivência durante todo esse período.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luis Carlos Paschoarelli, pelo auxilio e amizade durante toda minha permanência na universidade.

Aos integrantes e amigos do Laboratório de Ergonomia e Interfaces, em especial Rodolfo Porsani, Guilherme Bertolaccini, Larissa Ferro e Natham Martins.

Aos órgãos de fomento CNPQ e CAPES.

“Para as pessoas sem deficiência a tecnologia torna as coisas mais fáceis.
Para as pessoas com deficiência, a tecnologia torna as coisas possíveis”
(RADABAUGH, 1993).

RESUMO

Com o grande avanço da ciência nas últimas décadas, o desenvolvimento de próteses que auxiliam as Pessoas com Deficiência contou com diferentes formas de abordagem metodológicas e aplicações de novas tecnologias nos campos dos materiais; dos sistemas e da contribuição social. Diferentes alternativas de próteses de membros superiores estão disponíveis no mercado, porém, a maioria dessas opções levam em conta especialmente as questões de funcionalidade do produto, em detrimento aos desejos e aspirações do usuário. Além disto, apresentam elevado custo, especialmente se considerarmos o contexto econômico dos países em desenvolvimento. Portanto, equacionar os fatores que envolvem o design de próteses parece ser de suma importância para garantir a qualidade funcional do produto; as expectativas dos usuários - especialmente se diminuir os estigmas que este artefato carrega e o custo do produto; contribuindo para melhoria da sua usabilidade e minimizando as taxas de abandono de próteses. O objetivo da presente pesquisa foi relatar um estudo de caso em que se aplicou as técnicas do Co-design - com a participação direta de um potencial usuário, com malformação congênita no membro superior esquerdo - em conjunto com as tecnologias de escaneamento e impressão 3D, no desenvolvimento de uma prótese transradial mioelétrica de baixo custo. Com isto, foi possível perceber em quais etapas do projeto o potencial usuário apresentou efetiva participação e como isto influenciou o design do produto. Embora fosse o primeiro contato do participante com este tipo de tecnologia assistiva o resultado foi positivo, demonstrando que a inclusão do usuário/potencial usuário durante todo o processo de desenvolvimento de design de produto possibilita a criação de um protótipo melhor, no que corresponde a eficácia, eficiência e satisfação.

Palavras chaves: Co-design, Prótese Mioelétrica, Membro superior, Tecnologia Assistiva, Impressão 3D.

ABSTRACT

With the great advance of science in the last decades, the development of prostheses that help People with Disabilities had different ways of approaching methodologies and applications of new technologies in the fields of materials; systems and social contribution. Different alternatives for upper limb prostheses are available on the market, however, most of these options take into account especially the issues of product's functionality, to the detriment of the user's wishes and aspirations. In addition, they are expensive, especially considering the economic context of developing countries. Therefore, addressing the factors that involve the design of prostheses seems to be of paramount importance to guarantee the functional quality of the product; the expectations of users - especially if it reduces the stigmas that this artifact carries and the cost of the product; contributing to improving its usability and minimizing prosthesis abandonment rates. The aim of this research was to report a case study in which the co-design techniques were applied - with the direct participation of a potential user, with congenital malformation in the left upper limb - together with the 3D scanning and printing technologies, in the development of a low-cost transradial myoelectric prosthesis. With this, it was possible to perceive in which stages of the project the potential user had an effective participation and how this influenced the product design. Although it was the participant's first contact with this type of assistive technology, the result was positive, demonstrating that the inclusion of the user/potential user throughout the product design development process allows the creation of a better prototype, in terms of effectiveness, efficiency and user satisfaction.

Keywords: Co-design, Myoelectric Prosthesis, Upper Limb, Assistive Technology, 3D Printing.

LISTA DE ABREVIATURAS

ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
CAD	*Computer Aided Design*
CAM	*Computer Aided Manufacturing*
CoD	Co-Design
DCU	Design Centrado no Usuário
EMG	Eletromiografia
FAAC	Faculdade de Arquitetura Artes e Comunicação
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LEI	Laboratório de Ergonomia e Interfaces
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PcD	Pessoas com Deficiência
PETG	Politereftalato de Etileno Glicol
PLA	Poliácido Láctico
PMS	Prótese de Membro Superior
PTM	Prótese Transradial Mioelétrica
TA	Tecnologia Assistiva
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TPU	Poliuretano Termoplástico

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Níveis de amputação 25
Figura 2: Impressora 3D 28
Figura 3: Scanner 3D 29
Figura 4: Prótese Mecânica impressa em 3D 33
Figura 5: Prótese Transradial Mioelétrica 2018 34
Figura 6: Digitalização do membro superior direito do participante. 36
Figura 7: Digitalização do membro superior esquerdo do participante. 36
Figura 8: Painel de referências. 37
Figura 9: Teste mioelétrico 1 38
Figura 10: Teste mioelétrico 2 39
Figura 11: Sketches iniciais do encaixe do coto 40
Figura 12: Sketches iniciais da prótese 41
Figura 13: Primeiro modelo do encaixe do coto 42
Figura 14: Segundo modelo do encaixe do coto 42
Figura 15: Terceiro modelo de encaixe do coto 43
Figura 16: Modelagem do quarto modelo de encaixe do coto 43
Figura 17: Quarto modelo de encaixe do coto 44
Figura 18: Modelo final aprovado pelo participante 44
Figura 19: Sistema interno 1 46
Figura 20: Sistema interno 2 47
Figura 21: Sistema interno 3 48
Figura 22: Processo de produção do *Liner* 50
Figura 23: Resultado final do Liner com silicone Ecoflex 51
Figura 24: Processo de produção da pega 51
Figura 25: Mão com pega de silicone e chave tátil 52
Figura 26: Adesivos 53
Figura 27: Prótese com textura de fibra de carbono 61
Figura 28: Prótese com ilustração 61
Figura 29: Botão liga/desliga 62
Figura 30: Cavidade da bateria 62
Figura 31: Prótese completa, com *Liner* e sensor EMG 62

Figura 32: Preensão de objeto pequeno. 67
Figura 33: Teste no supermercado 68
Figura 34: Teste Quickdash adaptado, sem a prótese..... 70
Figura 35: Teste QuickDash adaptado, com a prótese 71
Figura 37: Participante com a prótese 76

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 13

1.1 Justificativas 14

1.2 Objetivo 16

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 18

2.1. Ergonomia, Design Ergonômico e Usabilidade 18

2.2. Co-design 21

2.3. Prototipagem Rápida, Impressão 3D e Prótese Transradial Mioelétrica 23

3 MATERIAIS E MÉTODOS 27

3.1 Características do Estudo, Aspectos Éticos e do Participante 27

3.2 Instrumentos e Materiais 27

3.2.1 Instrumentos Metodológicos 27

3.2.2 Materiais da Prótese 29

3.3 Procedimentos Metodológicos: Co-design 33

3.3.1 Motivação 33

3.3.2 Seleção do participante e questões éticas 34

3.3.3 Entrevista inicial 35

3.3.4. Escaneamento 35

3.3.5 Painel Semântico 37

3.3.6 Programação e testes mioelétrico 38

3.3.7 Sketches iniciais do encaixe do coto e da carenagem da prótese 40

3.3.8 Teste com os modelos de encaixe 41

3.3.8 Estrutura interna da prótese 45

3.3.9 Estrutura da mão 48

3.3.10 *Liner* 49

3.3.11 Pega 51
3.3.12 Envelopamento 52
3.4 Procedimentos Metodológicos: Teste de usabilidade 53
3.4.1. Usabilidade - Entrevista 53
3.4.2. Usabilidade - Diário de Utilização 54
4 RESULTADOS 56
4.1 Co-design no desenvolvimento do produto 56
4.2.1 Resultados de Usabilidade - Entrevista 65
4.2.2 Resultados de Usabilidade - Diário de utilização 66
4.2.3 Resultados de Usabilidade - QuickDASH (adaptado) 69
5 DISCUSSÃO 74
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 79
APÊNDICE A 83
APÊNDICE B 85
APÊNDICE C 86
APÊNDICE D 88

INTRODUÇÃO

Com o grande avanço da ciência nas últimas décadas, o desenvolvimento de próteses que auxiliam as Pessoas com Deficiência (PcD) contou com diferentes formas de abordagens metodológicas e aplicações de novas tecnologias nos campos dos materiais, dos sistemas e da contribuição social.

As próteses são dispositivos projetados para substituição de um membro do corpo humano ou qualquer de suas partes com necessidade de reposição ou readaptação (FERNANDES; LUFT; GUIMARÃES, 1992), e representam um dos principais artefatos que caracterizam as Tecnologias Assistivas (TA); e estas são fundamentais para a reabilitação e integração social das PcD.

Neste sentido, o emprego de novos sistemas funcionais e novos métodos de desenvolvimento de produto têm surgido como alternativas para tornar as próteses mais eficientes, eficazes, confortáveis e aceitáveis, tanto pelos próprios usuários, quanto por aqueles indivíduos que fazem parte do seu contexto social e imprimem na PcD uma condição estigmatizada.

Diferentes alternativas de próteses de membros superiores (PMSs) (passivas, mecânicas e mioelétricas) estão disponíveis no mercado, porém, a maioria dessas opções levam em conta especialmente as questões de funcionalidade do produto, em detrimento aos desejos e aspirações do usuário. Além disto, apresentam elevado custo, especialmente se considerarmos o contexto econômico das sociedades dos países periféricos, nos quais o Brasil se encontra.

Portanto, equacionar os fatores que envolvem o design de próteses se mostram ser de suma importância para garantir a qualidade funcional do produto; as expectativas dos usuários - especialmente se diminuir os estigmas que este artefato carrega; e diminuir o custo do produto, contribuindo para seu pleno uso, com segurança, conforto e satisfação.

Assim, o presente estudo apresenta uma proposta de desenvolvimento de uma prótese transradial mioelétrica (PTM), baseado em métodos do Co-Design (CoD) e tecnologias de prototipagem rápida, visando oferecer uma alternativa para este artefato.

1.1 Justificativas

Nas últimas décadas é possível notar uma crescente preocupação mundial em reduzir as desigualdades sociais, étnicas e de gênero, assim como proporcionar mais acessibilidade para PcD, a fim de promover melhor qualidade de vida a todos os indivíduos.

A deficiência é um tema de direitos humanos e como tal obedece ao princípio de que todo ser humano tem o direito de desfrutar de todas as condições necessárias para o desenvolvimento de seus talentos e aspirações, sem ser submetido a qualquer tipo de discriminação (SECRETARIA NACIONAL DE PROMOÇÃO DOS DIREITOS DA PESSOA COM DEFICIÊNCIA, 2012).

Segundo os dados de 2011 da Organização Mundial da Saúde (OMS) um bilhão de pessoas vivem com alguma deficiência (uma em cada sete pessoas no mundo). A Organização das Nações Unidas (ONU) complementa esse dado ressaltando que 80% das pessoas que vivem com alguma deficiência residem em países em desenvolvimento. Além disso, ter alguma deficiência aumenta o custo de vida em cerca de um terço da renda, em média, e 50% das PcD não conseguem pagar por serviços de saúde (PORTAL NAÇÕES UNIDAS, s. d.).

No Brasil, de acordo com Censo Demográfico realizado em 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), cerca de 45.623.910 de pessoas possuem pelo menos algum tipo de deficiência, quer seja visual, auditiva, motora, intelectual ou mental. Essa quantidade corresponde 23,92% de PcD, quase ¼ da população brasileira, sendo que a deficiência motora é o segundo tipo mais recorrente, afetando 7% dos brasileiros.

Ainda segundo o IBGE, quando comparados os fatores sociais de pessoas com e sem deficiência, existem mais deficientes nos quadros de analfabetismo, desempregados e nos quadros raciais em pessoas negras e pardas, demonstrando que o grau de instrução, poder aquisitivo e preconceito estão relacionados a essa quantidade. Logo, a deficiência, muitas vezes, impede a pessoa de ter acesso à educação e trabalho.

Essas dificuldades geradas pelas deficiências podem ser amenizadas por meio da TA no desenvolvimento e produção de órteses e próteses. Com decorrer do tempo, diversos tipos de próteses foram desenvolvidos e aprimorados, sendo que seus benefícios estão concentrados no cuidado integral com a saúde da pessoa

amputada, tendo como resultado final a manutenção do seu bem-estar físico e mental, bem como o desenvolvimento da sua autonomia e inclusão social (BRASIL, 2013). Neste sentido, Da Luz (2010) afirma que a utilização de uma prótese oferece uma melhor imagem corporal, ajudando o indivíduo a desenvolver maior confiança em suas habilidades físicas, além de melhorar sua qualidade de vida.

Outro fator que representa um problema quando se desenvolve uma nova prótese é sua rejeição ou elevada taxa de abandono. BIDDISS e CHAU, (2007a), levantaram dados de artigos publicados entre 1980 e 2006 que apontaram as taxas de rejeição de PMSs sendo da ordem de 35% (próteses elétricas) a 45% (próteses mecânicas) entre a população pediátrica. Já entre a população adulta, esta taxa de rejeição variou de 23% (próteses elétricas) e 26% (próteses mecânicas). Em relação às próteses elétricas, os autores indicam que 91% das rejeições deve-se ao desconforto, à falta de funcionalidades e à durabilidade. Além disso, 72% dos que rejeitaram suas próteses considerariam utilizá-las novamente caso fossem feitas melhorias, principalmente no que se refere ao conforto. Os mesmos autores, em outro estudo (BIDDISS e CHAU, 2007b), observaram outros fatores que envolvem a rejeição de PMSs: Indivíduos infantis, jovens e idosos apresentaram as maiores taxas de rejeição; mulheres (39%) foram mais propensas a rejeitar uma prótese que os homens (23%); e amputações radiais distais tiveram maior rejeição em comparação as proximais.

Figliolia (et al., 2019) analisaram o desenvolvimento de uma PMS mecânica, em que um dos protótipos foi rejeitado devido ao elevado peso, tamanho, dificuldade de uso e carência estética. McFarland (et al., 2010) parecem corroborar com este achado, pois afirmam que dor, desconforto e falta de funcionalidade são frequentemente reportados como causas de rejeição das próteses. Portanto, esses fatores deveriam ser considerados no design deste tipo de TA.

Vários dos autores citados anteriormente, apontam que a coparticipação do usuário no design de artefatos de TA podem aumentar o sucesso do produto. No campo do Design o trabalho criativo em conjunto e colaborativo com pessoas sem o conhecimento da área é denominado CoD (SANDERS, STAPPERS, 2008).

De acordo com Sanches de la Guia *et al.* (2017) os projetos participativos, desenvolvidos a partir do CoD, são reconhecidos como uma mudança fundamental na maneira como os designers compreendem as necessidades funcionais e emocionais dos usuários. Com o CoD o usuário passa a pertencer aos atores do

design, demonstrando seu domínio pleno sobre o conhecimento da experiência de uso (Visser et al., 2005). Por outro lado, o CoD ainda está em evolução, havendo uma carência de conhecimento prático sobre como ele se processa, especialmente se for considerado a especificidade de um artefato de TA. No caso das próteses, Figliolia (*et al.*, 2019), destacam a importância da participação colaborativa do usuário final para que os resultados deste tipo de artefato sejam positivos.

A aplicação dos princípios do CoD no desenvolvimento de novas próteses pode contar com um importante aliado metodológico, que é o emprego de tecnologias de prototipagem rápida, incluindo o escaneamento e a impressão 3D. De acordo com Kate, Smit e Breedveld (2017), a aplicação dessas tecnologias para este tipo de TA (p.e., as PMS) trazem as seguintes vantagens: liberdade de criar geometrias complexas; produção rápida e com baixo custo; e personalização dos produtos, como por exemplo a possibilidade de se aplicar diferentes encaixes, cores, formas e tamanhos. Ainda com relação às próteses de membro superior, Vujaklia e Farina (2018) observaram que comunidades de prototipagem rápida tem influenciado diretamente o desenvolvimento de membros artificiais, apesar da maioria das soluções ainda estarem voltadas para braços robóticos em vez de aplicações protéticas. Neste sentido, os autores apontam que o grande desafio de se desenvolver próteses funcionais está relacionado às diferentes funções do Design, não bastando apenas transformar aplicações robóticas em próteses, que muitas vezes utilizam soluções rudimentares, volumosas e com pouca força. Os autores destacam ainda que a maioria dos dispositivos comerciais são fornecidos aos pacientes juntamente com um serviço profissional de adaptação protética, que geralmente levam várias sessões para obter conforto e função ideais, influenciando diretamente nos custos. Assim, a utilização da impressão e o escaneamento 3D resulta em uma produção mais rápida, precisa e econômica.

1.2 Objetivo

O objetivo da presente pesquisa foi relatar um estudo de caso em que se aplicou as técnicas do CoD - com a participação direta de um potencial usuário - e tecnologias de escaneamento e impressão 3D, no desenvolvimento de uma PTM de baixo custo. Também analisar em quais etapas do projeto o participante apresentou efetiva participação e como isto influenciou o design do produto.

Dessa forma, como objetivos específicos propôs-se:

- Conhecer o estado da arte nas áreas e campos de conhecimento correlatos (usabilidade, CoD, tecnologias de prototipagem rápida) ao Design, à Ergonomia e TA;
- Aplicar as tecnologias de prototipagem rápida - escaneamento e impressão 3D - durante o desenvolvimento de uma PTM de baixo custo, a partir de procedimentos metodológicos baseados em CoD;
- Avaliar o uso do artefato (resultado tecnológico) com a participação de um potencial usuário.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Ergonomia, Design Ergonômico e Usabilidade

Uma das principais características dos seres humanos é sua capacidade cognitiva (inteligência) e, consequentemente, seu impacto na cultura e nos modos de interação social. Neste sentido, os artefatos - junto com outros elementos, como p.e. a comunicação - podem ser considerados um grande contributo cultural da inteligência humana, atualmente fundamentais para sua a presença humana na face da terra.

Vestuários, sistemas de informação, veículos, estruturas ambientais, mobiliário, todos esses diferentes artefatos, para serem adequados aos seres humanos, devem ser desenvolvidos sob os preceitos e métodos do Design.

Para SCHULMANN (1994), design é um método criador e integrador com uma abordagem multidisciplinar. O designer pode ser considerado um especialista na análise e resolução de problemas relacionados ao desenvolvimento de produtos. Ao criar um objeto, além da estética, é preciso que este comunique uma mensagem, possibilitando que as pessoas identifiquem as características de qualidade, função e aspirações do usuário (seu proprietário).

Lobach (2001) define design como a materialização de uma ideia em projeto ou modelos, resultando em um produto industrial passível de produção em série. Esse produto deve ser pensado e desenvolvido visando a satisfação dos desejos e necessidades do indivíduo.

Atrelado a área do design, a ergonomia torna-se um importante fator para o desenvolvimento de produtos. Dul & Weerdmeester (2004) definem essa conexão afirmando que a ergonomia é a ciência que tem como objetivo melhorar a segurança, saúde, conforto e eficiência do trabalho aplicado em máquinas, equipamentos, sistemas e tarefas.

Iida e Guimarães (2016), definem ergonomia - ou Fatores Humanos, como o estudo da adaptação do trabalho ao homem. O trabalho nesse caso, segundo os autores, tem uma visão mais ampla, abordando não somente o trabalho executado com máquinas e equipamentos, como também todas as situações que ocorrem relacionamento entre o ser humano e uma atividade produtiva.

Essa definição é complementada pela Associação Brasileira de Ergonomia (ABERGO), que entende a ergonomia como uma disciplina científica preocupada com a interação entre homem e outros elementos de um sistema, sendo que sua aplicação se dá por meio de “teorias, princípios, dados e métodos de projeto com o objetivo de otimizar o desempenho do ser humano e de todo o sistema” (IIDA, GUIMARÃES, p.4, 2016)

O design ergonômico surge como uma subárea da Ergonomia e, de acordo com Paschoarelli (2011), caracteriza-se pelo emprego de conhecimentos ergonômicos no projeto de artefatos tecnológicos, com a finalidade de desenvolver interfaces seguras, confortáveis, eficientes, efetivas e aceitáveis.

O ponto central do design ergonômico é a compreensão da interação usuário x interface tecnológica, definindo suas relações e desenvolvendo informações e parâmetros necessários ao projeto. Os princípios do design ergonômico têm como base a relação entre usabilidade e ergonomia de design, sendo que seus procedimentos metodológicos se destacam por desenvolver produtos através da compreensão da interação entre todos os aspectos humanos e variados dispositivos tecnológicos (PASCHOARELLI, 2011).

Portanto, para o mesmo autor, as metodologias de design ergonômico devem:

- ser um processo trans e multidisciplinar;
- envolver conhecimentos fisiológico, perceptivo e psicológico dos aspectos humanos na interface tecnológica;
- apoiar-se em abordagens epidemiológicas ou laboratoriais na detecção e avaliação dos problemas ergonômicos;
- associar desenvolvimento e criatividade, com avaliação de produtos e sistemas, fazendo uso de mock-ups ou protótipos físicos.

Paschoarelli (2011), conclui que, para essa metodologia, é importante considerar a integração direta dos usuários, os quais contribuirão para a operacionalização do projeto no aprimoramento e validação das soluções focadas na usabilidade. Podemos encontrar na literatura diferentes definições de usabilidade, com interpretações específicas para cada área profissional. Contudo, a semelhança entre essas definições está no foco em um usuário desenvolvendo alguma atividade, utilizando um produto ou sistema (TULLIS, ALBERT, 2008).

Nielsen (1993) ressalta a importância da usabilidade para verificar se o sistema ou produto é bom o suficiente para satisfazer as necessidades e requisitos dos usuários. Krug (2000), completa afirmando que este deve utilizar bem os produtos para seu propósito, sem frustrações, independentemente de suas habilidades ou experiências.

Nielsen (1993) afirma que a usabilidade é associada a cinco atributos:

- Deve ser fácil de aprender;
- Deve ser eficiente, para que seja possível um alto nível de produtividade;
- Deve ser fácil de lembrar, para que o usuário casual possa retornar ao sistema após um período de não usá-lo;
- Deve ter uma baixa taxa de erros;
- Deve ser agradável, para que os usuários fiquem satisfeitos ao usá-lo.

Uma definição formal sobre usabilidade, que pode ser aplicado no desenvolvimento de próteses, é a proposta pela ABNT NBR 9241-11, "a medida na qual um produto pode ser usado por usuários específicos para alcançar objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto específico de uso".Para Jordan (1998), os termos citado na norma podem ser definidos como:

Eficácia: se refere à extensão na qual uma meta é alcançada - usuário conseguir produzir resultados acima do objetivo - ou uma tarefa é realizada - conseguir ou não completa uma tarefa.

Eficiência: se refere à quantidade de esforço necessário para se atingir uma meta e quanto menos esforço, maior será a eficiência.

Satisfação: se refere ao nível de conforto que o usuário sente quando utiliza o produto e também ao nível de aceitação do produto pelo usuário para atingir as suas metas.

Para usuários de dispositivos protéticos, Resnik (2011) aponta que os atributos importantes de usabilidade devem incluir as funcionalidades obtidas durante o uso, facilidade de configurações, boa postura e mecânica corporal durante o uso do dispositivo, manutenção diária e reparos.

Osvalder e Bligård (2007) ressaltam a importância de envolver o trabalho com ergonomia e usabilidade em processo de desenvolvimento de produtos para a tecnologia médica, que cada vez mais oferece produtos de alta funcionalidade, recursos técnicos, eficazes, seguros e fáceis de usar. Ainda para os mesmos autores, para alcançar a alta usabilidade e boa ergonomia física, o envolvimento dos usuários é essencial e sua influência não pode ser negligenciada.

2.2. Co-Design

Tal como apresentado anteriormente, os artefatos são uns dos principais produtos da cultura humana, sendo essenciais para a vida humana atual. Entretanto, a criação e desenvolvimento de artefatos estão intimamente atrelados à evolução humana na face da terra.

Provavelmente, os primeiros artefatos (com função utilitária) surgiram a aproximadamente 3 milhões de anos atrás, com o Australopithecus afarensis manipulando pedaços de ossos e madeiras. Passaram-se alguns milhões de anos para que os artefatos evoluíssem, com fins utilitários aplicados na agricultura ou em manifestações religiosas (ocorrido a aproximadamente 10.000 anos). Desde então, os artefatos passaram a evoluir não apenas quanto a sua função, mas quanto ao seu modo de produção, até atingir o Século XIV com o Renascimento e Século XVIII com a Revolução Industrial, alcançando a característica industrializada dos artefatos.

A partir de então, o modo como os seres humanos interagem com os artefatos, também contribuiu para compreender suas características. Os artefatos passam a ser observados não apenas por suas funções utilitárias, mas também pela importância estética, procurando adequar a relação entre arte e indústria - surgimento da Bauhaus, em 1919, Alemanha. Após a Segunda Guerra Mundial, e com a reconstrução da Europa, os artefatos passaram a ser observados também por suas funções ergonômicas e simbólicas, representada academicamente pela Escola de Design de Ulm (Hochschule für Gestaltung Ulm - Hfg-Ulm, Alemanha). E no final do Século XX, com o aparecimento dos sistemas informacionais e a necessidade de massificação dos mesmos, surgem os princípios da Usabilidade e, enquanto método projetual, os princípios do Design Centrado no Usuário - DCU (final do século XX e início do século XXI).

De acordo com Abras et al. (2004), o DCU apresenta como pressuposto metodológico a identificação do problema e geração de soluções por meio de processos que envolvam usuários finais reais, colaborando com as necessidades de usabilidade exigidos. Já para Gulliksen (2005), o DCU caracteriza-se pela recomendação da participação do usuário durante todo o processo de criação do produto, ao invés de consulta-lo apenas quando o projeto já estiver finalizado, para que desta forma seja possível entender melhor quais as necessidades, desejos e comportamentos das pessoas que irão utilizar o produto.

Nos últimos anos, o DCU foi se aperfeiçoamento, decorrendo o surgimento do CoD. Kleinsmann (2006), define o CoD como um processo de uma equipe multidisciplinar que busca compartilhar os conhecimentos e conteúdos no processo resultando em um novo produto a ser projetado.

Os conceitos de DCU e CoD se aproximam muito por envolverem ativamente as pessoas a quem o design deve servir. Contudo, Sanders e Stappers (2008), apontam que essa diferença está no nível de envolvimento do usuário. Enquanto no DCU o envolvimento das pessoas restringe-se apenas às etapas de experimentação, a abordagem do CoD permite que os indivíduos participem ativamente do projeto como integrantes da equipe. Estes pesquisadores complementam essa definição, destacando que os atores envolvidos no projeto junto com os designers não precisam ter os conhecimentos de design, além disto, trabalham juntos em todo o desenvolvimento do projeto.

Visser *et al.* (2005) apontam que a análise da interação entre usuários e artefatos pode ocorrer por diferentes técnicas, as quais são utilizadas para se projetar novos produtos que atendam as verdadeiras necessidades e aspirações dos usuários; e o CoD permite à esses usuários sentirem que fazem parte do processo e que são os “especialistas” na experiência de uso, o que os torna muito mais envolvidos no processo; e os resultados muito melhor aceitos.

No desenvolvimento de artefatos para a área da saúde, o CoD é uma ferramenta fundamental para que os pacientes - usuários dos artefatos/sistemas - compartilhem as suas experiências, como verdadeiros expertises sobre o assunto (Donetto *et al.* 2015), permitindo incorporar essas ideias em novas propostas.

Particularmente na área da saúde, Blom e French (2018) propuseram o projeto de invólucros protetores de próteses transtibiais, que cumpria uma função estética, verificando a interação entre amputados e os fabricantes. Os resultados

foram apresentados na forma de invólucros personalizados, reafirmando a necessidade de se aplicar um processo colaborativo entre amputados e fabricantes, possibilitando alcançar a verdadeira expressão da identidade dos usuários.

Outro exemplo na área da saúde, envolvendo o desenvolvimento de sistemas de informação é descrito por Glasemann e Kanstrup (2011), os quais realizaram um estudo que descreve o desenvolvimento de interface de aplicativo de tecnologia móvel para crianças e jovens com diabetes; e com a participação direta desses usuários. Os *mock-ups* gerados por esses participantes permitiram identificar características essenciais deste grupo de usuários; e compreender suas necessidades emocionais. E Wilson *et al.* (2015) desenvolveram técnicas de CoD que permitem a participação de pessoas com afasia - habilidade de comunicação comprometida - no desenvolvimento de ferramentas de terapia, com ênfase na criação de linguagens de design acessíveis.

Particularmente com relação ao design de próteses, Hussain e Sanders (2012) aplicaram CoD, utilizando técnicas de design generativo, para projetar próteses de membro inferior para crianças, utilizando modelos humanos infantis em escala para incentivar a participação dos usuários (crianças) com a exposição de suas preferências estéticas.

2.3. Prototipagem Rápida, Impressão 3D e Prótese Transradial Mioelétrica

A prototipagem rápida, definida por Carvalho e Volpato (2007), é um processo de fabricação de protótipos e modelos físicos, em 3 dimensões, por meio da adição de material em camadas planas e sucessivas, caracterizado por manufatura por camada. As informações para esse processo são obtidas pelo modelo geométrico gerado em sistema *Computer Aided Design* - Projeto Assistido por Computador (CAD), de forma rápida, automatizada e flexível. Nesse contexto, há algumas ferramentas que utilizam essa tecnologia, sendo a impressão 3D uma delas.

A impressão 3D surgiu em 1984 e tem se popularizado na última década devido a facilidade e rapidez na construção de objetos variados. De acordo com Takagaki (2012), o processo de impressão 3D pode ser dividido em 5 etapas:

- Modelagem 3D;
- Conversão em formato stl;

- Fatiamento;
- Conversão em gcode;
- Impressão 3D.

A modelagem 3D é realizada com a utilização de *softwares* que, a partir de cálculos matemáticos, são capazes de criar representações de objetos em três dimensões semelhantes a realidade. Esse tipo de *software* é denominado CAD é amplamente utilizado na indústria para criação, modificação, análise e otimização de projetos.

Com o uso destes *softwares* é possível fazer diversos testes antes mesmo da confecção do artefato, podendo assim realizar diversas alterações e configurações para o mesmo produto, definir qual o material mais adequado de acordo com a necessidade, assim como fazer as simulações com CAD, possibilitando desta maneira uma grande economia de tempo e recursos que seriam despendidos na fabricação de diversos protótipos, como por exemplo no caso do desenvolvimento de próteses.

No desenvolvimento de PMS por essa tecnologia, Kate, Smit e Breedveld (2017) apresentam como vantagens a:

- Liberdade de criar projetos com geometrias complexas;
- Os projetos podem ser facilmente personalizados;
- As peças podem ser produzidas rapidamente e com baixo custo;
- Se necessário, possibilita melhorias rápidas do projeto;

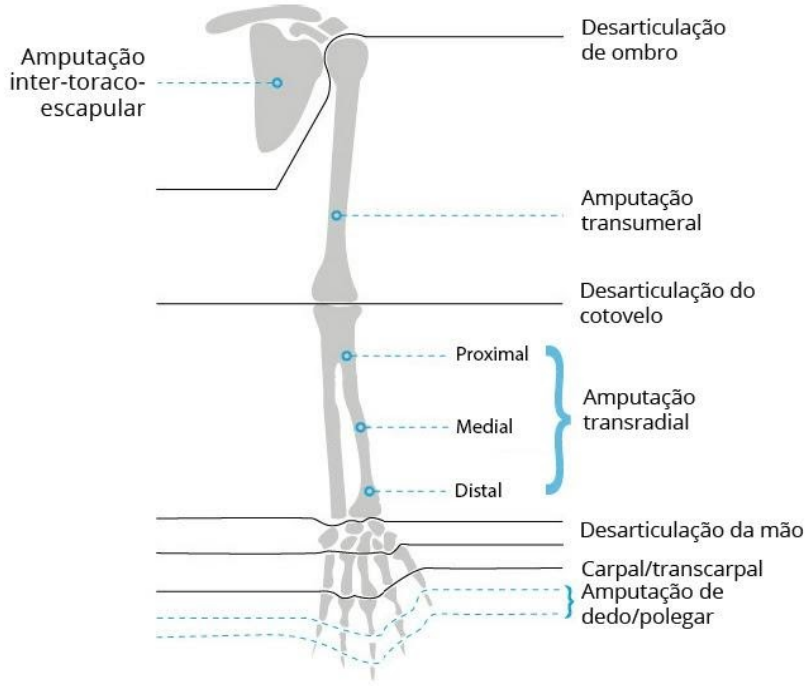
Estes autores pontuam também algumas desvantagens como:

- A dificuldade de prever as propriedades mecânicas do material, como por exemplo a resistência, que pode variar de acordo com o método de fabricação, configurações e orientação da impressão;
- A precisão do projeto pode ser afetada pela contração do material, bem como pós-processamento;
- O tamanho do objeto é limitado pelo tamanho da impressora;
- A diversidade de matéria prima é inferior em comparação aos materiais disponíveis na fabricação convencional.

Contudo, esses dois últimos aspectos, embora vistos como desvantagens pelos autores, podem ser resolvidos facilmente por fatiamento do projeto em várias partes, unindo as peças posteriormente e, embora ainda seja limitado a quantidade de tipos de material disponível para impressão 3D, cada vez mais novos materiais são criados.

Uma prótese transradial tem a função de suprir uma amputação ou malformação do membro superior entre o pulso e o cotovelo, podendo ser proximal, medial ou distal (Figura 1).

Figura 1: Níveis de amputação



Fonte: Letícia Alcará, 2017 (adaptado).

Atualmente, para os membros superiores existem duas categorias de próteses: estéticas e funcionais. As próteses estéticas cumprem apenas a função visual de representar a parte do corpo ausente. Já as próteses funcionais podem ser mecânicas - controladas pela tração de cabos acionados por outras partes do corpo; mioelétricas - controladas pela captação dos sinais elétricos gerados durante a contração muscular; ou híbridas - junção das duas anteriores (AFONSO, 2009).
A tecnologia das próteses tem avançado significativamente e está cada vez mais próxima de realizar as funções do membro perdido (GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, 2014). Dessa forma, o modelo de prótese mais visado é a mioelétrica, por

geralmente apresentar uma estética mais atraente, maior força de pega e facilidade de uso, porém esse sistema possui alto custo, o que dificulta a sua aquisição (BIDDISS e CHAU, 2007a). O funcionamento de uma prótese mioelétrica baseia-se na captura e interpretação dos sinais eletromiográficos, estes por sua vez são sinais biológicos proveniente da atividade elétrica gerada no músculo durante a sua contração. (GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, 2014).

Por fim, para o desenvolvimento deste estudo, foi verificado o preço de algumas próteses mioelétricas. O valor de uma PTM comercial é em média de USD 30.000.00, o que pode ser considerado um alto custo para PcDs de países subdesenvolvidos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Características do Estudo, Aspectos Éticos e do Participante

Este estudo caracterizou-se por uma pesquisa teórico-empírica, do tipo aplicada e método indutivo. Foi utilizada a técnica de estudo de caso, com instrumentos qualitativos e quantitativos e a participação direta de um sujeito na co-criação de uma prótese transradial mioelétrica.

O projeto foi submetido ao Comitê de Ética e Pesquisa da Faculdade de Arquitetura Artes e Comunicação, UNESP CAAE 12873519.5.0000.5663 (Apêndice A) e aprovado no dia 26 de junho de 2020, em atendimento às Resoluções 466/12-CNS-MS e 510/17-CNS-MS; e o "Código de Deontologia do Ergonomista Certificado".

O participante é do gênero masculino, com idade de 26 anos, apresentando malformação congênita no membro superior esquerdo, com ausência do membro a partir do nível transradial proximal. A deficiência do usuário foi causada pelo uso da substância talidomida (medicamento sedativo, anti-inflamatório e hipnótico) pela mãe durante a gestação. O uso desta substância por mulheres grávidas pode gerar condições de malformação congênita nos fetos. Na época da gestação do participante a família não tinha esse conhecimento.

Também é formado em Publicidade e Propaganda e atualmente trabalha com marketing em uma cooperativa de saúde. Sua atividade profissional é majoritariamente em frente ao computador desenvolvendo artes gráficas para a empresa. Tem preferência por realizar exercícios físicos, praticando natação e musculação. E informou que nunca fez o uso de nenhum tipo de prótese ou qualquer outro dispositivo de TA para o auxílio a sua deficiência e que não tem grandes dificuldades em realizar suas atividades cotidianas.

3.2 Instrumentos e Materiais

3.2.1 Instrumentos Metodológicos

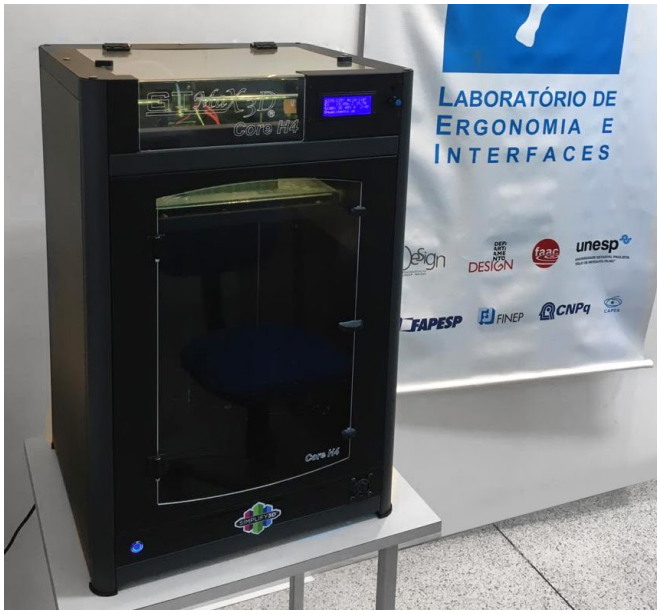
Para o desenvolvimento deste estudo focou-se na utilização de ferramentas de prototipagem rápida, que se baseiam na construção de objetos físicos por meio

de modelos virtuais, capazes de criar diversos protótipos funcionais com as dimensões exatas, além de permitir que alterações e correções sejam feitas com facilidade (KATE, SMIT, BREEDVELD, 2017).

Para a impressão da prótese, empregou-se o modelo de impressora GtMax Core H4 (Figura 2), a qual utiliza a tecnologia de manufatura aditiva sobrepondo camadas de plástico aquecido de acordo com a orientação de um desenho 3D.

Esse equipamento é capaz de produzir objetos em diversos materiais termoplásticos, como ABS (acrilonitrila butadieno estireno), PLA (poliácido láctico), PETG (politereftalato de Etileno Glicol), TPU (poliuretano termoplástico, entre outros. Possui uma área de impressão de 300 mm (largura) x 200 mm (profundidade) x 445 mm (altura), com resolução de altura de camada de 0,25mm até 0,05mm.

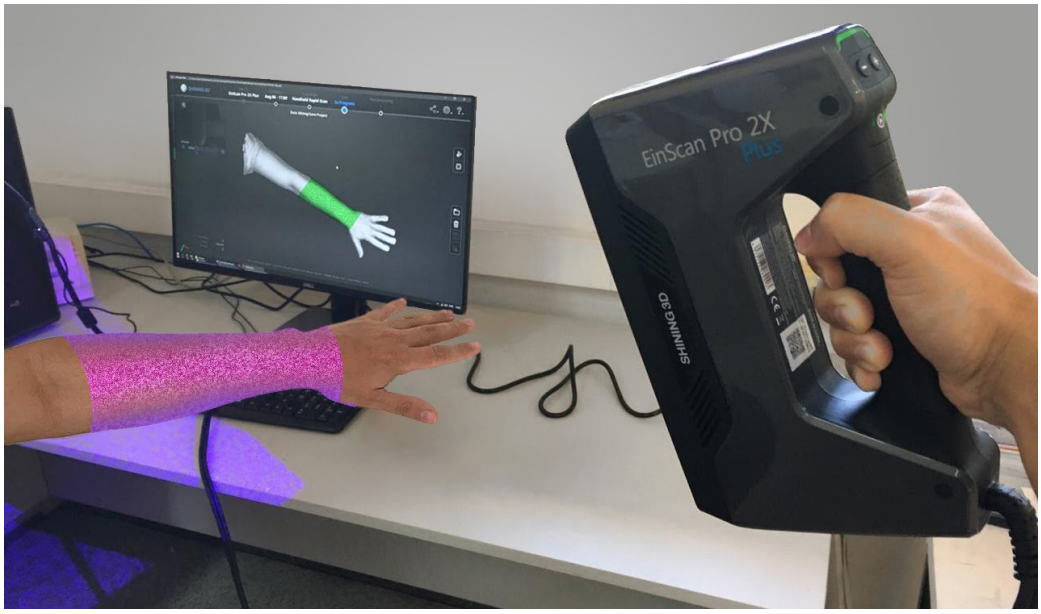
Figura 2: Impressora 3D



Fonte: Acervo do autor.

Foi utilizado também o escaneamento 3D, que possibilita a digitalização rápida e precisa de objetos, em alta resolução. Nesse estudo foi utilizado o Scanner 3D portátil, modelo EinScan Pro 2x Plus (Figura 3), capaz de capturar informações de um objeto tridimensional, com acurácia de 0,3mm até 0,05mm. A ferramenta foi utilizada para o escaneamento de ambos os membros superiores do participante, possibilitando a modelagem precisa e personalizada do encaixe da prótese.

Figura 3: Scanner 3D

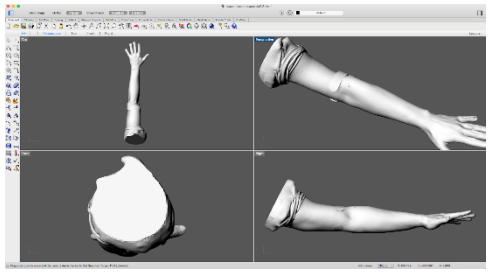
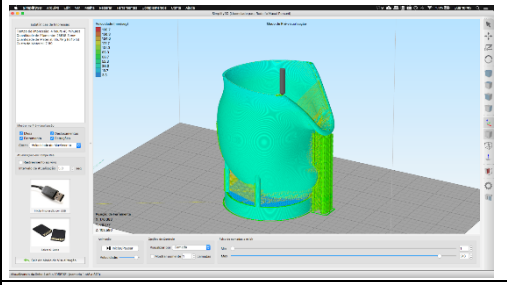


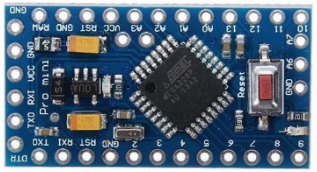
Acervo do autor

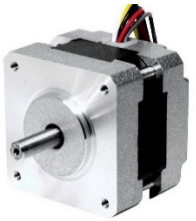
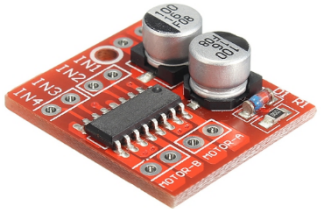
3.2.2 Materiais da Prótese

Na tabela 1 estão descritos os *softwares* e materiais utilizados na produção da prótese.

Tabela 1: Lista de materiais

Software	Características	Utilização	Exemplo
Rhinoceros 3D (CAD)	Software CAD voltado para a representação de superfícies orgânicas geradas através de modelos matemáticos.	Utilizado no desenvolvimento dos modelos virtuais da prótese.	
Simplify3D (CAM)	Software CAM (computer-aided manufacturing - manufatura assistida por computador).	Utilizado para fatiar o desenho 3D em finas camadas horizontais e transformá-las em linguagem de máquina,	
Filamento PLA e ABS	O PLA é um material biodegradável, fabricado a partir do processamento do amido de alguns vegetais como milho ou cana-de-açúcar (LASPRILLA et al., 2012). O ABS possui boa resistência e durabilidade, apto a receber altas cargas mecânicas e impactos, capaz de resistir a temperaturas de até 85ºc sem sofrer deformações (LEE; KUO; CHANG, 1994)	O PLA, por ser biocompatível, foi selecionado exclusivamente para a confecção do encaixe do coto. Já o ABS foi utilizado nas impressões da estrutura da prótese, capa e mão. Por apresentar baixa dureza superficial, é apropriado para receber acabamentos pós impressão com lixas ou acetona.	

Elastômetro de silicone	Material flexível de silicone, Ecoflex 00-20, à base de platina, de baixa viscosidade	Utilizado para a confecção do Liner e na parte interna dos dedos da prótese, para aumentar a aderência ao pegar objetos	
Arduino UNO R3	Plataforma de desenvolvimento de projetos com microcontrolador de hardware e software livre e de baixo custo. Dimensões: 69 x 54 x 20 mm Peso: 25 g Tensão de entrada: 5 v	Utilizado nas primeiras etapas do desenvolvimento, possuir encaixes para os fios, sem a necessidade de soldar, e poder se comunicar com o computador diretamente com um cabo USB tipo A/B para que os códigos de programação sejam transferidos.	
Arduino Pro Mini 328	Plataforma de desenvolvimento de projetos com microcontrolador de hardware e software livre e de baixo custo. Dimensões: 33 x 18 x 6 mm Peso: 2 g Tensão de entrada: 3 v	Utilizado para substituir o Arduíno anterior, por ter a vantagem de ser menor e mais leve, sendo mais adequado para a utilização na prótese.	
Sensor EMG OY Motion	Com 8 receptores EMG, esse sensor é uma pulseira com a função de detectar os impulsos elétricos que são gerados no músculo durante a sua contração. É capaz de identificar diferentes frequências de sinais EMGs, que são enviados por bluetooth, para que o microcontrolador possa comandar a execução das ações.	Este sensor fica posicionado sobre o bíceps e tríceps do usuário para que ele possa controlar os movimentos realizados pela prótese.	

Motor Nema 17, modelo 17HD34008-22B	Dimensões: 42 x 42 x 34 mm Peso: 230 g Tensão de operação: 4,8 v Torque: 3,4 Kg à 1 cm de distância do eixo	Motor usado para movimentar as engrenagens internas da prótese realizando os movimentos de flexão e extensão dos dedos.	
Mini Driver Ponte H L298n	Dimensões: 25 x 21 x 7 mm Peso: 3 g Tensão de operação: 2 v à 10 v Corrente de operação: 2,5 A	Controla o motor de passo, permitindo coordenar a velocidade, direção e a quantidade de passos que o motor deverá realizar.	
Regulador de tensão	Dimensões: 17 x 11 x 4 mm Peso: 1 g Tensão de entrada: 4,75 v à 23 v Tensão de saída: 1 à 17 v	Para que a tensão das baterias pudesse ser ajustada para o funcionamento correto dos componentes eletrônicos sem danificá-los, foi necessário um regulador de tensão DC *step-down.*	
Baterias Li-Ion modelo 18650	Dimensões: 66 x 18 mm Peso: 47 g Tensão: 3,7 v Taxa de descarga: 4900 mAh	Foram utilizadas duas baterias recarregáveis para fornecer energia a todos os componentes.	

3.3 Procedimentos Metodológicos: Co-design

Caracterizado pela participação efetiva do participante no desenvolvimento do projeto, as etapas aqui descritas ocorreram quase que concomitantemente aos resultados colhidos, visto que o processo de CoD caracteriza-se por uma troca constante entre participante e designer.

3.3.1 Motivação

A ideia de desenvolver uma PMS surgiu a partir do contato com um indivíduo com deficiência congênita de desarticulação do punho, o qual cursava engenharia e estava fazendo um estudo sobre o desenvolvimento de uma prótese mecânica impressa em 3D (Figura 4), com objetivo de auxiliá-lo nas tarefas do dia a dia. Esse foi o primeiro contato com a tecnologia de impressão 3D e uma PMS.

Figura 4: Prótese Mecânica impressa em 3D

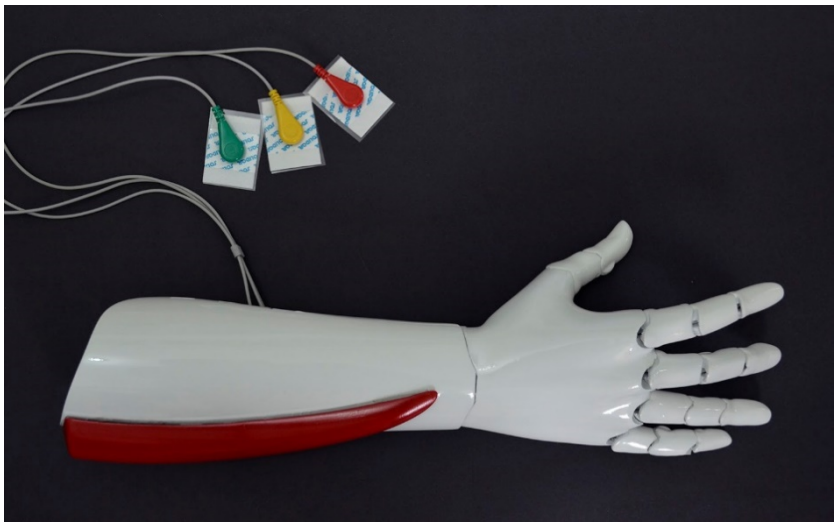
Fonte: Acervo do autor.

Nesta ocasião foram observados alguns pontos negativos em relação ao resultado apresentado. O próprio usuário que projetou a prótese tinha dificuldade em utilizá-la, bem como havia comprometimento na questão estética, tanto que após algumas semanas de uso a prótese foi abandonada.

Assim surgiu a proposta de unir Design e Engenharia, a fim de projetar um artefato que atendesse melhor o objetivo de auxiliar uma PcD. Para isso foi desenvolvida uma pesquisa inicial sobre os tipos de PMSs, na qual o pesquisador

desenvolveu uma PTM (Figura 5) impressa em 3D de baixo custo como projeto de conclusão do curso de graduação em Design.

Figura 5: Prótese Transradial Mioelétrica 2018



Fonte: Acervo do autor.

Após a conclusão foram observados problemas de usabilidade com o artefato, surgindo a oportunidade de aprimorara-lo, desta vez com a participação de um usuário (ou potencial usuário), caracterizando assim o processo de CoD.

3.3.2 Seleção do participante e questões éticas

Após a aprovação no Comitê de Ética em Pesquisa, foi realizado o convite a um possível usuário de prótese de membro superior para ser participante.

A primeira reunião ocorreu no dia 14/07/2019, com o intuito de explicar o teor e as etapas do estudo, apresentar o Laboratório de Ergonomia e Interfaces (LEI) da Faculdade de Arquitetura Artes e Comunicação (FAAC), local onde foi realizado a maioria dos procedimentos, além de tirar possíveis dúvidas do participante.

Com o aceite do participante, no dia 06/08/2019, iniciou-se os procedimentos após a assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (Apêndice B). Por meio de uma ficha de caracterização, foram coletados dados demográficos do participante, seus interesses, atividades que pratica, escolaridade, causa da deficiência, entre outros.

3.3.3 Entrevista inicial

O presente estudo utilizou-se de entrevistas abertas com o participante para a coleta de dados necessários para o CoD da prótese. Entrevistas são caracterizadas por ser uma conversa guiada na qual uma pessoa necessita de respostas da outra (MARCONI; LAKATOS, 2007). A primeira entrevista realizada no dia 06/08/2019, teve como objetivo obter do participante as seguintes informações:

- Experiências prévias com o uso de próteses.
- Preferências estéticas;
- Levantamento dos requisitos de projeto;

O participante relatou que nunca havia utilizado prótese e que, por ter nascido com a deficiência aprendeu a realizar todas as suas atividades com o membro superior direito. Sua expectativa em participar da pesquisa era poder ter a experiência de realizar, com o membro superior esquerdo, as atividades que realiza com o membro superior direito. Ao final da entrevista, junto ao participante, estipulou-se como requisitos do projeto da prótese, os seguintes pontos:

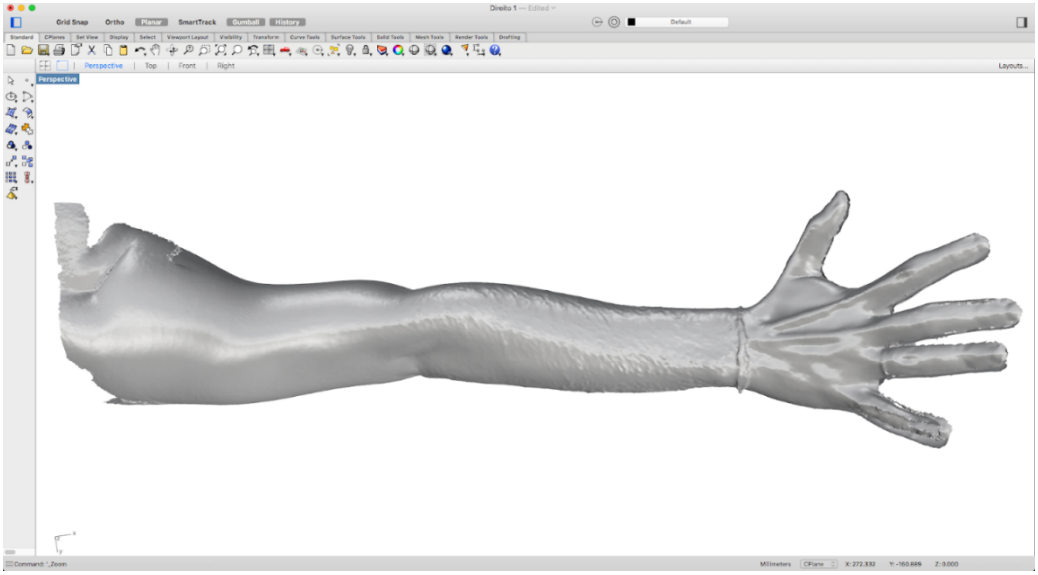
- Baixo custo;
- Leveza;
- Facilidade de uso;
- Facilidade de higienização;
- Facilidade de manutenção;
- Pontas dos dedos aderentes;
- Confortabilidade; e
- Estética contemporânea.

3.3.4. Escaneamento

No dia 06/08/2019 também foi realizado o escaneamento 3D de seus membros superiores. O membro superior sem deformação forneceu todas as dimensões para a criação da prótese, para que esta fosse proporcional ao seu corpo, e o membro superior esquerdo (com malformação) para que o encaixe do coto fosse projetado adequadamente.

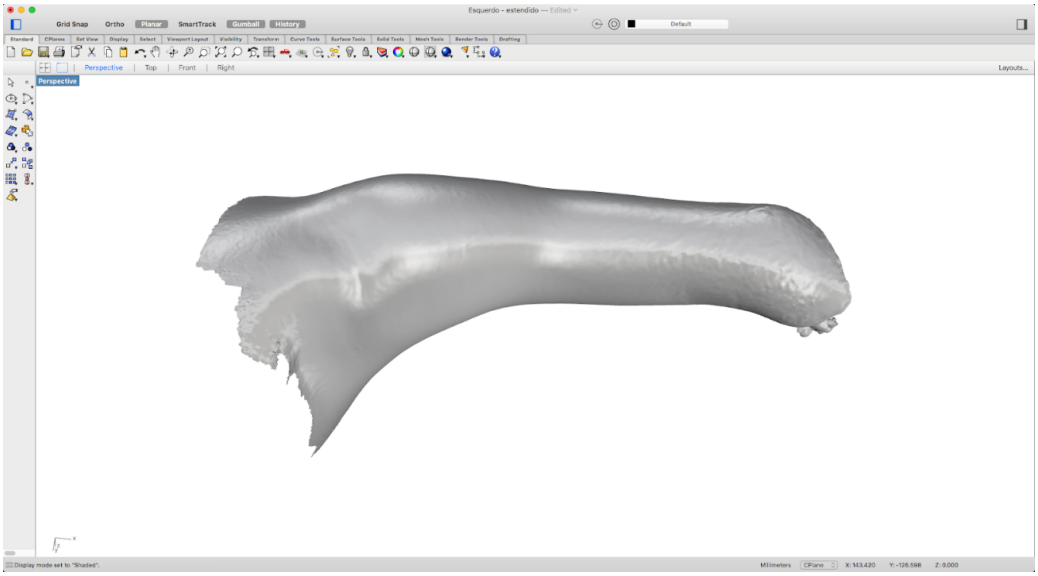
Para a realização deste procedimento, o participante ficou sentado em uma cadeira com um dos membros superiores levantados (flexão de ombro a 180°), enquanto o pesquisador girava o aparelho de escaneamento 3D em torno dele, até que o membro superior fosse completamente digitalizado (Figuras 6 e 7).

Figura 6: Digitalização do membro superior direito do participante.



Fonte: Acervo do autor.

Figura 7: Digitalização do membro superior esquerdo do participante.



Fonte: Acervo do autor.

3.3.5 Painel Semântico

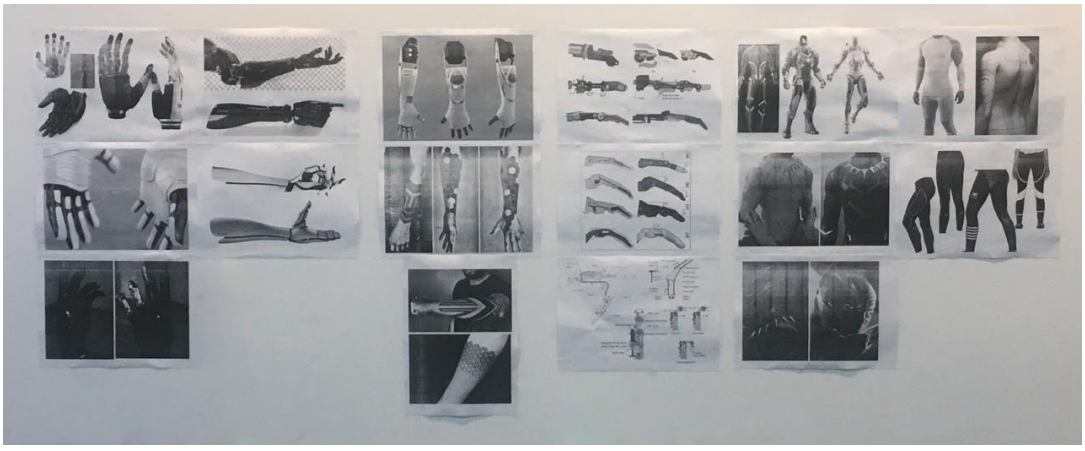
Para criar uma prótese mais próxima do perfil do participante, foi importante conhecer suas preferências estéticas. Nesse caso, levantar e ilustrar essas referências em um painel se tornou uma boa estratégia.

Durante o desenvolvimento do painel foi utilizado um aplicativo de troca de mensagens. Contudo, o participante demorava para retornar as suas ideias. Dessa forma, a solução foi selecionar algumas imagens com diferentes texturas, ilustrações e tipos de próteses, baseado nas conversas anteriores e apresentar ao participante no encontro seguinte.

Assim, no dia 03/09/2019, em reunião, o participante indicou as imagens que o interessavam, descrevendo um pouco mais sobre suas preferências, dizendo que gostava de filmes de heróis, como por exemplo "Homem de Ferro" (FAVREAU, 2008) e "Pantera Negra" (COOGLER, 2018), ressaltando o filme “Alita” (ROBERT RODRIGUEZ, 2019), o qual conta uma história de uma menina robô. Além disso, pontuou também que tinha preferência pelas cores preta, cinza e dourada.

Dessa forma, foram selecionadas, junto com o participante, imagens com estética robótica representando os seus gostos, além de exemplos de outras próteses comerciais, como pode ser visto na figura 8.

Figura 8: Painel de referências.



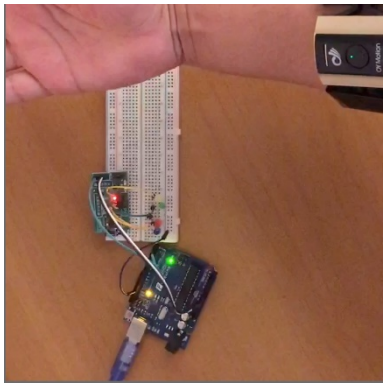
Fonte: Acervo do autor.

3.3.6 Programação e testes mioelétrico

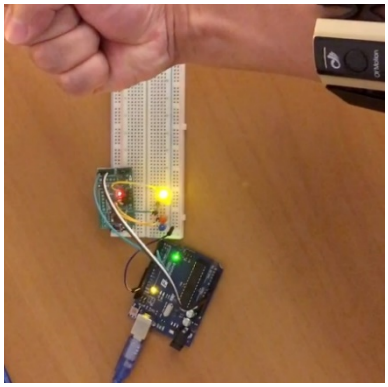
Antes de efetivamente começar o desenvolvimento da prótese, foi necessário saber se o participante conseguiria acionar os músculos do membro superior com malformação, de forma que fosse possível interpretar os sinais mioelétricos. Para isso foi montado em uma *protoboard* um sistema utilizando um Arduino, um emissor, um receptor *bluetooth*, alguns leds e uma pulseira com sensores mioelétricos para realizar os primeiros testes.

O primeiro teste foi realizado com o próprio pesquisador para verificar o funcionamento do sensor (pulseira) de eletromiografia (EMG), o qual foi posicionado no antebraço, visto que sua elasticidade não era o suficiente para chegar na altura do bíceps. Neste teste foi possível fazer o reconhecimento de 4 gestos diferentes: flexão e extensão do punho; e flexão e abdução dos dedos. De acordo com a programação desenvolvida, cada gesto realizaria uma ação diferente, no caso, acender um led com uma cor específica (Figura 9).

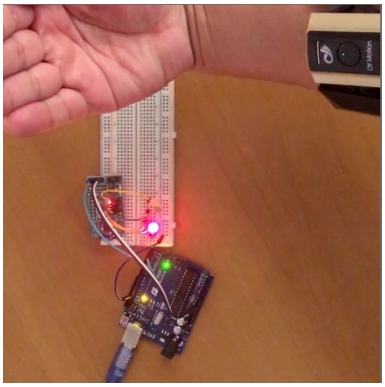
Figura 9: Teste mioelétrico 1



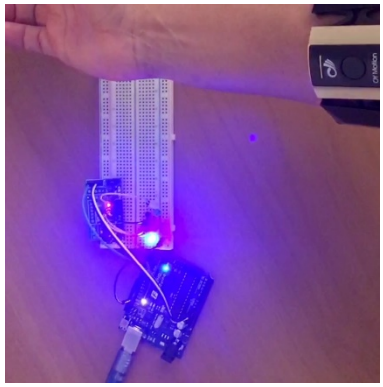
Músculos relaxados



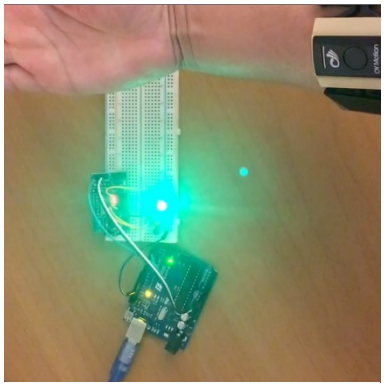
Flexão dos dedos



Flexão do punho



Extensão de punho



Extensão dos dedos

Fonte: Acervo do autor.

Após a verificação do sistema, no dia 20/09/2019, este experimento foi realizado com o participante, com os sensores mioelétricos posicionados sobre o bíceps e tríceps do membro superior com a malformação, o qual conseguiu realizar a ativação muscular. No entanto, como estes músculos nunca foram muito utilizados, o participante não possuía uma consciência muscular plena para o controle da atividade, dificultando o envio da mesma frequência de sinais mioelétricos quando queria que o sistema acionasse um determinado comando.

Com esse impedimento, foi necessário criar uma nova programação, levando em conta esta condição do participante. Dessa forma, em vez do sistema de luzes de led, foi impresso um artefato em formato de garra, capaz de realizar movimentos de abrir e fechar. Esse foi ligado ao sistema do Arduino reprogramado para realizar o movimento com qualquer sinal elétrico detectado.

No dia 30/09/2019 houve um novo encontro com o participante para testar esse sistema, o qual conseguiu emitir 6 tipos de sinais diferentes: 3 programados para abrir a garra e outros 3 para fechar. Contudo, ainda assim o participante não conseguia ter o pleno controle dos sinais.

Dessa forma, foi desenvolvida uma nova programação, testada no dia 22/10/19 que funcionou da seguinte maneira: quando o participante contraísse qualquer músculo do membro superior com força o suficiente para o sensor mioelétrico captar o sinal, este era enviado ao Arduino, que então verificava a posição da garra. Se a garra estivesse aberta, era enviado o comando para fechá-la e se estivesse fechada, era enviado o comando para abri-la. Com esse sistema o participante relatou conseguir com mais facilidade ter o controle dos movimentos da garra (Figura 10).

Figura 10: Teste mioelétrico 2

Fonte: Acervo do autor.

Posteriormente, os códigos programados foram aprimorados para que o movimento de fechar ocorresse de forma mais lenta e que durasse de acordo com o tempo da ativação muscular, isto permitiria ao participante ter mais controle dos dedos e pegar objetos mais delicados sem esmagá-los.

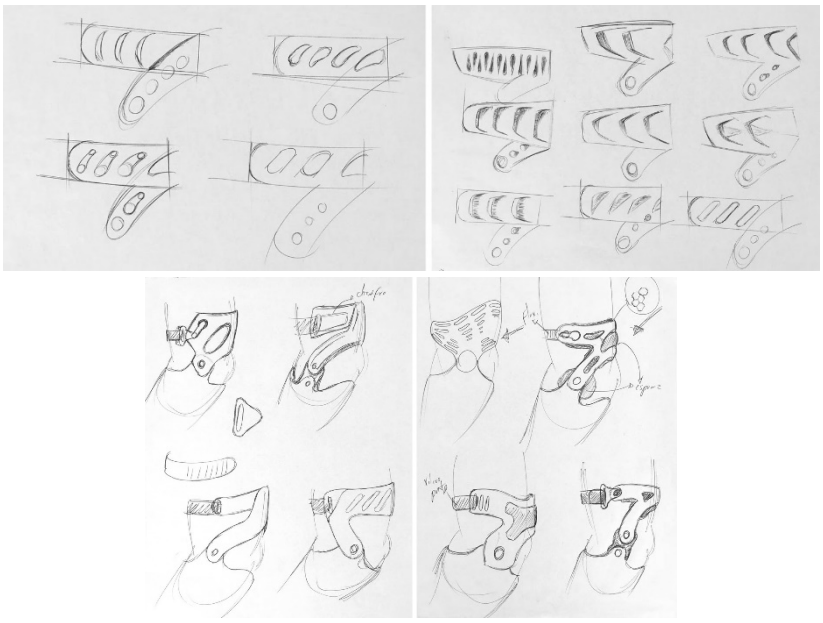
No dia 12/11/19 foi testada essa nova programação, já com a prótese completa; e após realizar os movimentos de forma controlada, o participante deu por aprovado e informou que estava melhor para realizar os movimentos.

3.3.7 Sketches iniciais do encaixe do coto e da carenagem da prótese

Após os resultados positivos dos testes mioelétricos, deu-se início ao processo de sketches, que ocorreu simultaneamente com dois diferentes subsistemas da prótese: encaixe do coto e carenagem. Esse passo foi importante para prever as possibilidades de estrutura do encaixe e da carenagem. A estratégia foi pensar em como o encaixe do coto poderia ser, para depois elaborar a estrutura da prótese como um todo.

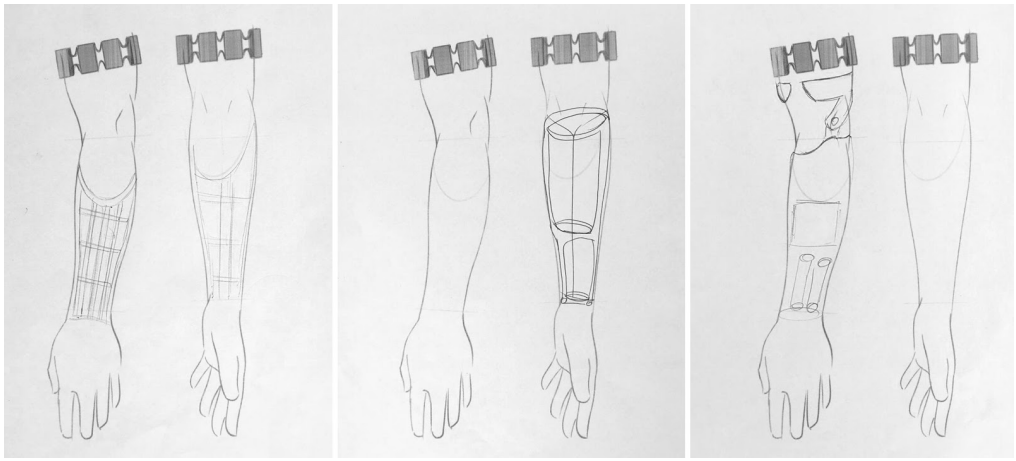
A princípio foi pensado em ter uma peça que fixasse no membro superior do participante, com uma articulação na altura do cotovelo, permitindo a união com a estrutura da prótese, que fica na altura do antebraço, como pode ser visto nas figuras 11 e 12.

Figura 11: Sketches iniciais do encaixe do coto



Fonte: Acervo do autor.

Figura 12: Sketches iniciais da prótese



Fonte: Acervo do autor.

As possibilidades para fixação no membro superior seriam por pressão, fita elástica, encaixes ou velcro. Além disso, seria necessário um acolchoamento para não machucar a extremidade do membro superior do participante. Assim planejou-se empregar silicone, espuma ou impressão 3D com material flexível.

Depois dos sketches, foi modelado e impresso a primeira versão do encaixe do coto. Essa versão consistia em um artefato em forma de “U”, lisa, com a possibilidade de revestir sua parte interna com E.V.A. e Neoprene.

3.3.8 Teste com os modelos de encaixe

No dia 03/09/2019, foi realizado mais uma reunião com o participante, a qual foi composta de um teste de uso das alternativas desenvolvidas.

Os modelos foram posicionados no membro superior esquerdo, pouco acima dos epicôndilos (Figura 13), e durante o teste ele foi instruído a realizar movimentos aleatórios com o membro superior, principalmente flexão e extensão de cotovelo, a fim de se verificar possíveis limitações na amplitude dos mesmos ou possíveis desconfortos.

Como resultado deste teste o participante relatou pontos pertinentes ao desenvolvimento do projeto, tais como o fato de que ambos os modelos, sem qualquer revestimento, se mostravam mais confortáveis, ou seja o material plástico em contato com a pele passava uma sensação de maior conforto do que o EVA

revestido com Neoprene. Além da questão que a peça apertava muito o membro superior, gerando desconforto após pouco tempo de uso.

Figura 13: Primeiro modelo do encaixe do coto

Fonte: Acervo do autor.

Após o uso dos modelos desenvolvidos, o participante respondeu ao questionamento: “como você percebe que ele pode ser melhorado?”; o relato foi que não saberia como o modelo poderia ser melhorado para suprir os problemas relatados durante o uso, apenas reforçou os problemas.

A partir disso, outro modelo foi projetado, continuando em formato de “U”, dessa vez um pouco mais largo, mais arredondado, vazado em sua volta para não deixar a peça tão rígida e permitir a respiração da pele e um engate para o antebraço da prótese, conforme figura 14.

Figura 14: Segundo modelo do encaixe do coto

Fonte: Acervo do autor

No dia 30/09/2019 o participante realizou novamente o teste, como descrito anteriormente, com esse novo modelo e pontuou que ainda estava desconfortável, pressionando seu membro superior.

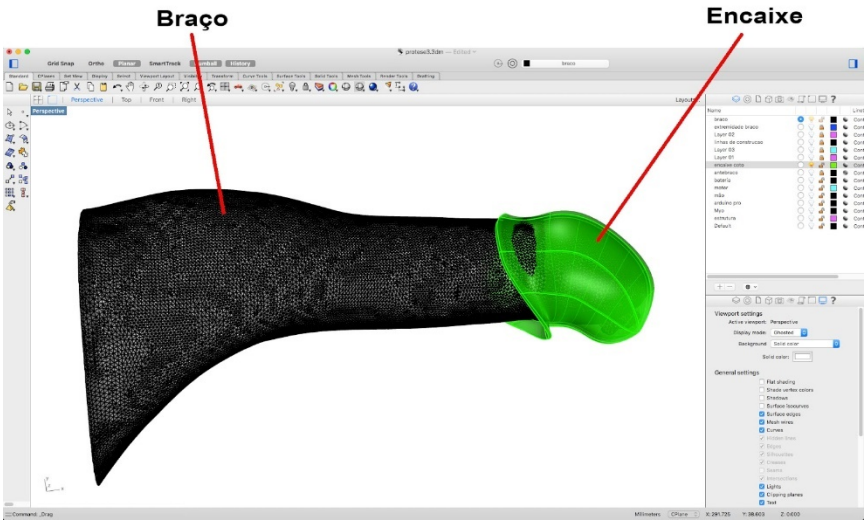
Portanto, foi elaborado mais duas possibilidades de encaixe. Uma delas ainda com o formato em “U”, porém mais grossa e com o cotovelo articulado, como na figura 15.

Figura 15: Terceiro modelo de encaixe do coto

Fonte: acervo do autor.

O outro modelo, baseado no escaneamento do membro superior do participante, teve a forma de uma “concha” (mesmo formato do coto), com uma folga de 2mm entre a pele e a peça impressa e uma leve pressão acima dos epicôndilos lateral e medial, conforme figura 16.

Figura 16: Modelagem do quarto modelo de encaixe do coto



Fonte: Acervo do autor.

Os dois modelos criados foram testados pelo participante no dia 22/10/2019, conforme a figura 17. O modelo articulado logo foi descartado pois o participante relatou que apresentava desconforto no encontro entre as duas peças e dificultava a movimentação do cotovelo. Já o modelo em “concha” foi descrito como confortável, firme, permitindo a movimentação do membro superior. Dessa forma, o projeto seguiu com este modelo definido.

Figura 17: Quarto modelo de encaixe do coto

Fonte: Acervo do autor

Com o modelo escolhido, foram realizadas algumas adaptações para deixar a peça mais resistente, como aumentar a espessura das paredes e o arredondamento das bordas. No dia 12/11/2019 o participante testou esta última versão do modelo e o aprovou (Figura 18).

Figura 18: Modelo final aprovado pelo participante

Fonte: Acervo do autor

3.3.8 Estrutura interna da prótese

A estrutura interna foi a parte mais complexa do projeto, principalmente por causa de três fatores limitantes: força, peso e espaço.

Para exercer força semelhante a mão humana o motor precisava ser grande e pesado. Quanto mais pesada a prótese, maior a dificuldade do participante para se adaptar e cansativo para realizar os movimentos. Além disso, para que a prótese fosse simétrica ao corpo do participante, o espaço interno para acomodar todos os componentes eletrônicos era bem reduzido.

Dessa forma, desenvolver um equipamento eletrônico pequeno, leve, capaz de exercer força e realizar movimentos semelhantes a mão humana foi um grande desafio.

Para cumprir esse desafio foi necessário estudos relacionados a elétrica, física, componentes eletrônicos, tipos de motores e tipos de engrenagens. Ao todo foram desenvolvidos 4 tipos de projeto de estrutura, sendo que alguns foram prototipados e testados com o participante.

O principal elemento que definiria o posicionamento e funcionamento dos outros componentes era o motor, dessa forma todos os modelos criados se basearam nesta peça.

O primeiro motor utilizado foi um Servo, com um torque de 20 Kg a 1 cm de distância do eixo, capaz de informar ao sistema a posição exata do eixo, pesando apenas 62g, com dimensões de 40 mm x 38 mm x 20 mm. Todos esses atributos são excelentes, porém esse tipo de motor só é habilitado a girar 180º e, pelo seu tamanho, não teve como posicioná-lo próximo aos dedos. Então ele ficou no antebraço, cerca de 20 cm de distância de onde a força é exercida ao pegar os objetos (ponta dos dedos). Neste caso, foi necessário considerar os princípios da física, particularmente que o torque (t) é o produto da força aplicada (F), vezes o raio da circunferência (r).

Neste caso:

$$(t = F * r)$$

$$2000\ g\text{-}cm = F * 20cm$$

$$F = 2000/20$$

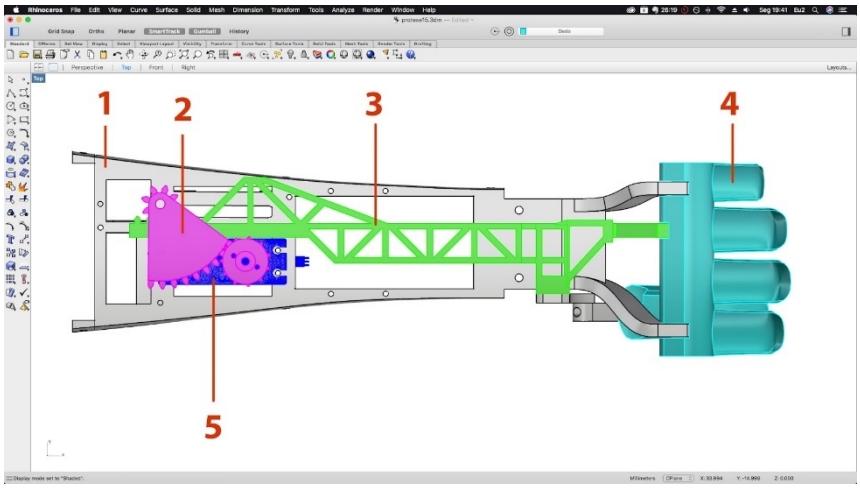
$$F = 100g$$

Ou seja, a prótese não se mostrou funcional nessa configuração pois exerceria uma força de apenas de 100g. Nessa etapa, não houve interação com o participante.

A segunda versão criada teve o objetivo de aumentar a força da prótese. Para isso foi utilizado uma caixa de redução e uso de engrenagens, que tem a função de reduzir a velocidade angular e aumentar o torque, ou seja: o movimento do eixo é transmitido através de um conjunto de engrenagens, fazendo com que a primeira engrenagem tenha que dar várias voltas rápidas e com pouca força, para que a última engrenagem do sistema de uma volta lenta, porém com muita força.

Essa ideia foi aplicada no sistema e seus componentes (Figura 19) e a força resultante foi aumentada, entretanto, como esse tipo de motor só é capaz de realizar movimentos de até 180º, não era possível fazê-lo girar várias vezes para se obter uma força satisfatória.

Figura 19: Sistema interno 1



1: Estrutura
2: Engrenagens
3: Haste de movimentação dos dedos
4: Dedos
5: Motor

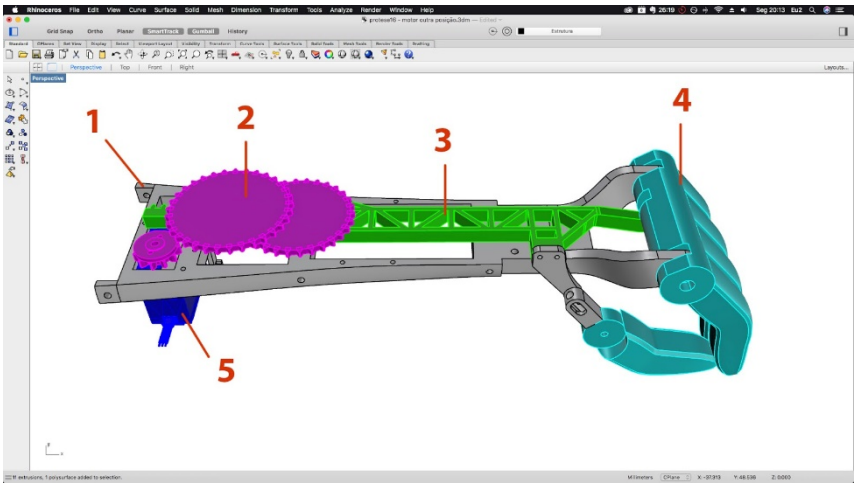
Fonte: Acervo do autor.

No dia 28/02/2019, o participante utilizou a prótese a fim de testar a força dos motores, o que resultou em uma força capaz de segurar apenas um copo de vidro de 200 ml. O participante concordou que a pouca força apresentada não seria viável e não soube sugerir melhorias.

Partiu-se então para uma terceira versão com a intenção de modificar o funcionamento do servomotor para um motor de rotação contínua. Para isso foi

preciso abri-lo e retirar um potenciômetro que existe em seu interior. Sem essa peça não é possível saber a posição do eixo, mas ele pode girar continuamente. Além disso, foi necessário readaptar as engrenagens da prótese, já que o motor nessa nova configuração (Figura 20) funcionaria de forma diferente.

Figura 20: Sistema interno 2



1: Estrutura
2: Engrenagens
3: Haste de movimentação dos dedos
4: Dedos
5: Motor

Fonte: Acervo do autor.

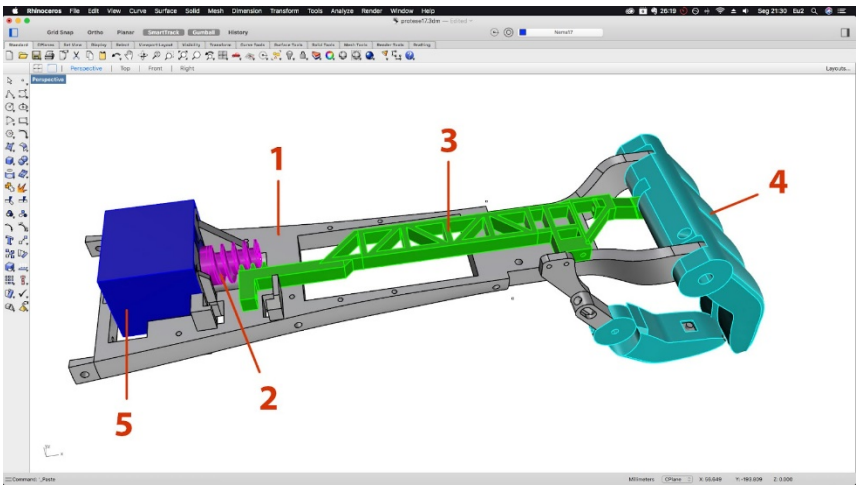
Um novo teste foi realizado, dessa vez sem o participante. Como resultado obteve-se uma força expressiva boa nas pontas dos dedos, porém com a retirada do potenciômetro do motor houve alteração da tensão das baterias, descarregando-as muito rápido, gerando instabilidade no seu funcionamento.

Sendo assim, para quarta versão, buscou-se como alternativa utilizar um motor de passo. O primeiro motor de passo testado era bem pequeno, leve e tinha um torque que poderia ser utilizado, mas era muito lento, demorando 10 segundos para fazer o movimento de fechar os dedos da prótese. Uma caixa de redução de engrenagens poderia ser usada nesse caso, porém invertendo a função explicada anteriormente, ou seja, para ganhar velocidade, se perde em força; e então o motor também não seria útil. Assim, a solução encontrada foi utilizar um motor de passo maior e mais rápido, juntamente com um tipo de engrenagem de rosca infinita.

Esse tipo de funcionamento é o equivalente a caixa de redução, gerando bastante força no fim do sistema. Outra vantagem desse modelo é que o eixo (rosca) gira a engrenagem com facilidade, mas a engrenagem não consegue girar o eixo,

permitindo que a prótese consiga fechar a mão exercendo a função de suportar um objeto de maior peso; e este não consegue fazer com que os dedos abram. Essa versão foi testada, em laboratório, com a participação do participante no dia 27/06/2019 resultando em uma força de preensão satisfatória, conseguindo erguer objetos com mais de 2kg, resultando na alternativa final (Figura 21).

Figura 21: Sistema interno 3



1: Estrutura
2: Engrenagens
3: Haste de movimentação dos dedos
4: Dedos
5: Motor

Fonte: Acervo do autor.

3.3.9 Estrutura da mão

O formato da mão e os testes foram desenvolvidos concomitante com a estrutura da prótese, no momento em que o participante testou a primeira versão da estrutura, no dia 12/11/2019. Ou seja, a mão projetada já estava impressa e fazia parte do sistema.

As dimensões dos dedos desta primeira versão foram baseadas no escaneamento da mão direita do participante. Contudo, no dia do teste o participante percebeu que os dedos da mão estavam muito curtos e desproporcional com o resto do projeto.

Embora esse modelo fosse baseado nas dimensões da mão direita, o projeto impresso nem sempre resulta em uma estética orgânica como o corpo humano. Dessa forma, o participante pediu para que os dedos da mão fossem um pouco maiores.

A segunda versão da mão, com os dedos mais compridos (aproximadamente 15 mm maior), foi testada pelo participante no dia 28/02/2020, mas, embora o comprimento estivesse bom, dessa vez ele ressaltou que os dedos estavam muito finos. Então, novamente o modelo da mão foi alterado, desenvolvendo dedos mais grossos (aproximadamente 4 mm mais espessos). Assim, no dia 27/06/2020, ao testar este modelo, a prótese mão foi aprovada, resultando até mesmo, segundo o participante, em uma “pega mais firme e adequada”.

3.3.10 *Liner*

A partir de pesquisas de similares encontrou-se o *Liner*, uma espécie de meia produzida de silicone macio, que fica sobre o coto da amputação, utilizado para mais conforto do encaixe da prótese. Assim, optou-se por produzir algo semelhante neste estudo, sendo analisados os possíveis materiais, como silicone ou impressão em Poliuretano Termoplástico (TPU), que é um filamento flexível para a produção do *Liner*. Para estudar o comportamento desses materiais foram realizados testes: primeiro com o TPU e depois com o silicone. Com isto foi moldada uma peça de teste com dimensões de 30 mm x 40 mm x 2 mm, com formatos hexagonais na parte superior. Várias amostras foram impressas, cada uma com algum parâmetro de impressão diferente.

Verificou-se então que a impressão em TPU é muito mais lenta, necessitando de um tempo consideravelmente maior em relação a materiais como ABS e PLA e que o acabamento também não era satisfatório. Outro ponto negativo é que, mesmo as peças apresentando-se flexíveis, não transmitiam uma sensação agradável em contato com a pele.

Portanto, foram iniciados os testes com o silicone. Como o *Liner* é um produto que fica em contato direto com a pele, foram selecionados 3 tipos de silicone atóxicos, com certificado *Skin Safe*, próprios para contato com a pele, cada um deles com uma flexibilidade e maciez diferentes. Foram eles:

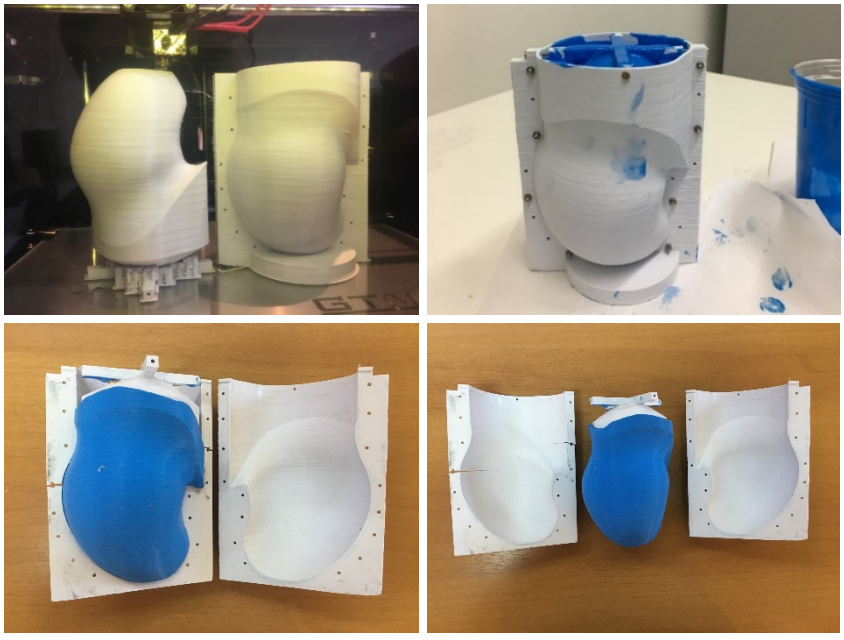
- Dragon Skin 10;
- Ecoflex 00-20; e
- Ecoflex 00-30

Dessa forma, no dia 28/02/19 foi explicado ao participante a função do *Liner* e apresentado as amostras de cada silicone selecionado. O participante testou cada amostra tateando e friccionando cada uma na pele, a fim de definir a mais confortável, tendo optado pelo Ecoflex 00-20, o qual transmitia a sensação mais macia e agradável ao toque. Contudo, o seu custo era bem elevado. Sendo assim, para o desenvolvimento dos modelos para testes do *Liner,* foi utilizado um silicone azul genérico, de custo mais baixo e o Ecoflex 00-20 foi usado apenas no modelo final.

Para confeccionar o *Liner* da forma mais agradável possível para o participante, foram utilizados o modelo 3D gerado através do escaneamento do membro superior com malformação e o modelo usado para a fabricação do encaixe do coto. Esses projetos foram modificados para que o encaixe funcionasse como um molde negativo e o formato do membro superior fosse o molde positivo, com um espaço de 4 mm entre os dois.

As duas formas foram impressas em 3D, posicionadas e fixadas corretamente com o auxílio de parafusos e o silicone despejado no vão entre as peças. Após algumas horas, conforme o tempo de cura do silicone, os moldes puderam ser abertos para verificar o resultado (Figura 22 e 23). Com isto, foi produzida a versão final do *Liner*, com o silicone escolhido.

Figura 22: Processo de produção do *Liner*



Fonte: Acervo do autor.

Figura 23: Resultado final do Liner com silicone Ecoflex

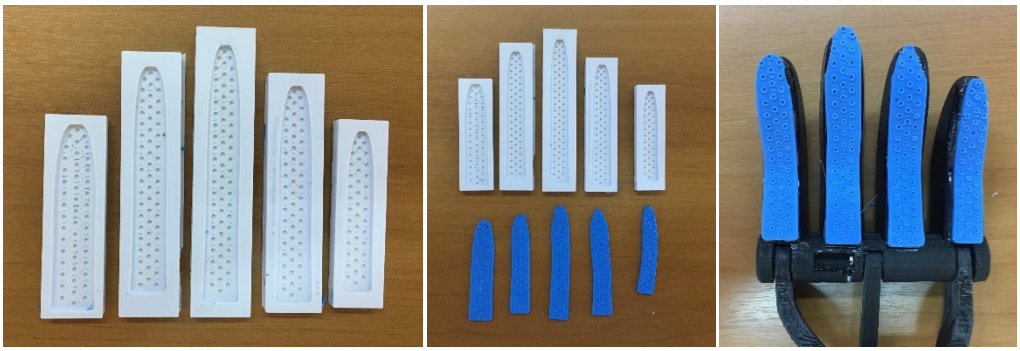
Fonte: Acervo do autor.

3.3.11 Pega

Para que os objetos não escorregassem quando o participante tentasse pegá-los com a prótese foi preciso utilizar, na parte interna dos dedos, algo que desse boa aderência. Para isso foi utilizado o mesmo silicone aplicado no *Liner*: os testes foram realizados com silicone azul e o modelo final com silicone Ecoflex.

Foram projetados e impressos em 3D moldes no formato desejado, que depois foram preenchidos com silicone. Após a cura, o silicone foi colado na superfície interna dos dedos, conforme a figura 24.

Figura 24: Processo de produção da pega



Fonte: Acervo do autor.

O primeiro modelo foi projetado para que o silicone ficasse com pequenos círculos na superfície com o intuito de facilitar a pega, no entanto foi percebido que

se o silicone fosse liso era maior a aderência sobre os objetos. Para facilitar o uso da prótese, foram colocadas algumas chaves táteis sob o silicone (Figura 25), para que ao segurar algo elas fossem ativadas e parasse o movimento de fechar, evitando que o objeto fosse esmagado.

Figura 25: Mão com pega de silicone e chave tátil

Fonte: Acervo do autor.

3.3.12 Envelopamento

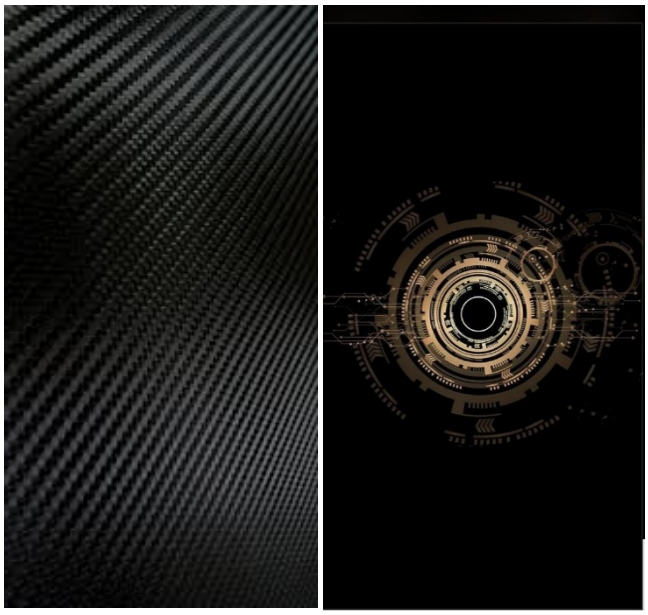
Para finalizar a questão estética da prótese, foi pensado em algo que fosse fácil de produzir, com baixo custo, que pudesse ser personalizado e que o participante pudesse trocar de acordo com seu desejo, ampliando o domínio estético do artefato. Com isto foi proposto a utilização da técnica de envelopamento, que consiste na aplicação um adesivo com a cor/ilustração desejada, cobrindo toda a superfície do objeto.

A princípio a ideia foi que a parte do antebraço pudesse ser trocada por novos modelos impressos em 3D, contudo a personalização seria limitada aos recursos desta tecnologia. Dessa forma, optou se por envelopar duas capas com adesivos personalizados, aumentando as opções de desenhos, cores e texturas.

Durante uma reunião no dia 28/02, foram selecionadas as ilustrações para a capa. Foi explicado ao participante o processo do envelopamento, mostrando alguns exemplos de textura de fibra de carbono em diversas cores. Ressaltou-se também que a ilustração não poderia ser algo muito complexo, pois o tipo de impressão e o formato curvo da prótese poderiam alterar o resultado. Assim, o

participante selecionou três possíveis ilustrações em um banco de imagens gratuito. Por fim, o mesmo optou por confeccionar uma das capas com a textura de fibra de carbono e a outra com uma ilustração (Figura 26).

Figura 26: Adesivos



Fonte: Site Freepik

3.4 Procedimentos Metodológicos: Teste de usabilidade

A avaliação de usabilidade baseou-se em três processos de abordagem, sendo dois qualitativos (Entrevista e Diário de Utilização) e um quantitativo (adaptação do QuickDASH).

3.4.1. Usabilidade - Entrevista

Após a finalização da prótese, foram aplicadas entrevistas semi abertas, sendo uma delas antes da disponibilização da mesma; e outra após sua utilização (segunda etapa), visando verificar a expectativa (antes do recebimento do artefato) e a satisfação do participante (após o uso do artefato). Foram previstas 4 questões em cada etapa, contudo, durante as entrevistas foram acrescentadas outras 2 questões em ambas as etapas. As entrevistas redigidas por completo estão no Apêndice C e D.

A primeira etapa da entrevista foi aplicada no dia 26/06/2020, antes da entrega da prótese ao participante; e foram realizadas as seguintes questões:

- Você teve interesse ou utilizou algum tipo de prótese na sua vida?
- Você também nunca teve contato com alguma prótese?
- Quais são as suas expectativas com a utilização da prótese?
- Em quais atividades você acredita que a prótese irá te auxiliar ou te atrapalhar?
- Você já sentiu o preconceito das pessoas em relação a sua condição?
- Qual reação você acredita que as pessoas ao seu redor terão ao te ver utilizando a prótese?

A segunda parte da entrevista foi realizada no dia 30/06/2020, por internet (vídeo chamada), após o período de utilização, com a aplicação das seguintes questões:

- Suas expectativas sobre a utilização da prótese foram alcançadas?
- A limitação da abertura mão foi um ponto negativo? Tem algo mais que poderia ser melhorado?
- De fato, em quais atividades a prótese te auxiliou ou te atrapalhou?
- Qual reação que as pessoas ao seu redor tiveram ao te ver utilizando a prótese?
- Em algum momento você se sentiu desconfortável com a utilização da prótese?
- Você acha que cansa mais mandar o sinal do músculo ou o peso da prótese?

Ao final, os dados foram processados, permitindo analisar o atendimento (ou não) das expectativas do participante.

3.4.2. Usabilidade - Diário de Utilização

Entre as duas entrevistas descritas anteriormente, foi aplicado um diário de utilização, cujo objetivo foi acompanhar a percepção do participante no uso cotidiano da prótese. Durante três dias de uso, este diário foi enviado por áudio e/ou vídeo, via aplicativo de troca de mensagens, em dois momentos do dia. Foram apresentados o relato das principais atividades realizadas pelo participante; e quais facilidades ou dificuldades durante o uso.

3.4.3. Usabilidade - QuickDASH (adaptado)

Havia a previsão de se aplicar o teste *Disabilities Of The Arm, Shoulder And Hand* (DASH), em sua versão curta: QuickDASH, desenvolvido pela *American Academy of Orthopaedic Surgeons*, para detectar mudanças na função do membro superior; e tem como objetivo verificar a eficácia e eficiência da prótese após a aprendizagem de uso pelo participante (FRANCHIGNONI et al., 2011).

Contudo, com a pandemia de SARS-CoV-2, e considerando a condição de grupo de risco (do participante), o teste (que inicialmente seria aplicado em Laboratório) foi adaptado e aplicado via internet (vídeo chamada).

Nesse cenário, a prótese foi higienizada com álcool 70%, embalada em plástico bolha e dentro de uma caixa para ser entregue ao participante de forma segura. Também foi enviado para o participante um link de um vídeo tutorial online, com explicação sobre a utilização, funcionalidades e limpeza da prótese.

A avaliação foi realizada pelo participante em sua casa e acompanhada remotamente pelo pesquisador no laboratório, sendo que o teste envolvia a realização de atividades da vida diária pelo participante, sendo uma sem o uso da prótese e outra com o uso da prótese, sendo:

1 - Carregar duas sacolas com 1kg de alimento cada;

2 - Cortar um alimento (banana);

3 - Abrir um pote disponível na cada do participante;

4 - Abrir e fechar uma porta;

5 - Colocar e retirar uma blusa ou agasalho;

6 - Passar um pano (limpar) na janela.

As atividades foram realizadas em dois momentos distintos:

Ao final de cada atividade o participante avaliou o procedimento utilizando uma escala de Likert de cinco âncoras, sendo:

1 - Não houve dificuldade

2 - Houve pouca dificuldade

3 - Dificuldade moderada

4 - Dificuldade severa

5 - Não conseguiu fazer

4 RESULTADOS

Os resultados obtidos com esse estudo estão apresentados em duas seções, uma descrevendo os resultados do desenvolvimento do produto utilizando os métodos de co-criação, incluindo a apresentação e caracterização do artefato; e outro com os resultados da usabilidade de prótese finalizada.

4.1 Co-design no desenvolvimento do produto

O processo de CoD de uma PTM foi descrito anteriormente e a síntese dos resultados estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Etapas do Co-Desing

Etapas Co-Design				
Dia	**Etapa**	**Versão**	**Forma**	**Participação do usuário**
03/09/2019	Painel	Painel semântico	Seleção de imagens baseadas nos gostos do participante para criação de um painel com referências.	Participante indicou as imagens que mais o interessava, de acordo com seus gostos pessoais.
03/09/2019	Encaixe do coto	Encaixe em "U"	Encaixe em formato de U, com e sem revestimento em EVA e Neoprene.	Participante, ao utilizar o protótipo, pontuou pressão excessiva do modelo no braço. A textura do estofamento também era desconfortável. Não soube propor soluções.
03/09/2019	Teste mioelétrico	Primeiro teste mioelétrico	Pulseira sensor EMG posicionada no bíceps e tríceps do participante. Sistema foi ligado ao Arduino com leds, para verificar os movimentos que o participante conseguia realizar.	Participante conseguiu emitir alguns sinais, contudo sem controle sobre eles, devido a falta de consciência muscular.
30/09/2019	Encaixe do coto	Encaixe em "U" vazado	Encaixe permaneceu em formato de “U”, mais espesso, arredondado e vazado em sua volta, permitindo a respiração da pele, além de um engate para o antebraço da prótese.	Participante pontuou que o modelo ainda estava desconfortável, pressionando o membro. Não soube propor soluções.
30/09/2019	Teste mioelétrico	Segundo teste mioelétrico (com garra impressa)	Foi impressa um artefato em formato de garra, ligado ao Arduino e programado para movimentar com qualquer sinal EMG. Novamente a pulseira sensor EMG foi posicionada no bíceps e tríceps do participante.	Participante conseguiu emitir 6 tipos de sinais diferentes. Três desses sinais foram programados para abrir a garra e outros três para fechar. Contudo participante relatou que ainda não conseguia pleno controle dos movimentos.
22/10/2019	Encaixe do coto	Encaixe em "U" espesso e com articulação	Encaixe mais espesso, com articulação no cotovelo.	Participante relatou que o encontro das peças do modelo incomodava e prejudicava a movimentação do cotovelo.
22/10/2019	Encaixe do coto	Encaixe em formato de "concha"	Encaixe em formato de "concha", preservando o formato real do coto.	Participante descreveu maior conforto, firmeza e possibilidade de maior movimentação do cotovelo.

22/10/2019	Teste mioelétrico	Terceiro teste mioelétrico (com garra impressa)	Nova programação desenvolvida, elaborada para reconhecer qualquer sinal enviado pela pulseira sensor EMG, para abrir ou fechar a garra.	Participante relatou facilidade ao enviar os sinais para fechar ou abrir a garra, controlando melhor os movimentos.
12/11/2019	Encaixe do coto	Encaixe em formato de "concha" adaptado	Encaixe em "concha" adaptado, com maior espessura das paredes e bodas arredondadas.	Participante aprovou do modelo final como o mais confortável.
12/11/2019	Teste mioelétrico	Quarto teste mioelétrico (com mão impressa)	A programação foi aprimorada para que os movimentos de abrir e fechar ocorressem de maneira mais lenta.	O participante utilizou esse sistema com a prótese completa, ficando satisfeito com os resultados.
12/11/2019	Design da mão	Primeira versão da mão com 5 dedos	Dimensões dos dedos modelados e impressos conforme escaneamento da mão direta do participante.	Participante achou o formato da mão desproporcional ao resto da prótese, sugerindo a solução de aumentar o tamanho dos dedos.
28/02/2020	Design da mão	Segunda versão da mão com 5 dedos	O tamanho dos dedos foi modificado para ficar aproximadamente 1,5 cm maiores.	Participante ainda não gostou das proporções e sugeriu para que os dedos fossem mais espessos.
28/02/2020	Estrutura e força	Servomotor com caixa de redução	Utilização de caixa de redução e engrenagens para aumentar a força da prótese.	Participante testou a prótese, conseguindo levantar no máximo 200g. Concordou que a prótese resultou em pouca força e não soube sugerir melhorias.
28/02/2020	Liner	Escolha do silicone para Liner	Foi explicado ao participante a função do *Liner* e apresentado 3 tipos de silicone para a composição do artefato.	Participante testou cada amostra tateando e friccionando sobre a pele, para verificar qual teria o toque mais agradável. Dessa forma, foi selecionado o silicone Ecoflex 00-20
28/02/2020	Envelopamento da capa	Escolha das ilustrações para capa	Escolha de duas ilustrações para personalizar a capa da prótese, sendo possível trocá-las quando desejado.	Participante escolheu a ilustração de uma das capas em um banco de imagens gratuito e a outra capa com adesivo de textura de fibra de carbono.
27/06/2020	Design da mão	Terceira versão da mão com 5 dedos	A espessura do dedo foi modificada para ficar aproximadamente 4 mm mais espessa.	Participante gostou do resultado, informando que, com as alterações, até mesmo a pega estava mais firme.

27/06/2020	Estrutura e força	Motor de passo com rosca infinita	Utilização de um motor de passo para aumentar a força da prótese.	Participante testou a prótese, levantando uma sacola com aproximadamente 2 kg, aprovando o resultado.

Ao final do processo de produção de CoD, a prótese produzida (Figura 31) apresentou as seguintes características:

- Comprimento total: 45,5 cm;
- Peso total: 980 g;
- Movimentos que realiza: flexão e extensão dos dedos da mão;
- Pulseira sensor EMG;
- Liner de silicone.

A prótese caracteriza-se por ser um produto cuja a superfície é brilhante e plástica e cor preponderante preta, com envelopamento em textura de fibra de carbono (Figura 27) e ilustração (Figura 28). Destaca-se que na base da face anterior do antebraço existe uma chave de liga/desliga do sistema (Figura 29) também nesta face próximo a região a conexão com a mão há um local de deposição das baterias (Figura 30).

Com relação aos custos, observa-se que para a produção da prótese foi de USD 1,064.42 e do *Liner* USD 175.74. Nas tabelas 3 e 4 estão listados todos os materiais utilizados em cada item. Estes valores, no entanto, não levam em consideração materiais utilizados para testes, custo por tempo de pesquisa e tempo de modelagem 3D, que deveriam ser contabilizados em caso de comercialização. O valor da hora de impressão e escaneamento 3D foram estabelecidos com base nos valores cobrados por uma empresa comercial, no mercado brasileiro.

Segue, nas tabelas 3 e 4, a planilha de custos da prótese e do *Liner.*

Tabela 3: Custos de produção da prótese.

Item	Quantidade	Valor unitário (USD)	Subtotal (USD)
Escaneamento 3D	3 horas	34.24	102.72
Impressão 3D	62 horas	11.41	707.42
Silicone dedos	100 gramas	0.08	8.00
Arduino pro mini	1 unidade	6.61	6.61
Sensor EMG	1 unidade	95.73	95.73
Motor de passo Nema 17	1 unidade	13.61	13.61
Mini driver ponte H L298n	1 unidade	2.22	2.22
Regulador de tensão	1 unidade	4.05	4.05
Baterias recarregáveis	4 unidades	17.57	70.28
Recarregador de pilhas	1 unidade	27.39	27.39
Parafusos	42 unidades	0.05	2.10
Chave tátil	5 unidades	0.25	1.25

Led	1 unidade	0.22	0.22
Conjunto de fios	1 unidade	4.56	4.56
Envelopamento	1 unidade	18.26	18.26
		Total	**1.064.42**

Tabela 4:Custos de produção do Liner

Item	Quantidade	Valor unitário (USD)	Subtotal (USD)
Impressão 3D	14 horas	11.41	159.74
Silicone *Liner*	200 gramas	0.08	16.00
		Total	**175.74**

Figura 27: Prótese com textura de fibra de carbono

Fonte: Acervo do autor.

Figura 28: Prótese com ilustração

Fonte: Acervo do autor.

Figura 29: Botão liga/desliga

Fonte: Acervo do autor.

Figura 30: Cavidade da bateria

Fonte: Acervo do autor.

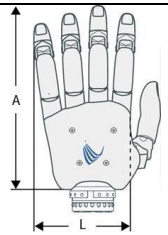
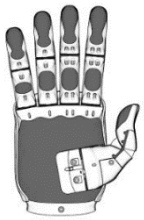
Figura 31: Prótese completa, com *Liner* e sensor EMG

Fonte: Acervo do autor.

A impressão 3D, junto com o escaneamento, também foram importantes ferramentas para o resultado do produto. A possibilidade de impressão e reimpressão das peças possibilitou as adequações da estrutura de acordo com as necessidades do projeto e desejos do participante. Além disso, a utilização de tecnologias CAD/CAM e o sistema Arduíno, viabiliza os valores de produção da prótese.

A prótese desse estudo teve um custo de produção de USD 1,064.42, que é um valor bem inferior ao preço das próteses mioelétricas disponóveis no mercado. O comparativo médio de 3 próteses transradiais mioelétricas segue na tabela 5. O valor da prótese desenvolvida nesse estudo, ainda que com os acréscimos comerciais, se mostra acessível para convênios com prefeituras, ongs e projetos sociais que poderão oferecer uma TA mais avançada para a comunidade.

Tabela 5: Comparativo das próteses

Produto		Nacionalidade	Site	Características	Materiais	Valores
	Bebionic	Alemanha	www.ottobockus.com	Peso: entre 369g e 698g (mão). Movimentos: dedos independentes e até 14 gestos diferentes.	Aço Alumínio Titânio Nylon PVC	USD 25.000,00 *valor apenas da mão
	**Vicent Evolution**	Alemanha	www.vincentsystems.de	Peso: 386 g (mão) Movimentos: 14 gestos diferentes		USD 48.600,00 *valor apenas da mão
	**Hero Arm**	Reino Unido	www.openbionics.com	Peso: 280g e 346g (mão) Movimento: 3 gestos diferentes		USD 12.880,00
	Prótese do estudo	Brasil		Peso: 980 g (prótese completa) Movimentos: 2 gestos diferentes.	PLA ABS	USD 1.064,42

Fonte: Autor

4.2.1 Resultados de Usabilidade - Entrevista

Os resultados da entrevista são apresentados de modo descritivo. Portanto o participante ressaltou que, por ter nascido com a malformação, acabou se adaptando desde de criança a utilizar exclusivamente o membro superior direito em suas atividades. Dessa forma, ele nunca teve contato ou se interessou em utilizar uma prótese, visto que não se sente incapaz de realizar ações com apenas com o membro superior esquerdo.

Sobre as expectativas em participar dessa pesquisa, o participante relatou ter interesse na experiência de realizar atividades que ele já faz com o membro superior direito, mas acredita que a movimentação do membro superior com a prótese não seria integralmente igual.

Com relação a percepção de preconceito, o participante relatou que isso foi uma questão importante na sua vida e que foi superada após os 18 anos de idade. Mas que hoje vive muito bem com o próprio corpo; e por isso acredita que a reação das pessoas próximas a ele, ao vê-lo com a PTM seria de uma surpresa boa, sem rejeições. Ele finalizou a entrevista contando que os amigos próximos, quando ficaram sabendo do estudo, acharam a ideia muito interessante.

Na segunda parte da entrevista o participante afirmou que as expectativas que ele tinha em relação a utilização da prótese foram atendidas. Ressaltou que já esperava não poder fazer coisas extraordinárias e que a única coisa que o incomodou foi o fato de a mão não realizar um longo movimento de extensão das falanges, limitando a pega exclusivamente aos objetos pequenos.

Durante os dias de testes também sentiu dificuldades em utilizar a prótese no trabalho (em home-office). Descreveu que, como também utiliza o membro superior esquerdo na hora de digitar, a prótese acabou o confundindo.

Em relação à reação das outras pessoas, ele ficou surpreso com a aceitação de todos e destacou que sua mãe, quando o viu com a prótese, ficou impressionada com o funcionamento e tecnologia.

Ressaltou que não sentiu nenhum desconforto emocional ao utilizar a prótese e que o desconforto físico foi em relação ao cansaço de realizar a contração dos músculos para emitir os sinais mioelétricos para a prótese. Em relação ao peso da prótese, embora seja considerável, não foi algo que o incomodou.

4.2.2 Resultados de Usabilidade - Diário de utilização

Os resultados do Diário de Utilização também estão apresentados de forma descritiva. No final do dia 27/06/2020, o participante enviou o primeiro relato, iniciando sobre o *Liner*, que ficou apertado no coto, inviabilizando seu uso. Contudo, mesmo sem o Liner, o participante relatou que não houve incômodo com a pele em contato direto com o encaixe do coto.

Descreveu que no início teve dificuldade com a dinâmica dos sinais mioelétricos enviados da pulseira para a prótese, tendo o cuidado de pegar apenas objetos leves e menores nesse período. Também relatou dificuldades em enviar o segundo sinal para abrir a mão, no entanto, conforme foi se acostumando, ele encontrou a melhor maneira de enviar o sinal.

O peso da prótese foi citado. Com o passar das horas ou do número de ações que tentava realizar, o peso acabava deixando as atividades cansativas. Dessa forma, ele foi orientado a não exceder seus limites e parar o uso caso necessário.

Enfim, com esse primeiro contato, o participante se animou com a utilização da prótese. Como foi um dia frio, ele colocou uma blusa de manga comprida e não achou desconfortável usá-la, visto que as dimensões da prótese são as mesmas que do seu membro superior direito.

No dia 28/06/2020 o participante relatou que utilizou pouco a prótese, justificada por questões particulares. Nesse dia ele utilizou o produto apenas durante a noite, fazendo alguns testes de pegar e soltar objetos e filmou para mostrar a familiares e divulgar nas redes sociais (Figura 32).

Figura 32: Preensão de objeto pequeno.

Fonte: Acervo do autor.

Nesses testes ele percebeu que dependendo do tipo e largura do objeto a mão não era capaz de pegar. Também mencionou dificuldades em realizar alguns movimentos, visto que a prótese não tem movimento de rotação do punho.

No último dia de teste, 29/06/2020, a intenção seria utilizar a prótese no ambiente de trabalho, contudo, a cidade de Bauru - SP passou para a zona vermelha de flexibilização por conta da pandemia de coronavírus. Dessa forma, os funcionários da empresa em que ele trabalha passaram o dia em home office. Durante o período de trabalho o participante utilizou a prótese, mas relatou que ela prejudicava mais do que ajudava nos comandos no computador.

Nesta noite, o participante foi até o supermercado, tendo sua primeira experiência de uso enquanto interagia com outras pessoas. Antes de sair de casa, colocou a prótese e ficou se olhando no espelho para imaginar a percepção que as outras pessoas teriam ao vê-lo. Ele contou que essa experiência foi muito especial, gerando diferentes tipos de sentimentos que ele nunca tinha tido.

Quando chegou no veículo teve a curiosidade de tentar dirigir com a prótese, contudo não se sentiu seguro, pois não teria o tato com os componentes do veículo que estava acostumado. Relatou também que, ao colocar o cinto de segurança,

sentiu uma pequena dificuldade, visto que está acostumado apenas a puxar o cinto e, desta vez com a prótese, constatou uma “barreira” que exigia passar o cinto com maior cuidado.

O participante relatou que, normalmente, quando está com o membro superior esquerdo parado, fica com o cotovelo flexionado. Mas ele achou que ficar dessa forma com a prótese passaria uma impressão robótica que não queria. Então, ao chegar ao supermercado, ele deixou o membro superior mais relaxado, para dar naturalidade a prótese.

Já dentro do supermercado o participante fez alguns testes (Figura 33), pegando os produtos na prateleira. Em um momento específico, relatou que precisou tirar a prótese do braço para reiniciá-la e com isso algumas pessoas notaram e pararam para ver. Ele disse que essas pessoas olharam com cara de surpresa boa e em nenhum momento ele se sentiu menosprezado. Algumas dessas pessoas chegaram a conversar com ele, curiosos sobre o funcionamento da prótese.

Figura 33: Teste no supermercado

Fonte: Acervo do autor.

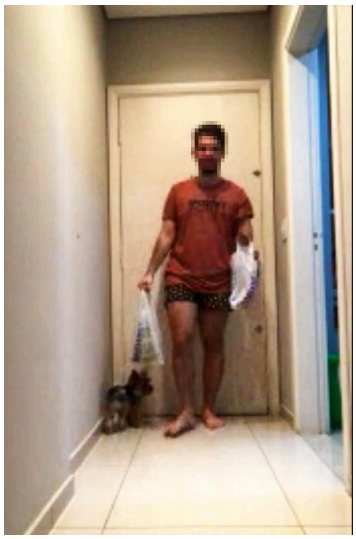
Como foi ao supermercado comprar poucos itens (comprou um refrigerante, um salgadinho e um bolo), ele não quis pegar carrinho ou cestinha. Contou que está acostumado a apoiar os produtos no membro superior esquerdo quando compra poucos itens; e dessa vez ele apoiou os itens na prótese com sucesso.

No fim do dia, destacou novamente o sentimento de aceitação ou não das pessoas de seu convívio. Se a PTM permitiria melhor aceitação ou, pelo contrário, maior repulsa; ou ainda, se ele se sentiria incluído ou se a PTM destacaria mais a diferença dele para as outras pessoas. Assim, avaliou que a experiência foi muito boa e que ele pode ter uma ideia de como seria se tivesse o membro superior esquerdo, sem as limitações que tem no dia a dia.

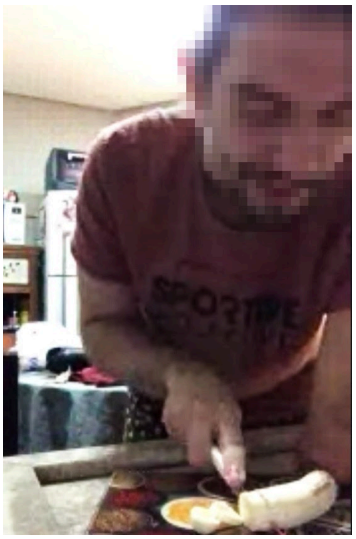
4.2.3 Resultados de Usabilidade - QuickDASH (adaptado)

O teste (Figura 34 e 35) foi aplicado no dia 30/06/2020, por vídeo chamada. Todos os materiais foram encontrados facilmente na casa do participante e as atividades foram de pouca dificuldade, garantindo a segurança física do participante no decorrer do teste.

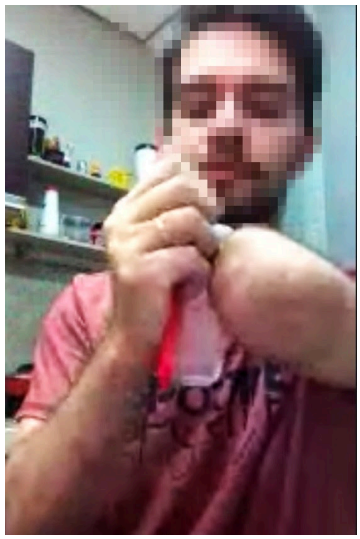
Figura 34: Teste Quickdash adaptado, sem a prótese



Carregar duas sacolas.



Cortar uma banana.



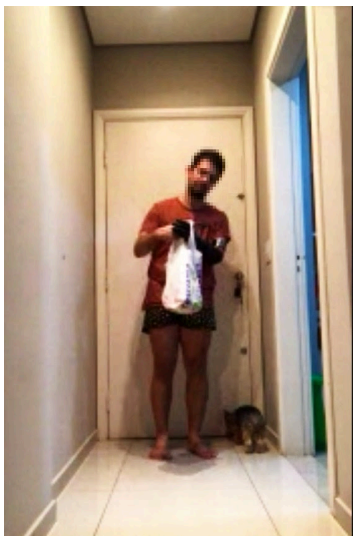
Abrir um pote.

Vestir uma blusa de frio.

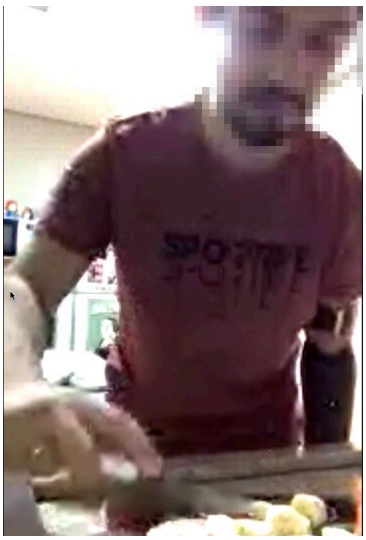
Limpar armário.

Fonte: Acervo do autor.

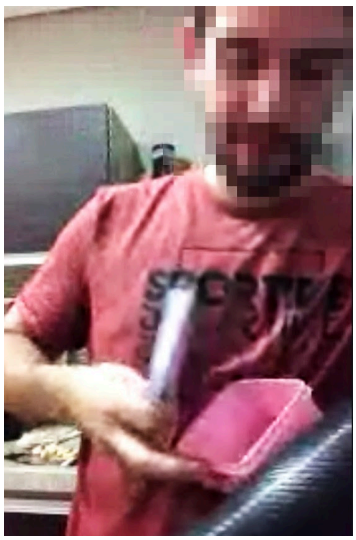
Figura 35: Teste QuickDash adaptado, com a prótese



Carregar duas sacolas.



Cortar uma banana.



Abrir um pote.

Vestir uma blusa de frio.

Limpar armário.

Fonte: Acervo do autor.

Na tabela 6 estão os dados coletados pela avaliação do participante em cada atividade. Observa-se que o QuickDASH - adaptado apontou que as atividades com o uso da prótese apresentaram índices mais elevados de dificuldade.

Tabela 6: Resultado QuickDASH adaptado

QuickDash - adaptado										
Atividade	**Atividades sem o uso da prótese**					**Atividades com o uso da prótese**				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Carregar duas sacolas com 1kg de alimento cada;	x							x		
Cortar uma banana;	x							x		
Abrir um pote de plástico;	x								x	
Abrir e fechar uma porta;	x					x				
Colocar e retirar uma blusa ou agasalho;	x							x		
Passar um pano em (limpar) uma superfície vertical.	x						x			

Legenda	
1	Não houve dificuldade
2	Houve pouca dificuldade
3	Dificuldade moderada
4	Dificuldade severa
5	Não conseguiu fazer

Fonte: Autor.

Neste teste, era esperado que as atividades fossem realizadas com maior facilidade sem a prótese, pois o participante já está acostumado a realizá-las com um único membro superior. As atividades de cortar a banana, abrir a porta e limpar uma superfície com um pano, mesmo com a prótese, ele realizou todo o movimento com o membro superior direito, deixando o esquerdo relaxado. Contudo, o fato de a prótese não atrapalhar essas atividades foi um êxito, demonstrando que com treinamento e prática, o uso pode ser mais fácil.

Por outro lado, o participante se mostrou realista com a expectativa do uso da prótese, tendo consciência de que esta não teria 100% das funcionalidades de um membro superior real e aceitou participar do estudo pois queria ter a experiência de ter ambos os membros superiores completos.

Ficou evidente que a satisfação do participante foi mais social do que físico, pois o mesmo levou anos para aceitar o seu corpo e, com a prótese, teria que passar novamente pelo processo de aceitação da autoimagem. Ele sentiu uma surpresa boa quando usou a prótese no supermercado e viu a reação positiva das pessoas ao seu redor. Ele informou que a simples experiência de abrir e fechar a mão biônica por meio de sinais que o seu próprio músculo emitia já foi algo extraordinário. E as dificuldades encontradas durante o uso cotidiano, como por exemplo o peso ou o esforço da contração dos músculos para ativar a prótese, não deixaram o participante desconfortável.

5 DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo relatar um “case” em que se aplicou as técnicas do CoD - com a participação direta de um potencial usuário - e tecnologias de escaneamento e impressão 3D, no desenvolvimento de uma PTM de baixo custo. Os resultados gerais demonstram que, tanto a técnica de CoD, quando o teste de usabilidade, foram essenciais para compreender em quais etapas do projeto o participante apresentou efetiva participação e como isto influenciou o design do produto, especialmente quanto a sua usabilidade.

Com relação ao CoD, o presente estudo demonstra uma efetiva contribuição para o desenvolvimento da PTM, uma vez que aproximou o participante na maioria das etapas projetuais, trazendo contribuições efetivas para o resultado do artefato. Isto parece corroborar com Nielsen (2010), o qual aponta que com o CoD o participante faz parte da coleta de conhecimento, geração de ideias e desenvolvimento de conceitos. Então, o designer (que também pode ser o pesquisador) fornece as ferramentas para a idealização e projeta o processo de inovação para que, juntos, designer e usuário, colaborem nas ferramentas de idealização, e por fim, o designer dá forma às ideias.

Além disto, o emprego do CoD foi de grande utilidade para o desenvolvimento da prótese, por possibilitar ao designer uma visão mais realista, das necessidades e desejos do potencial usuário. Assim, com as correções e ajustes rápidos do projeto, ainda durante o seu desenvolvimento, evitou-se o desperdício de tempo e o retrabalho. Além disto, a interação do participante pelos princípios do CoD no desenvolvimento deste estudo foi primordial para um melhor resultado, o que é reiterado por Sanders e Stappers (2008), ao afirmarem a importância da participação ativa do indivíduo em todo o desenvolvimento do projeto.

Outro fator importante a ser considerado está relacionado ao tipo de artefato que foi desenvolvido. Por se tratar de uma PTM, pode-se considerar este artefato como algo personalizado. Este fato é evidenciado por Figliolia et al. (2019), os quais apontam a necessidade de envolvimento do indivíduo no desenvolvimento deste tipo de produto, evitando especialmente o “abandono” do mesmo diante as dificuldades de uso. No presente estudo, percebe-se que a co-criação com o participante foram importantes para o reconhecimento da prótese como algo

particular e complementar ao seu corpo. As dimensões de toda a prótese foram baseadas no escaneamento do membro superior esquerdo. As etapas do projeto, como formato da mão, envelopamento da prótese, cor do material, tipo do material, entre outros, foram explicados, discutidos e testados diretamente com o participante.

Contudo, o processo do CoD também apresentou alguns obstáculos. No levantamento das referências estéticas para o desenvolvimento do produto, o participante não se mostrava muito motivado, levando dias para dar um retorno. Entretanto, conforme o projeto foi se tornando mais palpável, o participante passou a se interessar mais, mesmo não tendo os conhecimentos técnicos específicos para a produção da PTM.

Apesar dos resultados do CoD terem se mostrado relevantes, os testes de usabilidade se apresentaram contraditórios: embora na entrevista e no diário de utilização o participante tenha demonstrado a boa recepção ao novo artefato, o QuickDASH (adaptado) apontou que as atividades prescritas foram pior avaliadas com o uso da prótese.

Provavelmente, por ser um teste quantitativo, o QuickDASH (adaptado) apontou problemas constatados por usuários que têm contato inicial com PTM quando adultos. Neste caso, é importante destacar que o participante apresentava malformação congênita, tinha 26 anos, sendo este o primeiro contato direto com uma PMS, o que pode ter contribuído para os resultados alcançados. Afonso (*et al*, 2009) destaca que, a prótese deve ser introduzida em crianças, com déficit congênito do membro superior, entre os 3 e os 9 meses, acompanhando o desenvolvimento psicomotor em todas as etapas do desenvolvimento da criança, como preensão, manipulação e transferência de objetos. A protetização mais tardia, entre os 2 e 5 anos, pode resultar em um maior índice de rejeição, pois nessa idade a criança já desenvolveu técnicas compensatórias. Esses mesmos autores comparam também a dificuldade de protetizar para crianças com malformação congênita, que raramente usam a prótese indicada, enquanto as crianças com amputações adquiridas usavam-na sempre. Dessa forma, introduzir a prótese desenvolvida em um indivíduo com malformação congênita e que nunca teve contato com próteses tornou-se uma limitação que pode ter refletido no teste de usabilidade.

De modo geral, esta iniciativa de aplicar CoD no desenvolvimento de uma PTM foi importante tanto para se conhecer novos processos de Design Ergonômico de TA, quanto para apresentar artefatos que atendam as expectativas dos usuários.

Figura 36: Participante com a prótese

Fonte: Acervo do autor.

De acordo com Biddis e Chau (2007), aumentar a ênfase na pesquisa participativa e satisfação do usuário garantirá que os futuros projetos protéticos preencham a lacuna existente entre laboratório de pesquisa, clínica e ambiente de vivência humana. Dessa forma, os autores enfatizam que os estudos futuros devem atentar, principalmente, para incluir a participação do usuário, em uma pesquisa multicêntrica mais ampla.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste estudo contou com um participante com malformação congênita no membro superior esquerdo, resultando em uma melhor compreensão de como é a realidade de uma PcD, quais são seus pontos de vista, quais são suas reais dificuldades e aspirações, permitindo assim a criação de uma prótese mais adequada, de baixo custo e fácil utilização.

Os objetivos foram alcançados, pois o CoD envolveu etapas de envolvimento efetivo do participante; e cujo resultado aplicado - prótese - foi bem recebido e, de modo geral, bem aceito pelo participante (com elevado nível de usabilidade) o que deve minimizar a possibilidade de abandono deste tipo de TA.

Particularmente, com relação aos testes de usabilidade (e, como era previsto), houveram dificuldades de adaptação e foi possível perceber que a PTM ainda necessita de melhorias. No entanto, isso não deixou o participante desanimado. Na verdade, houve mais percepção de dificuldades na realização das tarefas por parte do pesquisador do que pelo participante. Isso pode ser devido a diversos fatores, como por exemplo, o participante não querer desagradar o pesquisador; o participante se ver representado no produto e desejar que ele tenha um bom desempenho; ou por perceber que o produto traz benefícios, mesmo precisando de aperfeiçoamentos.

Com relação ao processo de desenvolvimento, é importantíssimo destacar que os métodos do CoD dependem de outros aperfeiçoamentos metodológicos, próprio do design dos produtos. Neste caso, as tecnologias 3D de escaneamento, modelagem e impressão demonstraram ser muito eficientes, facilitando o desenvolvimento do projeto pela possibilidade de criar vários protótipos diferentes - como, por exemplo, a modelagem da mão que precisou ser modificada várias vezes - e também pela exatidão das dimensões, permitindo a criação de um encaixe para o coto totalmente personalizado, produzido muito mais rápido do que o método convencional e que não gerou desconforto algum ao participante.

Do pondo de vista da inovação, é importante destacar que, embora o participante não tenha utilizado o Liner de silicone junto com a prótese, este produto pode ser bastante promissor, afinal, este demonstrou ser bem agradável em contato com a pele, é atóxico, resistente, pode ser muito mais barato do que os existentes no mercado e, aliado às formas de produção utilizadas neste estudo, ainda pode

ser personalizado para cada participante, diferentemente dos já existentes que são fabricados apenas em formato padrão.

Quanto ao produto final, nota-se que o mesmo apresentou características formais, especialmente demonstradas esteticamente por meio do envelopamento e demais elementos de acabamento, que tornaram o produto bem atrativo e de modo positivo (status), não apenas pelo usuário, mas principalmente pelas pessoas de seu convívio. Aspectos estéticos devem ser preconizados no desenvolvimento deste tipo de artefato.

O presente estudo apontou ainda que o CoD é uma ferramenta essencial para o desenvolvimento de próteses em geral - evidenciado na PTM em questão, especialmente quando associados às novas tecnologias de escaneamento 3D e prototipagem rápida.

Apesar de atingir os objetivos, o estudo abre outras lacunas para desenvolvimento futuro, como por exemplo: envolvimento de participantes que não tenham uma deficiência congênita; envolvimento de outras pessoas do círculo social do participante no processo de CoD; desenvolvimento de um maior número de testes de usabilidade, bem como por um período mais apropriado (extenso) de treinamento e avaliação; o envolvimento de outros profissionais (fisioterapeutas, psicólogos, engenheiros, tecnólogos de informação, ortopedistas) no CoD visando uma melhor qualidade geral no produto.

Por fim, e apesar dos limites apresentados, pode-se afirmar que os princípios do Design Ergonômico, aplicados por meio do CoD, podem ser uma boa estratégia para o desenvolvimento de PTM.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAS, C.; MALONEY-KRICHMAR, D.; PREECE, J. **User-Centered Design**. In Bainbridge, W. Encyclopedia of Human-Computer Interaction. Thousand Oaks: Sage Publications, p. 1–14, 2004.

AFONSO, C. et al. Amputações e Malformações Congênitas do Membro Superior na População Pediátrica - Revisão de 27 Anos. **Revista da Sociedade Portuguesa de Medicina Física e de Reabilitação**, vol 17, n. 1, ano 17, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9241-11: requisitos ergonômicos para trabalho de escritórios com computadores: parte 11 – orientações sobre usabilidade. Rio de Janeiro, p.3, 2002.

BIDDISS, E. A.; CHAU, T.T. Upper limb prosthesis use and abandonment: A survey of the last 25 years. **Prosthetics and Orthotics International**, Ontário, Canadá, int.31(3), p. 236 - 257, setembro, 2007.

BIDDISS, E. A.; CHAU, T.T. Upper-limb prosthetics: critical factors in device abandonment. **Am J Phys Med Rehabil,** 2007, 86, p.977–987, 2007.

BLOM, J.; FRENCH, T. The Aesthetics of Prosthetic Greaves: Co-Design for Expressing Personal Identity. **Making Futures**, Volume 5, ISSN 2042-1664, 2018.

BRASIL. **Diretrizes de atenção à pessoa amputada.** Brasília: Ministério da Saúde, 2013.

CARVALHO, J.; VOLPATO, N. **Prototipagem rápida**: tecnologias e aplicações. São Paulo: Edgard Blucher, 2007.

DONETTO, S.; PIERRI, P.; TSIANAKAS, V.; ROBERT, G. Experience-based co-design and healthcare improvement: realizing participatory design in the public sector. **The Design Journal**, v. 18, n. 2, 227-248, 2015.

DUL, J.; WEERDMEESTER, B. **Ergonomia prática**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

FERNANDES, F.; LUFT, C. P.; GUIMARÃES, F. M. **Dicionário brasileiro globo**. 23 ed. São Paulo: Globo, 1992.

FRANCHIGNONI, F. et al. Psychometric properties of QuickDASH e a classical test theory and Rasch analysis study**. Manual Therapy**, v. 16, p. 177-182, 2011.

GLASEMANN, M., KANSTRUP, A. M. Emotions on diabetes: a design case of user mock-ups by young people living with diabetes. **CoDesign**, 7(2), 123–130, 2011

GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, M. Development of Upper Limb Prostheses: Current Progress and Areas for Growth. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, 95,1013-4, 2014.

GULLIKSEN, J.; GORANSSON, B.; BOIVIE, I.; BLOMKVIST, S.; PERSSON, J.; CAJANDER, A. Key Principles for UserCentred Systems Design. **Human-centered software engineering**: Integrating Usability in the Software Development LifecycleHuman-Computer Interaction Series, v. 8, p. 17-36, 2005.

HUSSAIN, S.; SANDERS, E.B.N. Fusion of Horizons: Co-Designing with Cambodian Children Who Have Prosthetic Legs, Using Generative Design Tools. **CoDesign**. 8, 43–79, 2012.

IIDA, I; GUIMARÃES, L. **Ergonomia**: projeto e produção. 3ª ed, São Paulo: Blücher, 2016.

JORDAN, P. W. **An introduction to usability.** London: Taylor & Francis, 1998.

KATE, J. SMIT, G. BREEDVELD, P. 3D-printed upper limb prostheses: a review. **Disability and Rehabilitation**: Assistive Technology. 2017.

KLEINSMANN, M.; VALKENBURG, R. Barriers and enablers for creating shared understanding in co-design projects. **Design Studies**, volume 29, issue 4, july 2008. p.369-386.

KRUG, S. **Don't make me think: a common sense approach to web usability**. New Riders, 2000

LASPRILLA, A. J. R. et al. Poly-lactic acid synthesis for application in biomedical devices — A review. **Biotechnology Advances**, vol 30, 1, 321-328, 2012.

LEE, P. C.; KUO, W. F.; CHANG, F. C.; **Polymer**, v. 35, n. 26, p.5641-5650, 1994.

LOBACH, B. **Design Industrial**: Bases para a configuração dos produtos industriais. Trad. Freddy Van Camp. São Paulo: Edgard Blucher, 2001.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2007

MCFAARLAND, L.V., WINKLER, S.L.H., HEINEMANN, A.W., JONES, M., ESQUENAZI, A.: **Unilateral upper-limb loss**: satisfaction and prosthetic-device use in veterans and servicemembers from Vietnam and OIF/OEF conflicts. J. Rehabil. Res. Dev. 47, 299–316, 2010.

NIELSEN, J. **Usability engineering**. San Diego (CA): Academic Press, 1993.

OSVALDER, A. L. BLIGARD, L, O. **Usability and ergonomics in medical equipment**. In: Proceedings of the 39th Nordic ergonomics society conference, October 1–3 2007, Lysekil, Sweden, 2007.

PASCHOARELLI, L. C. **Design Ergonômico de Instrumentos Manuais**: Metodologias de Desenvolvimento, Avaliação e Análise do Produto. 1. ed. São Paulo: Blucher Acadêmico, 2011.

PORTAL NAÇÕES UNIDAS. **A ONU e as pessoas com deficiência.** Disponível em https://nacoesunidas.org/acao/pessoas-com-deficiencia/. Acesso em: 29 de julho de 2020.

RESNIK, L. Development and testing of new upper-limb prosthetic devices: Research designs for usability testing. **Journal of Rehabilitation Research & Development**, v. 48, n.6, p 697-706, 2011.

SANCHES DE LA GUIA, L.; CAZORLA, M. P.; DE-MIGUEL-MOLINA, B. Terms and Meanings of “Participation” in Product Design. From “User Involvement” to “Co-Design.” **The Design Journal**, 2017

SANDERS, Elizabeth B.N; STAPPERS, Pieter Jan. Co-creation and the new landscapes of design. **Co-design Journal**. Vol.4 No1. March, 2008, p.5 - 18, 2008.

SCHULMANN, D. **O Desenho Industrial**. Tradução de Maria Carolina. São Paulo: Papirus, 1994.

SECRETARIA NACIONAL DE PROMOÇÃO DOS DIREITOS DA PESSOA COM DEFICIÊNCIA. **Cartilha do censo 2010**: Pessoas com deficiência. Brasília: SDH-PR/SNPD, 2012. p.32. Disponível em: http://www.pessoacomdeficiencia.gov.br. Acesso em 09 de janeiro de 2017.

TAKAGAKI, L. K. Tecnologia de Impressão 3D. **Revista Inovação Tecnológica**, São Paulo, v.2, n.2, p.2840, jul./dez, 2012.

TULLIS, Thomas; ALBERT, Willian. **Measuring the user experience**: collecting, analyzing, and presenting usability metrics. Burlington: Morgan Kaufman, 2008.

VISSER, F. S. STAPPERS, P. J, VAN DER LUGT, R. SANDERS, E. B. N. Contextmapping: experiences from practice. In: **CoDesign**. 1:2, 119-149, 2005.

VUJAKLIJA I.; FARINA, D. **3D printed upper limb prosthetics**. Expert Review of Medical Devices, London, UK, 2018.

WILSON, S. ROPER, A. MARSHALL, J. GALLIERS, J. DEVANE, N. BOOTH, T. WOOLF, C. Codesign for people with aphasia through tangible design languages. In: **CoDesign**, 11(1), 21–34, 2015.

APÊNDICE A

Aprovação pelo Comitê de Ética e Pesquisa.

UNESP - FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO FAAC

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Análise da usabilidade de uma prótese biônica mioelétrica transradial de baixo custo produzida a partir de impressão 3D e design participativo

Pesquisador: BRUNO BORGES DA SILVA

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 12873519.5.0000.5663

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 3.412.136

Apresentação do Projeto:

O projeto trata da elaboração de próteses miolétricas utilizando impressão 3D através de um processo colaborativo entre os proponentes e pessoas com amputação transradial.

Objetivo da Pesquisa:

Os objetivos da pesquisa estão bem delineados e pormenorizados.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Foram previstos riscos de reações alérgicas ou incômodos devido às configurações iniciais do artefato, que serão esclarecidos ao participante no TCLE.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Não há comentários a serem realizados.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

O TCLE esclarece os riscos da participação na pesquisa e a saída do participante à qualquer momento. O TCLE prevê também que os cuidados médicos que vierem a ser necessários ocorrerão sem ônus ao participante.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Não há pendências.

Endereço: Avenida Engenheiro Luiz Edmundo Carrijo Coube nº 14-01
Bairro: VARGEM LIMPA **CEP:** 17.033-360
UF: SP **Município:** BAURU
Telefone: (14)3103-6055 **E-mail:** sta@faac.unesp.br

Considerações Finais a critério do CEP:

O Comitê de Ética em Pesquisa acata o parecer do relator.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1324806.pdf	10/06/2019 12:38:27		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_de_Pesquisa_Mestrado_2019_06_10.pdf	10/06/2019 12:37:14	BRUNO BORGES DA SILVA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_Mestrado_2019_06_10.pdf	10/06/2019 12:34:12	BRUNO BORGES DA SILVA	Aceito
Folha de Rosto	folha_de_rosto_assinada.pdf	01/05/2019 15:15:34	BRUNO BORGES DA SILVA	Aceito

Situação do Parecer:
Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:
Não

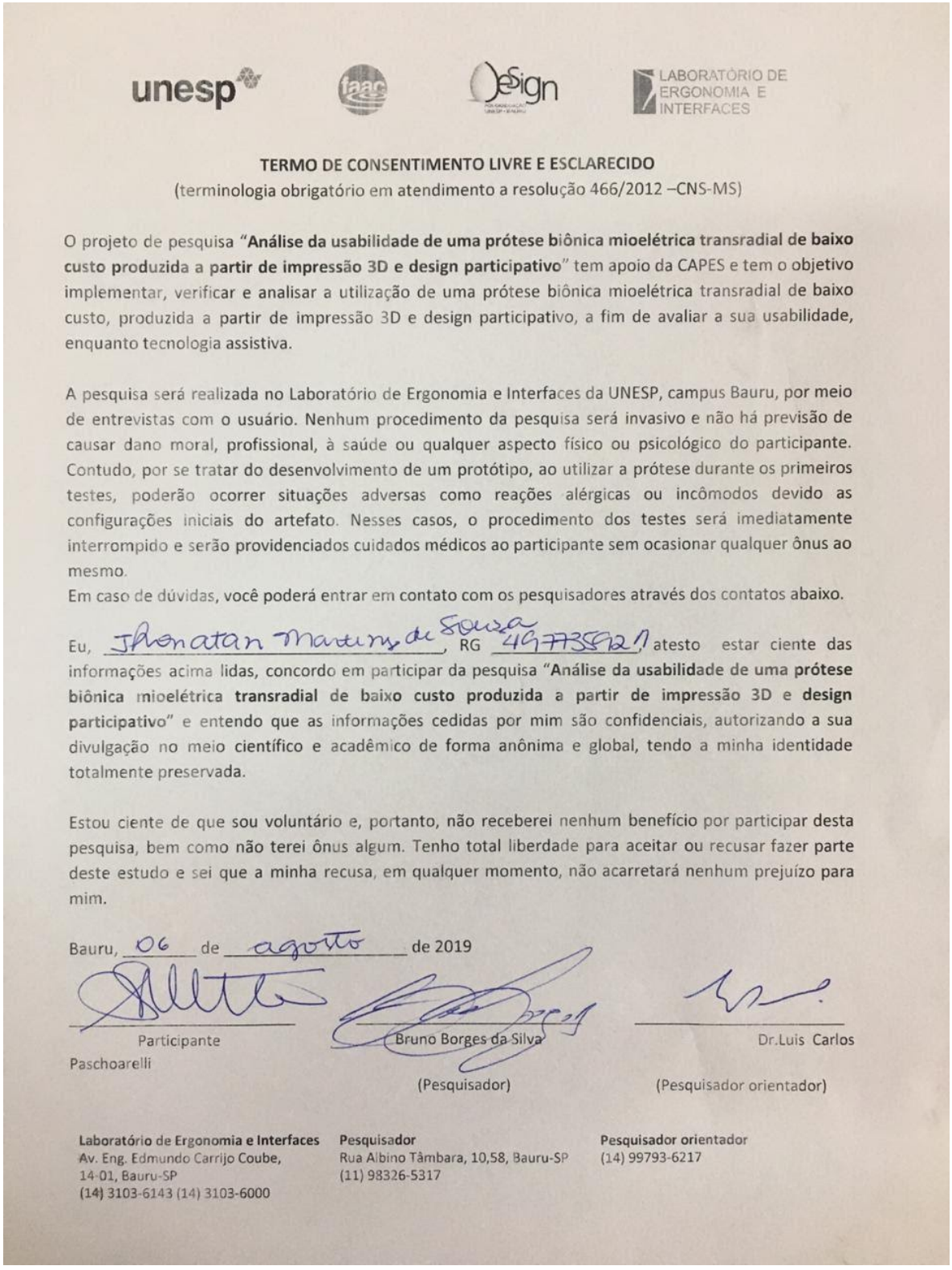
BAURU, 25 de Junho de 2019

Assinado por:
Luiz Antonio Vasques Hellmeister
(Coordenador(a))

Endereço: Avenida Engenheiro Luiz Edmundo Carrijo Coube nº 14-01
Bairro: VARGEM LIMPA **CEP:** 17.033-360
UF: SP **Município:** BAURU
Telefone: (14)3103-6055 **E-mail:** sta@faac.unesp.br

APÊNDICE B

Termo de consentimento livre e esclarecido.



unesp faac DeSign LABORATÓRIO DE ERGONOMIA E INTERFACES

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(terminologia obrigatório em atendimento a resolução 466/2012 –CNS-MS)

O projeto de pesquisa "**Análise da usabilidade de uma prótese biônica mioelétrica transradial de baixo custo produzida a partir de impressão 3D e design participativo**" tem apoio da CAPES e tem o objetivo implementar, verificar e analisar a utilização de uma prótese biônica mioelétrica transradial de baixo custo, produzida a partir de impressão 3D e design participativo, a fim de avaliar a sua usabilidade, enquanto tecnologia assistiva.

A pesquisa será realizada no Laboratório de Ergonomia e Interfaces da UNESP, campus Bauru, por meio de entrevistas com o usuário. Nenhum procedimento da pesquisa será invasivo e não há previsão de causar dano moral, profissional, à saúde ou qualquer aspecto físico ou psicológico do participante. Contudo, por se tratar do desenvolvimento de um protótipo, ao utilizar a prótese durante os primeiros testes, poderão ocorrer situações adversas como reações alérgicas ou incômodos devido as configurações iniciais do artefato. Nesses casos, o procedimento dos testes será imediatamente interrompido e serão providenciados cuidados médicos ao participante sem ocasionar qualquer ônus ao mesmo.
Em caso de dúvidas, você poderá entrar em contato com os pesquisadores através dos contatos abaixo.

Eu, Jhonatan Martins de Sousa, RG 49773592-1, atesto estar ciente das informações acima lidas, concordo em participar da pesquisa "**Análise da usabilidade de uma prótese biônica mioelétrica transradial de baixo custo produzida a partir de impressão 3D e design participativo**" e entendo que as informações cedidas por mim são confidenciais, autorizando a sua divulgação no meio científico e acadêmico de forma anônima e global, tendo a minha identidade totalmente preservada.

Estou ciente de que sou voluntário e, portanto, não receberei nenhum benefício por participar desta pesquisa, bem como não terei ônus algum. Tenho total liberdade para aceitar ou recusar fazer parte deste estudo e sei que a minha recusa, em qualquer momento, não acarretará nenhum prejuízo para mim.

Bauru, 06 de agosto de 2019

Participante

Bruno Borges da Silva
(Pesquisador)

Dr.Luis Carlos Paschoarelli
(Pesquisador orientador)

Laboratório de Ergonomia e Interfaces
Av. Eng. Edmundo Carrijo Coube, 14-01, Bauru-SP
(14) 3103-6143 (14) 3103-6000

Pesquisador
Rua Albino Tâmbara, 10,58, Bauru-SP
(11) 98326-5317

Pesquisador orientador
(14) 99793-6217

APÊNDICE C

Entrevista qualitativa parte 01, realizada no dia 26/06/2020, via video chamada.

- Você teve interesse ou utilizou algum tipo de prótese na sua vida?

Nunca tive interesse. Nunca foi uma vontade. Meus pais sempre me questionaram, mas para mim é algo que já me adaptei por ter nascido assim. Tudo para mim hoje é super comum. Eu nunca pensei em ter uma prótese porque tecnicamente eu não sou incapaz de fazer coisas do dia a dia.

- Você também nunca teve contato com alguma prótese?

Nada. Nunca tive contato.

- Quais são as suas expectativas com a utilização da prótese?

Uma das maiores era tentar experimentar a sensação de fazer coisas com o braço esquerdo o que já faço normalmente com o direito, como pegar objetos que são coisas que a prótese consegue me proporcionar.

- Em quais atividades você acredita que a prótese irá te auxiliar ou te atrapalhar?

Eu acho que ela me ajudaria nessas questões mais simples do dia a dia, de ter essa experiência de fazer com o braço esquerdo o que eu faço com o direito. É mais esse lance de pegar objetos, de ter um apoio. Em relação a atrapalhar, sinceramente eu não sei, talvez ergonomicamente, não sei se é essa a palavra, pelo material dela, mas dependendo do movimento do braço, estou usando o direito como exemplo [participante abre e fecha o braço direito], dependendo da movimentação eu não consiga fazer com o esquerdo. Essa parte da flexibilidade talvez possa atrapalhar em alguns momentos.

- Você já sentiu o preconceito das pessoas em relação a sua condição?

Sim. Na verdade, essa foi uma questão que demorou muito tempo para resolver comigo mesmo. Desde o começo havia uma superproteção da minha família. Então quando eu era menor e até conseguir entender e resolver essas

questões, já depois dos 18 anos mais ou menos, que foi quando eu comecei a sair mais, então antes disso era sempre muito complicado pra mim porque eu sempre pensava o que as pessoas iriam pensar de mim. E eu também já percebi comentários de pessoas em lugares públicos. Então durante um bom tempo foi uma coisa que eu tive muita vergonha de ser como eu sou, então eu sempre procurava esconder o braço. Eu acho que essas questões assim sempre rolam com as pessoas que já nascem com um tipo de deficiência. E ainda mais quando você é criança, você está começando a entender um pouco melhor as coisas, aí você começa a se perguntar o por que eu sou diferente de tal pessoa. Por exemplo, rolava esse tipo de questionamento com a minha irmã. Eu falava por que ela nasceu normal e por que eu tive que nascer assim. Mas hoje já é super resolvido. Não faz diferença nenhuma. Eu até acho que a sociedade está um pouco mais aberta também para acolher essas pessoas.

- Qual reação você acredita que as pessoas ao seu redor irão ter ao te ver utilizando a prótese?

Eu acho que pode ser uma surpresa, mas surpresa mais positiva. Não para o lado mais negativo de “ai nossa, o cara tem uma prótese” [participante utiliza uma entonação de desdém], nada no sentido negativo. Eu acho que talvez estimularia a reação dessas pessoas mais para esse lado mais legal. “Nossa, bacana, ele tá usando uma prótese” [participante utiliza uma entonação animada]. Eu penso que talvez possa ser isso porque as pessoas que convivem comigo, que fazem parte do meu círculo social, todas acharam super demais a ideia da prótese.

APÊNDICE D

Entrevista qualitativa parte 02, realizada no dia 30/06/2020, via vídeo chamada.

- As expectativas sobre a utilização da prótese foram alcançadas?

Foram. Assim, não dá para fazer coisas muito extraordinárias, mas para a rotina do dia a dia dá super. Tudo depende do tamanho do objeto. é que eu não peguei coisas pesadas, porque fiquei com medo. Acho que vai muito do tamanho do objeto, porque a mão não abre muito. Tem uma limitação, mas atende super bem sim.

- A limitação da abertura mão foi um ponto negativo? Tem algo mais que poderia ser melhorado?

Foi uma das coisas que eu percebi, que limitou um pouco. É que é diferente, nossos dedos eles abrem, então aqui é esse movimento [participante faz o movimento de abrir e fechar os dedos]. Então tem um limite de abertura da prótese. Acho que se fosse, nem sei se tem como, mas se tivesse a possibilidade de expandir a mão para pegar objetos maiores, seria legal.

- De fato, em quais atividades a prótese te auxiliou ou te atrapalhou?

O que me atrapalhou foi durante o trabalho, para usar o computador, ela me atrapalhou bastante porque eu uso esse braço [participante mostra o braço esquerdo] como se fosse outra mão para digitar. Então com a prótese eu fiquei meio perdido, tinha que usar só essa [participante mostra a mão direita] para usar o computador. E para ajudar, para coisas simples, de pegar algum objeto, de ter essa experiência de sentir como se eu tivesse um braço esquerdo.

- Qual reação que as pessoas ao seu redor tiveram ao te ver utilizando a prótese?

As pessoas acharam muita bacana. Eu até estava falando com a minha família minha mãe ficou chocada a hora que mostrei, porque até então eu só comentava com ela que eu estava participando do estudo e tudo mais. E na hora que eu mostrei ela achou tudo fantástico, uma coisa muito do futuro. Como que

consegue a pulseirinha pegar e mandar o estímulo para abrir e fechar. Então foi super positivo. Os familiares e os amigos de trabalho, todo mundo achou super bacana. O pessoal do trabalho queria muito ter visto a prótese ao vivo, então o pessoal ficou bastante interessado.

- Em algum momento você se sentiu desconfortável com a utilização da prótese?

Emocionalmente não. O desconforto físico foi o que eu já havia comentado, sobre usar muito. Dependendo da quantidade de ações que eu for fazer com ela, como eu tenho que contrair o músculo do braço, eu tenho que fazer um esforço, então chega uma hora que cansa.

- Você acha que cansa mais mandar o sinal do músculo ou o peso da prótese?

Eu acho que o músculo, porque tem que ter uma posição certinha da pulseira para ele pode pegar. Ela é pesadinha um pouquinho, mas não é um peso que incomoda.