UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP)
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS (EESC)
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA (SEM)

ARTUR VALADARES DE FREITAS SANTOS

Proposta de metodologia, da perspectiva da engenharia, para o projeto de dispositivos assistivos com abordagem centrada no usuário e o auxílio da manufatura aditiva, no contexto da Tecnologia Assistiva

São Carlos

2020

ARTUR VALADARES DE FREITAS SANTOS

Proposta de metodologia, da perspectiva da engenharia, para o projeto de dispositivos assistivos com abordagem centrada no usuário e o auxílio da manufatura aditiva, no contexto da Tecnologia Assistiva

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Projeto mecânico

Orientadora: Profa. Dra. Zilda De Castro Silveira

**ESTE EXEMPLAR TRATA-SE DA
VERSÃO CORRIGIDA.
A VERSÃO ORIGINAL ENCONTRA-SE
DISPONÍVEL JUNTO AO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
MECANICA DA EESC-USP.**

São Carlos

2020

Autorizo a reprodução total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

S231p Santos, Artur Valadares de Freitas
Proposta de metodologia, da perspectiva da engenharia, para o projeto de dispositivos assistivos com abordagem centrada no usuário e o auxílio da manufatura aditiva, no contexto da Tecnologia Assistiva / Artur Valadares de Freitas Santos; orientadora Zilda de Castro Silveira. São Carlos, 2020.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Área de Concentração em Projeto, Materiais e Manufatura -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2020.

1. Engenharia de projeto. 2. Projeto centrado no usuário. 3. Coprojeto. 4. Projeto inclusivo. 5. Projeto para customização em massa e personalização. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **ARTUR VALADARES DE FREITAS SANTOS**.

Título da tese: "Proposta de metodologia, da perspectiva da engenharia, para o projeto de dispositivos assistivos com abordagem centrada no usuário e o auxílio da manufatura aditiva, no contexto da tecnologia assistiva".

Data da defesa: 20/02/2020

Comissão Julgadora

Resultado

Prof. Dr. **Zilda de Castro Silveira**

(Orientador)

(Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP)

Aprovado

Prof. Associado **Franco Giuseppe Dedini**

(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

Aprovado

Dr. **Pedro Yoshito Noritomi**

(CTI Renato Archer)

Aprovado

Profa. Dra. **Luciana Bolzan Agnelli Martinez**

(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Aprovado

Dra. **Roberta de Fátima Carreira Moreira Padovez**

(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica:

Prof. Associado **Carlos de Marqui Junior**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Murilo Araujo Romero**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Enio e Cláudia e à minha irmã Amanda. À minha companheira de todos os momentos, Flavia. Ao caro amigo e professor, Eurípedes Barsanulfo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, sem o qual nada seria.

A Jesus, pelo amor incondicional.

A Eurípedes Barsanulfo, pela inspiração sempre presente.

Aos meus pais Enio e Cláudia e à minha irmã Amanda, pelo apoio irrestrito.

À querida companheira Flavia, pelo companheirismo e carinho de cada momento.

Aos queridos amigos, Cláudio e Cleusa, César e Rejane, pelo suporte fundamental.

À querida orientadora, Profa. Dra. Zilda de Castro Silveira, pela oportunidade, pelos aprendizados e pela amizade construída ao longo desses anos.

Aos amigos Frezzato, Ismael e Joaquim, pela amizade e pela convivência durante todos esses anos.

Ao amigo Rafael Rocha Mattazio, pelo auxílio inestimável na realização deste trabalho.

À Profa. Dra. Alessandra Cavalcanti, pelo aprendizado e pela colaboração no desenvolvimento deste trabalho.

Aos Profs. Drs. Daniel Capaldo Amaral, Pedro Yoshito Noritomi e Roberta de Fátima Carreira Moreira Padovez, pelas contribuições e sugestões durante a qualificação deste trabalho.

À Profa. Dra. Luciana Bolzan Agnelli Martinez, pelas contribuições valiosas para a realização deste trabalho.

À EESC/USP, pelo suporte estrutural e por todos os recursos que possibilitaram a execução deste trabalho.

Ao CNPQ, pelo financiamento por meio da bolsa de doutorado.

EPÍGRAFE

“Digo: o real não está na saída nem na chegada: ele se dispõe para a gente é no meio da travessia.” (ROSA, 1994, p. 86)

RESUMO

SANTOS, Artur Valadares de Freitas. **Proposta de metodologia, da perspectiva da engenharia, para o projeto de dispositivos assistivos com abordagem centrada no usuário e o auxílio da manufatura aditiva, no contexto da Tecnologia Assistiva**. 2020. 315 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

Tendo em vista a demanda crescente de projetos no contexto da Tecnologia Assistiva, sobretudo em razão da tendência global – ainda mais acentuada no Brasil – de envelhecimento populacional, como também para a consolidação da Política Nacional de saúde, que preconiza o atendimento apropriado e acessível à pessoa com deficiência, é cada vez maior a necessidade de se estudar e investir no desenvolvimento de produtos de qualidade, que realmente atendam as necessidades terapêuticas e subjetivas dos usuários, propiciando-lhes melhor qualidade de vida e maior autonomia. Além disso, as elevadas taxas de abandono de dispositivos assistivos, com os decorrentes prejuízos individuais, sociais e econômicos; a tradição de desenvolvimento assistemático desses produtos, com baixa qualidade e desempenho ineficiente em muitos casos; e o mercado altamente segmentado e de caráter quase monopolístico, operando com poucas opções e preços significativamente elevados, indicam as deficiências das atividades de projeto nesta área e o desenvolvimento insuficiente desta indústria, especialmente em âmbito nacional. Sendo assim, a proposta visa a aplicação das metodologias, ferramentas e técnicas da engenharia nos projetos desses dispositivos, bem como a incorporação dos recentes avanços e possibilidades que o desenvolvimento das tecnologias 3D trouxe para a área. A estruturação de um procedimento busca preencher uma lacuna nesse tipo de projeto, de caráter eminentemente interdisciplinar e customizado/personalizado, promovendo um maior envolvimento do usuário no processo e uma compreensão mais adequada de suas necessidades, assim como um fluxo mais apropriado das informações e uma melhor interação entre os diversos indivíduos e domínios do conhecimento envolvidos. A metodologia, denominada projet8-TA, é marcada por um caráter iterativo e dinâmico, sendo formada por três fases principais: (1) Domínio transversal de projeto; (2) Espiral de

concepção; (3) Avaliação e refinamento. Foi estabelecida com base em três elementos fundamentais: uma análise de três projetos desenvolvidos na área pelo grupo de pesquisa ao qual este trabalho se vincula; um estudo de caso em continuidade a um desses projetos no desenvolvimento de um dispositivo de auxílio à alimentação; uma revisão bibliográfica sistemática acerca do cenário atual da metodologia de projeto na área com o auxílio da manufatura aditiva. Os resultados iniciais do estudo de caso, a partir dos testes de desempenho e satisfação com o usuário, se mostraram relevantes, sendo preciso, entretanto, ampliá-los. A contribuição da engenharia, por meio da metodologia e das ferramentas e técnicas de projeto, se mostrou essencial para o fluxo adequado do processo e a qualidade das soluções. Do mesmo modo, a abordagem centrada no usuário, com a correta consideração de suas necessidades e contexto. Por fim, o auxílio da manufatura aditiva, por meio dos protótipos fabricados, se mostrou também muito útil para a interação entre as partes envolvidas e para um envolvimento mais ativo do usuário. Desse modo, a partir do atendimento dos objetivos específicos do trabalho, com a análise dos casos do grupo de pesquisa, a condução de um estudo de caso e a realização de uma revisão bibliográfica sistemática, pôde-se alcançar o objetivo fundamental visado, com a proposição da metodologia projet8-TA.

Palavras-chave: Engenharia de projeto. Projeto centrado no usuário. Coprojeto. Projeto inclusivo. Projeto para customização em massa e personalização.

ABSTRACT

SANTOS, Artur Valadares de Freitas. **Proposal of methodology, from the engineering perspective, to the design of assistive devices with a user-centered approach and the aid of additive manufacturing, in the context of Assistive Technology**. 2020. 315 p. Thesis (Doctoral Degree in Mechanical Engineering) – São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, São Carlos, 2020.

In view of the growing demand for designs in the context of Assistive Technology, mainly due to the global trend – even more pronounced in Brazil – of population aging, as well as for the consolidation of the National Health Policy, which recommends appropriate and accessible care for people with disabilities, there is an increasing need to study and invest in the development of quality products, which really meet the therapeutic and subjective needs of users, providing them with better quality of life and greater autonomy. In addition, the high abandonment rates of assistive devices, with the resulting individual, social and economic losses; the tradition of unsystematic development of these products, with low quality and inefficient performance in many cases; and the highly segmented and almost monopolistic market, operating with few options and significantly high prices, indicate the shortcomings of design activities in this area and the insufficient development of this industry, especially at the national level. Therefore, the proposal aims to apply the methodologies, tools and techniques of engineering in the design of these devices, as well as the incorporation of the recent advances and possibilities that the development of 3D technologies has brought to the area. The structuring of a procedure seeks to fill a gap in this type of design, with an eminently interdisciplinary and customized/personalized character, promoting a greater involvement of the user in the process and a more adequate understanding of his needs, as well as a more appropriate flow of the information and a better interaction between the different individuals and knowledge domains involved. The methodology, called AT-d8sign, is marked by an iterative and dynamic character, being formed by three main phases: (1) Design cross-domain; (2) Conception spiral; (3) Evaluation and refinement. It was established based on three fundamental elements: an analysis of three designs

developed in the area by the research group to which this work is linked; a case study in continuation of one of these designs in the development of a feeding assistive device; a systematic review about the current scenario of the design methodology in the area with the aid of additive manufacturing. The initial results of the case study, based on performance and user satisfaction tests, proved to be relevant, although they need to be expanded. The contribution of engineering, through methodology and design tools and techniques, proved to be essential for the adequate flow of the process and the quality of the solutions. Likewise, the user-centered approach, with the correct consideration of his needs and context. Finally, the aid of additive manufacturing, through the manufactured prototypes, also proved to be very useful for the interaction between the parties involved and for a more active involvement of the user. Thus, from meeting the specific objectives of the work, with the analysis of the cases of the research group, the conduction of a case study and the realization of a systematic review, it was possible to achieve the intended fundamental objective, with the proposition of the AT-d8sign methodology.

Keywords: Design engineering. User-centered design. Co-design. Inclusive design. Design for mass-customization and personalization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Porcentagem de indivíduos com deficiência no Brasil, segundo o Censo de 2010	34
Figura 2 – Distribuição percentual, por faixas etárias, da incidência de deficiências	35
Figura 3 – Projeções da pirâmide populacional do Brasil em 2010 (a) e em 2050 (b)	35
Figura 4 – Quadro demonstrativo das fases e etapas do desenvolvimento de TA ...	39
Figura 5 – Principais componentes da indústria da TA	56
Figura 6 – Modelo do processo de desenvolvimento de produto	63
Figura 7 – Modelo do processo de projeto mecânico	65
Figura 8 – Os possíveis resultados do processo de projeto	67
Figura 9 – Modelo do processo de desenvolvimento de produto	68
Figura 10 – Efeitos do envolvimento antecipado do usuário no processo de projeto	72
Figura 11 – Evolução dos paradigmas de manufatura	74
Figura 12 – Metas dos paradigmas de manufatura	75
Figura 13 – Abordagem iterativa do processo de coprojecto	77
Figura 14 – Comparação entre os métodos linear e iterativo	77
Figura 15 – Figura representativa do processo de coprojecto	78
Figura 16 – Principais áreas de aplicação da MA na atualidade	79
Figura 17 – Ganho no PDP em decorrência da prototipagem mais frequente	84
Figura 18 – Fluxograma do projeto do utensílio de alimentação	91
Figura 19 – Matriz da Casa de Qualidade do QFD	92
Figura 20 – Princípio de funcionamento da TRIZ	94
Figura 21 – Esquema do processo de integração entre QFD e TRIZ	95

Figura 22 – Visão parcial da Casa da Qualidade do projeto do utensílio de alimentação	96
Figura 23 – Primeiros esboços à mão do DA	97
Figura 24 – Primeiro <i>mock-up</i> do utensílio	97
Figura 25 – Vista explodida (a) e perspectiva traseira (b) do DA.....	98
Figura 26 – Protótipo do utensílio de alimentação.....	98
Figura 27 – Fluxograma do projeto do <i>sling</i>	100
Figura 28 – Casa da Qualidade do projeto do <i>sling</i>	101
Figura 29 – Análise funcional do projeto do <i>sling</i>	102
Figura 30 – Duas primeiras configurações propostas para o <i>sling</i>	103
Figura 31 – Croqui da terceira configuração do protótipo	104
Figura 32 – Desenho em CAD do primeiro protótipo fabricado do <i>sling</i>	105
Figura 33 – Novo protótipo do <i>sling</i> nas configurações aberta e fechada	105
Figura 34 – Novo protótipo do <i>sling</i> fabricado e submetido aos testes.....	106
Figura 35 – Fluxograma do projeto da órtese infantil.....	107
Figura 36 – Aplicação do método de comparação aos pares ao projeto da órtese	108
Figura 37 – Matriz de relações (QFD) do projeto da órtese.....	109
Figura 38 – Matriz de correlações (QFD) para o projeto da órtese.....	109
Figura 39 – Árvore funcional para a órtese.....	110
Figura 40 – Diagrama MEI para a função principal da órtese	110
Figura 41 – Diagrama MEI para a operação da órtese	111
Figura 42 – Quadro morfológico para a órtese	112
Figura 43 – Possíveis soluções escolhidas para a órtese	112
Figura 44 – Desenho em CAD do primeiro modelo da órtese	114
Figura 45 – Primeiro protótipo (<i>mock-up</i>) da órtese	114
Figura 46 – Segunda versão dos protótipos da órtese	115

Figura 47 – Primeira versão do protótipo (<i>mock-up</i>) do DA	117
Figura 48 – Segunda versão do protótipo do DA	117
Figura 49 – Primeiros testes com a segunda versão do protótipo.....	119
Figura 50 – Alterações na parte dianteira do cabo (a) e na tampa frontal (b) da segunda (cima) para a terceira (baixo) versão do protótipo	120
Figura 51 – Ajuste de folgas entre o cabo e a cobertura	121
Figura 52 – Alterações na tampa traseira da segunda (a) para a terceira (b) versão do protótipo	122
Figura 53 – Alterações na tampa traseira da terceira (a) para a quarta (b) versão do protótipo	122
Figura 54 – Terceira versão do protótipo do DA.....	123
Figura 55 – Alterações na tampa traseira na quarta versão do protótipo	124
Figura 56 – Alterações na parte dianteira do cabo (a) e nas tampas frontal (b) e traseira (c) da terceira (cima) para quarta (baixo) versão do protótipo.....	125
Figura 57 – Cabo (a) e parte dianteira do cabo (b) com rebaixos para união	125
Figura 58 – Desenho esquemático da união da parte dianteira do cabo por meio da pastilha.....	126
Figura 59 – Alterações na correia da cobertura da terceira (a) para a quarta (b) versão do protótipo.....	126
Figura 60 – Teste de estanqueidade do DA	127
Figura 61 – Versão alternativa do DA com talher curvo	128
Figura 62 – Quarta versão do protótipo do DA.....	128
Figura 63 – Comparativo das quatro versões do protótipo.....	129
Figura 64 – Resultados obtidos com o auxílio da COPM para a variável desempenho	133
Figura 65 – Resultados obtidos com o auxílio da COPM para a variável satisfação	135

Figura 66 – Protótipos enviados para testes com voluntários.....	137
Figura 67 – Representação esquemática do RBS <i>Roadmap</i>	140
Figura 68 – Desenho esquemático da fase de Processamento do RBS <i>Roadmap</i>	143
Figura 69 – Fluxograma do processo de busca, filtragem e seleção das referências	148
Figura 70 – Número de referências por ano selecionadas pela RBS	150
Figura 71 – Fluxograma para o projeto de TA	166
Figura 72 – Metodologia projet8-TA (<i>AT-d8sign</i>).....	167
Figura 73 – Domínios de projeto no momento do surgimento da demanda	169
Figura 74 – Processo de integração dos domínios de projeto	169
Figura 75 – Criação do domínio transversal de projeto (DTP).....	170
Figura 76 – Custo de manufatura comprometido durante o projeto.....	183
Figura 77 – Comparação entre os perfis dos materiais ABS (a) e PLA (b).....	188
Figura 78 – Visão esquemática da metodologia projet8-TA (<i>AT-d8sign</i>).....	199
Figura 79 – Fluxograma de aplicação da metodologia projet8-TA (<i>AT-d8esign</i>)	200
Figura 80 – Componentes da metodologia <i>USERfit</i>	242
Figura 81 – Fluxograma para desenvolvimento de ajudas técnicas	244
Figura 82 – Etapas do modelo participatório de desenvolvimento USAP	247
Figura 83 – Mapa hierárquico de valor (MHV) da estrutura da cadeia meios-fim (CMF).....	250
Figura 84 – <i>Framework</i> para desenvolvimento de produtos de TA com base nos conceitos de Engenharia Simultânea	253
Figura 85 – <i>Framework</i> do <i>Design for (every)one</i>	254
Figura 86 – Triângulo entre os papéis principais e as atividades iterativas da metodologia	256
Figura 87 – Modelo de concepção de um produto de TA	258

Figura 88 – Abordagens <i>top down</i> e <i>bottom up</i> do PU aplicadas ao contexto da TA	261
Figura 89 – Triângulo de competências para o projeto de DA na área da música ..	268
Figura 90 – Fluxograma para o processo de desenvolvimento de produtos de TA.	270
Figura 91 – Atuação do moderador no modelo de Projeto orientado para TA	272
Figura 92 – Esquema geral da Sessão geradora projeto +TUO	277
Figura 93 – Método de projeto colaborativo interdisciplinar	287
Figura 94 – Fluxograma esquemático do método desenvolvido	290
Figura 95 – Método sistemático de coprojeto.....	291
Figura 96 – Processo de geração do dispositivo.....	295
Figura 97 – Desenho esquemático do programa piloto.....	300
Figura 98 – Etapas do processo de projeto do DA (órtese)	302
Figura 99 – Método de projeto participatório.....	304
Figura 100 – Processo de intervenção em reabilitação com impressão 3D de TA .	307

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Grupos de fatores relacionados ao não uso de TA oferecida.....	46
Tabela 2 – Categorias de TA.....	54
Tabela 3 – Necessidades dos usuários do <i>sling</i>	99
Tabela 4 - Análise morfológica do <i>sling</i>	103
Tabela 5 – Aspectos positivos e negativos do protótipo do <i>sling</i>	104
Tabela 6 – FMEA para o projeto da órtese	113
Tabela 7 – Quadro comparativo dos projetos de TA desenvolvidos no IMDT	116
Tabela 8 – Resultado dos métodos de análise para a variável desempenho	134
Tabela 9 – Resultado dos métodos de análise para a variável satisfação	135
Tabela 10 – Quadro comparativo das metodologias de projeto em TA identificadas na RBS.....	150
Tabela 11 – Métodos de extração das informações para as “atitudes prévias”	177
Tabela 12 – Métodos de extração das informações para os “fatores de impacto” ..	181
Tabela 13 – Métodos de extração das informações para a avaliação da tecnologia	194
Tabela 14 – Elementos da metodologia <i>USERfit</i>	243
Tabela 15 – Quadro resumo dos estudos de caso desenvolvidos	281

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

3DP	<i>3D Printing</i>
AAATE	<i>Association for the Advancement of Assistive Technology in Europe</i>
ABA	<i>Applied Behavior Analysis</i>
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
ACMC	<i>Assessment of Capacity of Myoelectric Control</i>
ARMS	<i>Adherence to Refills and Medication Scale</i>
AOTA	<i>American Occupational Therapy Association</i>
AT-d8	<i>Assistive Technology-d8sign</i>
ATD PA	<i>Assistive Technology Device Predisposition Assessment</i>
ATD PA Br	Avaliação de Tecnologia Assistiva – Predisposição ao Uso
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CAT	Comitê de Ajudas Técnicas
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CHEQ	<i>Children's Hand-Use Experience Questionnaire</i>
CMF	Cadeia Meios-Fim
COPM	<i>Canadian Occupational Performance Measure</i>
CQ	Casa da Qualidade (CQ)
D4E1	<i>Design for Every(one)</i>
DA	Dispositivo Assistivo
DEIC	<i>Design Engineering and Innovation Center</i>
DFA	<i>Design for Assembly</i>
DFAM	<i>Design for Additive Manufacturing</i>
DFD	<i>Design for Disability</i>
DFM	<i>Design for Manufacturing</i>

DFMA	<i>Design for Manufacturing and Assembly</i>
DFX	<i>Design for Excellence</i>
DIP	Desenvolvimento Integrado de Produtos
DIY	<i>Do It Yourself</i>
Dp	Desvio-padrão
DP	Doença de Parkinson
DTP	Domínio Transversal de Projeto
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos (USP)
EMFASIS	<i>Extended Modularity, Functional Acessibility, and Social Integration Strategy</i>
EPO	<i>European Patent Office</i>
ES	Engenharia Simultânea
FES	<i>Functional electrical neuro-stimulation</i>
FFF	<i>Fused Filament Fabrication</i>
FDM	<i>Fused Deposition Modelling</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
GPIM	Grupo de Projeto Integrado Multidisciplinar
HAAT	<i>Human, Activity, Assistive Technology</i>
IDEF	<i>Integration Definition Language for Function Modeling</i>
IMDT	<i>Integrated Multidisciplinary Design Team</i>
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
IPEC	<i>Interprofessional Education Collaborative©</i>
IPDP	<i>Integrated Product Development Process</i>
MA	Manufatura Aditiva
MEI	(Diagrama) Matéria-Energia-Informação
MC	Matriz de Contradições

MedMaIDE	<i>Medication Management Instrument for Deficiencies in the Elderly</i>
MHV	Mapa Hierárquico de Valor
MPC	<i>Multi-professional Collaboration</i>
MPT	<i>Matching Person & Technology</i>
NpTA	Núcleo de Projeto de Tecnologia Assistiva
NUMA	Núcleo de Manufatura Avançada
OPME	Órteses, Próteses e Materiais Especiais
p8-TA	Projet8-Tecnologia Assistiva
PIADS	<i>Psychosocial Impact of Scale Assistive Devices</i>
PcD	Pessoa com Deficiência
PCU	Projeto Centrado no Usuário
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
PE	Parâmetro de Engenharia
PI	Princípio Inventivo
PLA	Poliácido Láctico ou Ácido Poliláctico
PP	Projeto Participatório
PU	Projeto Universal
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
QUEST	<i>Québec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology</i>
RBS	Revisão Bibliográfica Sistemática
RESNA	<i>Rehabilitation Engineering and Assistive Technology Society of North America</i>
SEM	Departamento de Engenharia Mecânica
SHAP	<i>Southampton Hand Assessment Procedure</i>
SNPD	Secretaria Nacional de Promoção das Pessoas com Deficiência

TA	Tecnologia Assistiva
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TO	Terapia/Terapeuta Ocupacional
TPU	Poliuretano Termoplástico
TQM	<i>Total Quality Management</i>
TRIZ	<i>Teorija Rezhenija Izobretatel'skisch Zadach</i> (Teoria da Solução Inventiva de Problemas)
UCD	<i>User-centered design</i>
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UFTM	Universidade Federal do Triângulo Mineiro
USAP	<i>Useability, Safety, Attractiveness Participatory Model</i>
USP	Universidade de São Paulo
USPTO	<i>United States Patent and Trademark Office</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	31
1.1 OBJETIVO	50
1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	50
1.2 MOTIVAÇÃO	50
2 EMBASAMENTO TEÓRICO	53
2.1 TECNOLOGIA ASSISTIVA.....	53
2.2 PROJETO E PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO.....	59
2.2.1 PAHL et al. (2007).....	62
2.2.2 ULLMAN (2010)	64
2.2.3 ULRICH e EPPINGER (2015)	67
2.3 PROJETO CENTRADO NO USUÁRIO E TA	70
2.4 CUSTOMIZAÇÃO, PERSONALIZAÇÃO E COPROJETO.....	73
2.5 MANUFATURA ADITIVA	78
2.5.1 MANUFATURA ADITIVA E PDP	80
2.5.2 MANUFATURA ADITIVA E TA.....	84
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	89
3.1 ANÁLISE DE CASOS	89
3.1.1 UTENSÍLIO DE ALIMENTAÇÃO (SANTOS, 2015).....	90
3.1.2 SLING (BARBOSA, 2016)	99
3.1.3 ÓRTESE INFANTIL DE MÃO E PUNHO (KANEKO, 2017)	107
3.1.4 ANÁLISE COMPARATIVA	115
3.2 ESTUDO DE CASO.....	116
3.2.1 TERCEIRA VERSÃO DO PROTÓTIPO.....	118
3.2.2 QUARTA VERSÃO DO PROTÓTIPO	123

3.2.3 TESTES <i>SINGLE-SUBJECT</i>	129
3.2.4 TESTES COM VOLUNTÁRIOS	136
3.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA	139
3.3.1 MODELO DE REFERÊNCIA	139
3.3.2 EXECUÇÃO DA RBS	143
4 PROPOSTA DE METODOLOGIA	165
4.1 DOMÍNIO TRANSVERSAL DE PROJETO	167
4.1.1 Identificação dos domínios de projeto	171
4.1.2 Integração dos domínios de projeto.....	173
4.1.3 Estudo de anterioridades.....	175
4.1.4 Planejamento e cronograma.....	178
4.2 ESPIRAL DE CONCEPÇÃO	179
4.2.1 Definição dos requisitos de projeto.....	179
4.2.2 Geração dos conceitos	182
4.2.3 Criação dos modelos virtuais.....	185
4.2.4 Seleção dos materiais e manufatura	186
4.3 AVALIAÇÃO E REFINAMENTO.....	189
4.3.1 Apresentação dos conceitos.....	190
4.3.2 Período de adaptação	191
4.3.3 Testes qualitativos e quantitativos	192
4.3.4 Entrega e acompanhamento.....	196
4.4 SÍNTESE	197
5 CONCLUSÕES.....	201
6 TRABALHOS FUTUROS.....	207
7 PUBLICAÇÕES	209
REFERÊNCIAS	211

APÊNDICE A.....	231
APÊNDICE B.....	235
APÊNDICE C	239
APÊNDICE D	241
ANEXO A	309
ANEXO B	313

1 INTRODUÇÃO

A Constituição Federal da República Federativa do Brasil de 1988, também chamada “Constituição Cidadã”, estabelece a saúde como um direito de todos e um dever do Estado (Seção II, art. 196). Visando atender a esse princípio constitucional, foi criado no país o Sistema Único de Saúde (SUS), por meio da Lei nº 8.080, também chamada “Lei Orgânica da Saúde”, de 19 de setembro de 1990, que dispõe “sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes” (BRASIL, 1990).

Em seu art. 7, fica estabelecido que as atividades do SUS deveriam ser desenvolvidas com base nas diretrizes apresentadas no art. 198 da Constituição Federal, a saber:

- I. universalidade de acesso aos serviços de saúde em todos os níveis de assistência;
- II. integralidade de assistência, entendida como conjunto articulado e contínuo das ações e serviços preventivos e curativos, individuais e coletivos, exigidos para cada caso em todos os níveis de complexidade do sistema;
- III. preservação da autonomia das pessoas na defesa de sua integridade física e moral;
- IV. igualdade da assistência à saúde, sem preconceitos ou privilégios de qualquer espécie;
- V. direito à informação, às pessoas assistidas, sobre sua saúde;
- VI. divulgação de informações quanto ao potencial dos serviços de saúde e a sua utilização pelo usuário;
- VII. utilização da epidemiologia para o estabelecimento de prioridades, a alocação de recursos e a orientação programática;
- VIII. participação da comunidade;
- IX. descentralização político-administrativa, com direção única em cada esfera de governo:
 - a) ênfase na descentralização dos serviços para os municípios;
 - b) regionalização e hierarquização da rede de serviços de saúde;

- X. integração em nível executivo das ações de saúde, meio ambiente e saneamento básico;
- XI. conjugação dos recursos financeiros, tecnológicos, materiais e humanos da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios na prestação de serviços de assistência à saúde da população;
- XII. capacidade de resolução dos serviços em todos os níveis de assistência; e
- XIII. organização dos serviços públicos de modo a evitar duplicidade de meios para fins idênticos.
- XIV. organização de atendimento público específico e especializado para mulheres e vítimas de violência doméstica em geral, que garanta, entre outros, atendimento, acompanhamento psicológico e cirurgias plásticas reparadoras, em conformidade com a Lei nº 12.845, de 1º de agosto de 2013.

A Carta dos Direitos dos Usuários da Saúde (BRASIL, 2011) estabelece, assim, seis princípios basilares de cidadania, para que cada cidadão compreenda os seus deveres e direitos no que concerne ao atendimento de saúde, seja ele público ou privado:

- 1. Todo cidadão tem direito ao acesso ordenado e organizado aos sistemas de saúde;
- 2. Todo cidadão tem direito a tratamento adequado e efetivo para seu problema;
- 3. Todo cidadão tem direito ao atendimento humanizado, acolhedor e livre de qualquer discriminação;
- 4. Todo cidadão tem direito a atendimento que respeite a sua pessoa, seus valores e seus direitos;
- 5. Todo cidadão também tem responsabilidades para que seu tratamento aconteça de forma adequada;
- 6. Todo cidadão tem direito ao comprometimento dos gestores da saúde para que os princípios anteriores sejam cumpridos.

Assim como todos os demais cidadãos, as pessoas com deficiência também podem recorrer aos serviços do SUS quando necessitarem de orientação, prevenção, cuidados e/ou assistência. De conformidade com as suas necessidades,

têm direito ao encaminhamento para serviços mais complexos, a receber assistência específica em unidades especializadas, à reabilitação física, auditiva, visual ou intelectual, como também às ajudas técnicas, órteses, próteses ou meios auxiliares de locomoção de que necessitem, além do trabalho de reabilitação e das terapias (BRASIL, 2014).

De acordo com as diretrizes do SUS

No âmbito da Saúde, é um direito das pessoas com deficiência o acesso a serviços de saúde gerais e a serviços especializados, a órteses e próteses (tais como, aparelhos auditivos, cadeiras de rodas, bolsas de colostomia, óculos, próteses mamárias) e demais ajudas técnicas necessárias (BRASIL, 2009a, p. 343).

A partir de 1992, o SUS estabelece um marco para a assistência à pessoa com deficiência (PcD) a partir da padronização da primeira tabela de concessão de ajudas técnicas/Tecnologia Assistiva (TA), retirando essa assistência da área da filantropia e inserindo-a na rede regular de saúde de modo a universalizar o procedimento. Desde então, essa rede vem buscando se instalar e se aperfeiçoar gradualmente, na busca pela padronização de produtos e serviços (BRASIL, 2009b).

Com a finalidade principal de propor a criação de políticas públicas relacionadas com o desenvolvimento e uso da TA no Brasil, foi criado, por meio do Decreto nº 5.296/2004, o Comitê de Ajudas Técnicas (CAT), vinculado à Secretaria Nacional de Promoção das Pessoas com Deficiência (SNPD), que estabelece a TA como sendo

[...] uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social (BRASIL, 2009b, p. 9).

Em consonância com o preconizado pela Política Nacional, o atendimento à pessoa com deficiência pelo SUS deve ser realizado por equipe multidisciplinar, de modo a potencializar as habilidades funcionais do indivíduo, fornecendo-lhe não

somente a TA, mas também as terapias especializadas necessárias à sua reabilitação (BRASIL, 2009b).

Segundo levantamento do Censo de 2010, apresentado na Figura 1, existem atualmente no Brasil mais de 45 milhões de indivíduos, aproximadamente 24% da população, com algum tipo de deficiência, seja ela visual, auditiva, motora ou mental/intelectual. Deste total, as deficiências motoras respondem por cerca de 7%, isto é, cerca de 3 milhões de indivíduos. Conforme pode ser visto na Figura 2, a distribuição dessas deficiências está intimamente relacionada com a faixa etária da população, apresentando um acréscimo significativo de incidência com o aumento da faixa etária.

Figura 1 – Porcentagem de indivíduos com deficiência no Brasil, segundo o Censo de 2010

Fonte: Oliveira (2012).

Figura 2 – Distribuição percentual, por faixas etárias, da incidência de deficiências

Fonte: Oliveira (2012).

Tendo em vista essas informações e a tendência de envelhecimento populacional da sociedade brasileira, evidenciada a partir dos gráficos de projeção populacional da Figura 3, pode-se ter uma ideia da necessidade premente de se investir em financiamento, pesquisa e desenvolvimento no âmbito da saúde e da TA, em conjunto com a engenharia, de modo a se atender a demanda crescente e a proposta da Política Nacional para este setor.

Figura 3 – Projeções da pirâmide populacional do Brasil em 2010 (a) e em 2050 (b)

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2008).

Objetiva-se, com isso, não somente a geração de produtos funcionais, que apresentem qualidade e inovação, mas também e principalmente, de produtos que sejam acessíveis e que propiciem ao usuário, tanto quanto possível, autonomia,

autoestima, bem-estar e qualidade de vida. No caso do Brasil, em específico, de produtos que possam, por exemplo, ser disponibilizados por meio do SUS para um maior número de indivíduos, sobretudo para aqueles com menor poder aquisitivo.

No entanto, conforme destacam Plos et al. (2012), o campo da TA é um mercado altamente segmentado, onde em geral a competição se torna praticamente monopolística. Como consequência, apesar das necessidades especiais dos usuários dessas tecnologias, estas permanecem em muitos casos pouco conhecidas e insatisfatoriamente atendidas, além de excessivamente caras. A escolha do usuário por uma marca ou produto se torna, assim, muito mais um balanço entre preço e serviço, do que efetivamente uma escolha em termos de vantagens e funcionalidades do produto. Alimenta-se, desse modo, a ideia de que “um produto insatisfatório ainda é melhor que a perda da autonomia”, fazendo com que muitos dispositivos sejam adotados apesar de seus consideráveis problemas de usabilidade.

De Couvreur e Goossens (2011) estimam, por exemplo, que existam 600 milhões de indivíduos com deficiência no mundo vivendo sem dispositivos assistivos (DA's) adequados ou cujos dispositivos não se ajustam da melhor maneira.

Dentre as limitações dos chamados produtos especializados, como no caso dos produtos de TA, podem-se destacar: a falta de adequação entre a demanda e a oferta (insatisfação dos usuários, problemas na confiabilidade, estigmatização ocasionada pelos produtos) e a carência de redes de distribuição especializadas, que também envolvem múltiplas margens de lucro impactando o valor final do produto; a dificuldade em se manter o serviço do produto e as dificuldades para a compra do produto pelo usuário, sobretudo o custo e a demora na produção (PLOS et al., 2012).

Em relação ao contexto brasileiro, vale mencionar que o mercado nacional, no que diz respeito a órteses, próteses e materiais especiais (OPME), trabalha com preços significativamente elevados quando comparados com o mercado internacional. Dentre as causas para essa conjuntura, podem ser destacadas: a assimetria da informação entre gestores de saúde e distribuidores, a preferência de médicos por produtos importados, a falta de padronização das características e

nomenclaturas dos dispositivos e o baixo incentivo para o desenvolvimento da indústria nacional (BRASIL, 2015b).

Além disso, após denúncias da mídia sobre a descoberta de relações espúrias entre hospitais e médicos, de um lado, e fabricantes e distribuidores de OPME, do outro, foi instaurada em 2015 uma Comissão Parlamentar de Inquérito (CPI), denominada “CPI da Máfia das Próteses”, cujo objetivo principal era “investigar a cartelização na fixação de preços e distribuição de órteses e próteses, inclusive, com a criação de artificial direcionamento da demanda e captura dos serviços médicos por interesses privados” (BRASIL, 2015a).

Por esses motivos, tramita no Congresso Nacional o Projeto de Lei nº 17/2015, de autoria da senadora Ana Amélia, que “define normas de regulação para o mercado de órteses, próteses e materiais especiais” (BRASIL, 2015b), com o objetivo primeiro de baratear os preços das OPME aos usuários e também de evitar a prescrição e as cirurgias desnecessárias por motivos antiéticos e/ou ilícitos e auxiliar na diminuição das despesas das Santas Casas e hospitais filantrópicos pelo país.

Segundo o relatório do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2012), que realizou um mapeamento das competências em TA no Brasil, algumas das principais deficiências e ameaças, em termos tecnológicos, que limitam ainda o desenvolvimento e a consolidação dessa indústria a nível nacional são:

- a) Identificação inadequada da necessidade do usuário de TA;
- b) Falta de avaliação da usabilidade dos produtos e serviços de TA;
- c) Necessidade de aprimoramento da avaliação de usabilidade dos produtos e serviços de TA;
- d) Falta de recursos tecnológicos que apoiem os recursos humanos especializados;
- e) Reduzida transferência de tecnologia entre os centros tecnológicos e a indústria nacional;
- f) Produtos estrangeiros sem competitividade nacional;
- g) Migração de desenvolvedores para áreas mais valorizadas.

Por outro lado, o mesmo relatório identifica também forças e oportunidades neste contexto, como por exemplo:

- a) Atores nacionais portadores de tecnologia com inovações próprias;
- b) A existência da prototipagem rápida e outros recursos computacionais que podem ser utilizados para projetos em TA;
- c) A geração de soluções nacionais independentes do eixo EUA/Europa.

De acordo com Maia e Freitas (2014, p. 562), no contexto brasileiro, a “tradição acrítica de se desenvolver produtos assistematicamente contribui para a estagnação do desenvolvimento tecnológico dos terapeutas ocupacionais”. Acrescentam ainda que, ao contrário do que ocorre em países com maior atenção no desenvolvimento tecnológico para pessoas com limitações funcionais, o desenvolvimento no país continua baseado na adaptação de objetos existentes ou na adoção de modelos de desenvolvimento incompletos, o que resulta na geração de produtos que não atendem efetivamente às demandas dos usuários. Contribuem ainda com esse quadro, a carência de pesquisas nessa área e a dificuldade de importação de produtos.

Numa pesquisa de campo no país, com o objetivo de entender a metodologia utilizada por profissionais da área no desenvolvimento de TA, os conceitos que consideravam importantes e sua relação com outros profissionais envolvidos no processo, Maia e Freitas (2014) puderam identificar problemas do tipo: falta de método de projeto, desconsideração da importância de parâmetros estéticos do DA para o usuário, não envolvimento de outras partes importantes (por exemplo, familiares) no processo de projeto, empirismo no processo de avaliação. A partir das respostas dos profissionais sobre sua metodologia de desenvolvimento, foi elaborado então o quadro demonstrativo da Figura 4, o qual apresenta as fases e etapas mencionadas com as respectivas porcentagens em que apareceram nas respostas. Por meio deste, pode-se identificar grandes lacunas em fases importantes do processo, como, por exemplo, geração de ideias (10%), teste (20%) e treinamento (20%).

Figura 4 – Quadro demonstrativo das fases e etapas do desenvolvimento de TA

ETAPA	FASE
• Definição do público-alvo (10%)	
• Avaliação (100%)	<ul style="list-style-type: none"> • Física (70%) • Observação da necessidade (50%) • Verificação dos desejos (50%) • Informações sobre ambiente (30%) • Avaliação cognitiva (30%) • Funcional (30%) • Social (10%) • Familiar (10%) • Sensorial (10%) • Recursos financeiros disponíveis (10%) • Levantamento das expectativas (10%) • Potenciais do usuário (20%) • Levantamento dos dados antropométricos (10%)
• Análise dos dados da avaliação (10%)	
• Levantamento das possíveis soluções (20%)	
• Geração de ideias (10%)	
• Seleção entre as hipóteses (10%)	
• Definição do produto (10%)	
• Seleção do material (20%)	
• Planejamento (20%)	
• Confecção do molde (20%)	
• Modelagem (10%)	
• Confecção do produto em si (100%)	
• Teste (20%)	<ul style="list-style-type: none"> • Se está correto funcionalmente (10%) • Se o usuário gostou (10%) • Se está confortável (10%) • Se a cor está boa (10%)
• Treinamento (20%)	
• Uso (50%)	
• Acompanhamento (40%)	<ul style="list-style-type: none"> • Reavaliação (10%) • Reavaliação em 3 meses (10%) • Reavaliação em 6 meses (10%) • Retirada ou não do recurso ou remodelagem (10%)

Fonte: Maia e Freitas (2014).

Poulson e Richardson (1998), afirmavam, já à época, que na medida em que o setor de TA fosse se tornando cada vez mais complexo e sofisticado, a elaboração de métodos estruturados de projeto se faria cada vez mais necessária,

especialmente pelo fato de que times multidisciplinares estariam envolvidos em uma atividade comum de projeto.

Wu, Ma e Chang (2009), no entanto, ressaltam que os processos de modificação e reprojeção de dispositivos assistivos ainda permanecem sendo mais uma arte que uma ciência propriamente dita e que, embora os terapeutas sejam fundamentais, seus métodos e procedimentos de ajuste e modificação não têm podido ser integrados em uma sistematização empírica e compreensível. Afirmam ainda os pesquisadores que, se um dispositivo assistivo auxilia o usuário a alcançar seus objetivos, também o sujeita a certos riscos devido às suas limitações físicas. Por esse motivo, para que o projeto seja o mais adequado possível, é preciso delinear muito bem a relação entre o usuário e o dispositivo a ser desenvolvido.

A definição de um procedimento específico para o desenvolvimento de dispositivos assistivos, portanto, seria de grande utilidade na redução da sobrecarga que recai sobre os terapeutas, além de também ajudar na melhoria da eficiência e da eficácia do processo terapêutico (WU; MA; CHANG, 2009).

Mihailidis e Polgar (2016) destacam que engenheiros e terapeutas ocupacionais (TO's) compartilham, em suas profissões, do mesmo objetivo – de estarem sempre em busca do aperfeiçoamento – e também da mesma missão – se esforçarem por fazer o melhor ao seu alcance de modo a auxiliar as pessoas a realizarem o que querem e precisam fazer. Sendo assim, a TA criaria um espaço único para a colaboração entre essas duas profissões, no qual os engenheiros participam com seu conhecimento acerca da tecnologia e do desenvolvimento de produtos e os terapeutas ocupacionais com o seu conhecimento em torno do desempenho e compromisso ocupacional e a prática centrada no usuário.

Tradicionalmente, o papel dos terapeutas ocupacionais tem sido o de auxiliar os usuários a identificar as melhores opções tecnológicas para recuperar ou ampliar alguma função ou compromisso ocupacional. Por outro lado, os engenheiros têm estado voltados para o projeto e desenvolvimento de novas tecnologias, de modo geral, bem distantes dos usuários. No entanto, com o crescimento do campo da TA e o aumento da complexidade das necessidades dos usuários e das tecnologias disponíveis, a distinção entre os papéis dessas profissões têm se tornado, como deveria, mais difícil (MIHAILIDIS; POLGAR, 2016).

Neste novo contexto, a colaboração se torna ainda mais necessária e com potenciais ainda maiores. Os engenheiros podem passar a atuar como provedores de conhecimento técnico, com o compromisso de informar e educar os terapeutas ocupacionais, de maneira clara e acessível, sobre os avanços tecnológicos mais recentes e as novas possibilidades que trazem para a TA. Os terapeutas ocupacionais, de sua parte, podem aplicar esse conhecimento de modo a capacitar os seus clientes para uma tomada de decisões mais informada em torno das tecnologias emergentes, além de auxiliarem os engenheiros no desenvolvimento de soluções necessárias e que poderão ser realmente aceitas e utilizadas (MIHAILIDIS; POLGAR, 2016).

Entretanto, ainda de acordo com Mihailidis e Polgar (2016), um dos riscos para a TA na atualidade, por conta do próprio desenvolvimento tecnológico, é a adoção de uma abordagem puramente impulsionada pela tecnologia, que passa a dominar as soluções desenvolvidas. Neste caso,

[...] as necessidades do cliente não estão no centro do impulso e decisões são tomadas sem a consideração das necessidades do cliente. Ao contrário, os desenvolvedores de tecnologia escolhem focar os seus esforços nas abordagens “mais recente e melhor” e os terapeutas são deixados tentando encaixá-las às necessidades dos seus clientes (MIHAILIDIS; POLGAR, 2016, p. 69, tradução nossa).

De Couvreur e Goossens (2011) afirmam que as instituições de reabilitação e as companhias de TA, de um modo geral, tendem a possuir equipes com uma base mais exclusivamente clínica ou de engenharia, de maneira que a inovação nessas áreas é geralmente guiada pela tecnologia, sem um olhar que possa levar em consideração também os aspectos sociais e emocionais envolvidos no processo.

Por esse motivo, segundo Plos et al. (2012), um produto não deve ser pensado apenas em termos do seu uso e da sua produção. Sua semiótica e as funções percebidas pelos usuários devem ser também consideradas. Nessa perspectiva, para além da usabilidade, os conceitos de valor e aceitabilidade social de um produto se tornam fundamentais para o seu sucesso, com base principalmente em dois critérios: a aceitação funcional, relacionada à usabilidade e à

utilidade do produto; e a aceitação social, vinculada à imagem que o produto transmite, bem como à estima que desperta no usuário.

Para Mallin e Carvalho (2015), há uma relação íntima entre o consumo e a utilização de um produto, sua funcionalidade e os desejos e necessidades do usuário. Desse modo, o que torna uma TA realmente inovadora e competitiva não são apenas as características do produto em si ou dos processos pelos quais foi produzido, mas também as características da experiência proporcionada aos usuários, inclusive por meio do estímulo e da assistência que venha a fornecer no processo de reabilitação.

Sugerem ainda Mallin e Carvalho (2015) que são três as maneiras pelas quais um produto de TA pode estimular um indivíduo: (1) como objeto, no qual a TA é percebida a partir do seu apelo visual e da sua configuração formal, despertando emoções como atração, amor, indiferença e seus respectivos opostos; (2) como agente, em que a TA é encarada por meio do impacto por ela causado em seus usuários e do cumprimento ou não da funcionalidade para a qual foi desenvolvida, despertando emoções de admiração, apreciação e seus opostos; (3) como evento, quando a TA é percebida em termos das consequências da posse ou não de um equipamento, causando emoções como a obtenção de status social a partir de sua aquisição ou a admiração pelo seu primeiro uso.

Por isso, para Coton et al. (2014), existem dois grupos principais de projetistas no campo da TA. Um primeiro deles que tem requisitos muito bem definidos e que procura soluções tecnológicas e sistemas mais práticos, mas que geralmente acaba não atentando para as soluções tecnológicas mais adiantadas, correndo assim o risco de focar naquelas obsoletas, impraticáveis ou muito caras. E um segundo grupo, com tecnologias inovadoras, as quais busca aplicar de algum modo, estando sujeito, no entanto, ao risco de apresentar soluções para necessidades imaginárias ou não prioritárias.

Chavarriaga et al. (2014) afirmam também que a maioria das pesquisas na atualidade não consideram explicitamente os aspectos socioculturais do projeto, que variam significativamente entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. Isso faz com que algumas das soluções propostas para problemas em TA sejam inviáveis para pessoas de países emergentes ou em desenvolvimento, já que o contexto, por

si mesmo, se traduz numa série de restrições ao processo de desenvolvimento. Daí a importância da identificação dessas características físicas e sociais do contexto de projeto para a obtenção de soluções e produtos mais adequados.

Dessa maneira, quando se trata do projeto de TA, é preciso que engenheiros e projetistas passem em muitos casos por uma renovação de paradigmas e de abordagens no que tange ao projeto de produtos. Cassim e Dong (2015), por exemplo, apresentam inclusive uma proposta de atividade de projeto que visava modificar as percepções negativas que muitos projetistas possuem em torno do projeto de TA, deixando de enxergá-lo como sem espaço para a estética ou para a criatividade e percebendo as deficiências ou incapacidades não como limitadoras do processo criador, mas, pelo contrário, como oportunidades de inovação que de outro modo não seriam consideradas.

Outro fator importante a ser considerado nesse contexto é o abandono de TA, causando prejuízos significativos dos pontos de vista econômico, clínico e social.

Conforme Coton et al. (2014), no que diz respeito ao abandono de TA, um primeiro fator importante está relacionado ao próprio indivíduo, à aceitação de sua condição. Neste caso, há uma predisposição maior para a adoção da TA. Outros aspectos estariam relacionados ao produto em si, como, por exemplo, custo de aquisição e manutenção, durabilidade, confiabilidade, facilidade de uso e transporte, segurança, eficiência e estética.

Para Gherardini et al. (2018), além do custo mais elevado e da baixa oferta que inviabilizam o acesso de muitos indivíduos aos dispositivos assistivos, a falta de customização daqueles disponíveis comercialmente é frequentemente uma causa de abandono, ocasionando consideráveis desperdícios de recursos como também prejuízos ao processo de reabilitação.

Phillips e Zhao (1993) apresentam um dos primeiros estudos sobre o abandono de dispositivos assistivos, identificando uma taxa de abandono de 29,3% para dispositivos dos mais variados tipos. Segundo os autores, são quatro os principais fatores relacionados a esse abandono: (1) falta de consideração da

opinião do usuário; (2) facilidade de aquisição do dispositivo; (3) baixo desempenho do dispositivo; (4) mudança nas prioridades e requisitos dos usuários.

Em relação ao primeiro fator, constatou-se que quando o usuário é visto como parte integrante do processo de projeto e suas opiniões e conhecimentos são considerados, as chances para o abandono são menores. Quanto ao segundo fator, de maneira até surpreendente, pôde-se notar que produtos de fácil aquisição tinham maiores chances de serem abandonados, indicando que a acessibilidade nem sempre está associada à qualidade. Produtos comprados, por exemplo, em catálogos, lojas especializadas, etc., podem até serem mais fáceis de se obter, mas não necessariamente serão mais úteis, especialmente se os consumidores não estiveram adequadamente informados quanto às características do produto que irão adquirir. No caso do terceiro fator, se um produto não atende as expectativas do usuário em relação a parâmetros como eficiência, confiabilidade, durabilidade, conforto, segurança, facilidade de uso, etc., as chances de que seja abandonado são naturalmente maiores. Por fim, no que diz respeito ao quarto fator, quando há uma alteração nas prioridades do usuário, seja pela melhoria ou declínio na condição clínica/funcional, seja por alguma mudança nas atividades/objetivos pessoais, há uma maior chance para o abandono (PHILLIPS; ZHAO, 1993).

As repercussões do abandono são significativas, em diferentes níveis. No nível do indivíduo, são representadas pelas perdas nas habilidades funcionais, na liberdade e na autonomia do usuário, além das maiores despesas. Em termos do serviço, resulta no uso ineficaz de recursos pelos governos federal, estadual e local e por outras organizações provedoras, ocasionando um desperdício de fundos que cresce à medida que cresce também o número de pessoas com deficiência (PHILLIPS; ZHAO, 1993).

Phillips e Zhao (1993, p. 42, tradução nossa) concluem, assim, que o abandono dos dispositivos poderia ser reduzido se “um modelo colaborativo, orientado para o consumidor, fosse empregado nos ambientes de entrega de serviços de tecnologia”, com um maior envolvimento dos consumidores no planejamento e nas tomadas de decisão.

Postema et al. (1999) identificaram uma taxa de 34% de abandono no caso de próteses para crianças, ressaltando a importância da participação dos pais no

processo de projeto e a importância da condução emocional adequada para o sucesso do produto.

Riemer-Reiss e Wacker (2000), em pesquisa com diferentes tipos de DA, encontraram uma taxa de abandono de 32,4%, ressaltando que, de maneira consistente com o encontrado na literatura de um modo geral, o envolvimento do consumidor no processo de desenvolvimento está diretamente associado à continuidade ou não do uso e que aqueles que não acreditam terem efetivamente participado na seleção de sua TA, têm uma maior tendência a abandoná-la.

Pape, Kim e Weiner (2002) fazem uma revisão da literatura a respeito do abandono de TA, encontrando evidências de quatro fatores preponderantes para a integração bem-sucedida de uma TA à vida de um indivíduo: (1) os significados atribuídos pelos usuários aos DA's; (2) suas expectativas quanto à TA; (3) os custos sociais atrelados ao uso; (4) o entendimento que a deficiência é uma, mas não a característica definidora da identidade do indivíduo.

Wessels et al. (2003), a partir de uma revisão da literatura, propõem uma abordagem teórica mais sólida sobre a questão do abandono de TA, classificando em quatro grupos principais os fatores causadores do não uso da TA oferecida, conforme a Tabela 1: pessoais, relacionados ao dispositivo, relacionados ao contexto, relacionados à intervenção. Os autores fazem ainda uma comparação entre os fatores de abandono de TA e os fatores de não aderência a uma intervenção médica, em busca de relações entre estes que possam auxiliar na compreensão do problema. Com base nas evidências encontradas, algumas sugestões de solução são apresentadas: maior atenção às habilidades de comunicação dos profissionais da saúde; criação de um sistema de reaproveitamento dos DA's sem uso devido às mudanças de condição (piora ou melhoria) do usuário ou do ambiente; estratégias de orientação e planejamento para o período de transição com o início da utilização do produto; treinamento e instrução adequados para o usuário; maior estímulo ao usuário por parte dos profissionais; envolver, tanto quanto possível, o círculo social do indivíduo no processo; melhoria na qualidade do projeto (montagem, aparência, entrega, etc.).

Tabela 1 – Grupos de fatores relacionados ao não uso de TA oferecida

Fatores relacionados ao não uso de TA oferecida	
Pessoais Idade, gênero Diagnóstico Expectativas pessoais Expectativas do círculo social Aceitação da deficiência Maturidade emocional / motivação interior Progressão da deficiência Severidade da deficiência Mudança na severidade da deficiência Utilização de múltiplos dispositivos	Relacionados ao dispositivo Qualidade do dispositivo Aparência do dispositivo
Relacionados ao contexto do usuário Apoio do círculo social Barreiras físicas Presença de oportunidades Procedimentos do mercado de dispositivos	Relacionados à intervenção Levar em consideração as opiniões do usuário Instrução e treinamento Processo de provisão e instalação adequado Duração do período de entrega Serviço de acompanhamento

Fonte: Adaptado de Wessels et al. (2003).

Guimarães et al. (2006) afirmam que a adesão por parte de um usuário é influenciada, de um modo geral, por fatores como: idade, escolaridade, gravidade da condição, o esclarecimento sobre a condição, a forma como ela é percebida, o impacto sobre a vida do indivíduo, o nível de motivação, a forma de transmissão das orientações (oralmente ou por escrito), a experiência com outros tratamentos, a percepção sobre o responsável por sua melhoria, o incentivo recebido do terapeuta,

a duração do tratamento. No caso de órteses, por exemplo, fatores como conforto, facilidade de utilização, relevância do uso durante atividades diárias e capacidade de não realçar a deficiência desempenham um importante papel na adesão. Numa pesquisa com usuários que utilizavam palmilhas biomecânicas, os autores puderam identificar uma adesão total de apenas 15,2%, em oposição a um índice de não adesão de 42,4%.

Verza et al. (2006) apresentam um estudo sobre a diminuição da taxa de abandono de TA (de 37,3% para 9,5%) em usuários com esclerose múltipla após a introdução de uma abordagem interdisciplinar na avaliação e prescrição de DA's, envolvendo também os usuários e os familiares no processo.

Biddiss e Chau (2007a) fazem uma pesquisa analítica e comparativa sobre a aceitação e o abandono de próteses de membros superiores nos últimos 25 anos, identificando taxas de rejeição que variam de 16% a 45% de acordo com o tipo de prótese e a população de análise (pediátrica ou adulta). Os mesmos autores, em um estudo sobre os fatores críticos de abandono de próteses para membros superiores, identificaram uma taxa de rejeição de 20%, com alguns fatores predisponentes ao não uso: a origem da falta do membro (congenita ou não), o gênero, a ausência bilateral e, sobretudo, o nível da falta do membro. Fatores como acessibilidade no sistema de saúde, custo e qualidade do treinamento não tiveram um peso muito significativo na rejeição, ao passo que o envolvimento dos usuários na seleção das próteses, o tempo de ajuste e a condição tecnológica do dispositivo sim (BIDDISS; CHAU, 2007b).

Yusif, Soar e Hafeez-Baig (2016) apresentam um estudo de revisão sobre as barreiras para a adoção de TA por pessoas idosas, tendo encontrado as seguintes barreiras em ordem decrescente de relevância: privacidade, confiança, funcionalidade/valor agregado, custo, facilidade de uso e aplicabilidade para o uso diário, percepção de “falta de necessidade”, estigma, medo de dependência, falta de treinamento, sentimento de constrangimento, autonomia, perda de dignidade, falta de acessibilidade e inclusão social.

Segundo Maia e Freitas (2014), não existem ainda estudos sistematizados realizados no Brasil quanto ao abandono de recursos de TA no país. No entanto, pode-se observar empiricamente, pelo próprio relato de profissionais da área saúde, que essa é também uma realidade brasileira.

A partir dessas informações, pode-se perceber a importância do envolvimento do usuário, de uma melhor compreensão de suas características e necessidades particulares, bem como seu contexto de vida, para o projeto bem-sucedido de um DA e para a diminuição das possibilidades e das taxas de abandono e, com isso, dos prejuízos a ele associados.

Da perspectiva da engenharia, portanto, apesar dos recentes avanços, há muitas possibilidades e lacunas ainda a serem preenchidas no que diz respeito ao projeto e desenvolvimento de produtos de TA. A utilização de ferramentas, métodos e tecnologias que visem facilitar a interação entre as diversas partes envolvidas neste tipo de projeto – de caráter eminentemente interdisciplinar – e a busca por um melhor entendimento das necessidades do usuário e pela ampliação de sua participação já nos estágios iniciais de desenvolvimento são fundamentais para que os resultados finais sejam satisfatórios.

O surgimento e aperfeiçoamento das chamadas tecnologias 3D nos últimos anos, como a manufatura aditiva (MA) ou impressão 3D, trazem uma série de novas oportunidades para o projeto nesta área, favorecendo a inserção do usuário no processo de desenvolvimento e a customização dos produtos segundo suas necessidades e desejos, com ganhos também em termos de tempo e de custos de produção, conforme destacam diversos estudos recentes: Ostuzzi et al. (2015), Day e Riley (2018), Gherardini et al. (2018), Lee et al. (2019), Manero et al. (2019), Schwartz et al. (2019).

Gherardini et al. (2018), desse modo, ressaltam a importância da implementação de um método sistemático e centrado no usuário para o desenvolvimento de DA's, o qual seja caracterizado por:

- a) envolvimento direto do usuário, a fim de que o DA desenvolvido possa atender mais efetivamente suas necessidades, não só funcionais (antropométricas, patológicas), mas também psicológicas;

- b) uma equipe projeto interdisciplinar, composta por profissionais como engenheiros de projeto, TO's e/ou reumatologistas, etc., além do próprio usuário;
- c) DA's que atendam, naturalmente, ao usuário para o qual foram desenvolvidos, mas que, preferencialmente, possibilitem também a utilização por outros usuários com desordens similares a partir de determinados ajustes paramétricos durante a fabricação;
- d) integração das tecnologias de MA e *Design for Additive Manufacturing* (DFAM);
- e) obtenção de resultados satisfatórios, que possam ser mensurados por intermédio de testes padronizados e que levem à geração de DA's customizados que realmente atendam às necessidades dos usuários e que, por isso, tenham a sua utilização continuada garantida.

Embora existam metodologias de projeto e de desenvolvimento de produtos já bem consolidadas na literatura (PAHL et al., 2007; ULLMAN, 2010; ULRICH; EPPINGER, 2015), diante do que foi exposto, fica evidenciada a necessidade da adaptação às características e especificidades do projeto de TA para a obtenção de melhores resultados.

Rocha et al. (2015) afirmam que existem diversas obras na literatura que se dedicam a adequar um modelo de processo de desenvolvimento de produto a cenários ou indústrias específicas, como por exemplo um modelo de referência para produtos mecatrônicos (BARBALHO; ROZENFELD, 2013), um modelo de referência para produtos cerâmicos (BORDIGNON, 2013) e um modelo de referência para produtos automotivos (SILVA, 2013). No entanto, quando se trata da TA, há ainda uma lacuna a ser preenchida. Embora existam alguns trabalhos relacionados, a ênfase que dão ao processo de desenvolvimento em si é pequena.

Sendo assim, a elaboração de uma proposta de metodologia, da perspectiva da engenharia, para o projeto de dispositivos assistivos com abordagem centrada no usuário e o auxílio da manufatura aditiva, no contexto da TA, se apresenta como uma importante demanda, especialmente no contexto brasileiro.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consistiu em elaborar e descrever uma proposta de metodologia, da perspectiva da engenharia, para o projeto de dispositivos assistivos com abordagem centrada no usuário e o auxílio da manufatura aditiva, no contexto da TA, a partir dos trabalhos desenvolvidos nos últimos anos pelo grupo de pesquisa em que este trabalho se insere e também pela investigação, análise e diagnóstico do cenário atual da metodologia de projeto nesta área com o auxílio da MA.

1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Por esse motivo, como objetivos específicos do trabalho, podem ser listados:

- a) a realização de uma análise descritiva, com foco na metodologia de projeto, de três projetos de DA's desenvolvidos nos últimos anos pelo grupo de pesquisa a que este trabalho se vincula;
- b) a condução de um estudo de caso, em continuidade a um desses projetos, no desenvolvimento e na avaliação de um DA de auxílio à alimentação com a utilização da MA;
- c) a execução de uma revisão bibliográfica sistemática (RBS) acerca do cenário atual da metodologia de projeto, com o auxílio da MA, na área da TA.

1.2 MOTIVAÇÃO

Com um número crescente de indivíduos com algum tipo de deficiência, sobretudo em razão da tendência global – ainda mais destacada em âmbito nacional – de envelhecimento populacional, é cada vez maior a necessidade de se estudar e investir no desenvolvimento de produtos que possam trazer a esses indivíduos mais qualidade de vida e autonomia. Além disso, a baixa variabilidade de oferta e os preços elevados, especialmente no mercado nacional, juntamente com o alto índice de abandono de DA's, com os decorrentes desperdícios significativos de recursos, revelam as deficiências no projeto desse tipo de produto. A engenharia, portanto, com suas técnicas e ferramentas de projeto, tem muito a contribuir com a TA, possibilitando a geração de produtos de maior qualidade e que atendam melhor às demandas dos usuários. No entanto, os paradigmas tradicionais de projeto, com

pouca ou nenhuma inserção do usuário no processo, e o maior interesse no desenvolvimento de produtos de produção em larga escala, têm limitado até o momento a inserção da engenharia no projeto de produtos com maior grau de personalização e menor apelo econômico e comercial como os encontrados na área da TA. A partir do desenvolvimento e aprimoramento de novas tecnologias nos últimos anos, como a MA, que favorece a geração *mock-ups*, protótipos e até mesmo produtos com maior facilidade e rapidez, este cenário começa a se alterar. Tecnologias como esta propiciam uma maior interação dos usuários no processo de desenvolvimento do produto, sobretudo nas fases iniciais do projeto, trazendo uma renovação e um avanço aos projetos nesta área. Um impulso ainda maior pode ser conseguido por meio de uma sistematização desse processo, com procedimentos que visem a facilitar a interação entre as diversas áreas e conhecimentos envolvidos neste tipo de projeto, de caráter eminentemente interdisciplinar.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

Neste capítulo, são apresentados determinados conceitos e conhecimentos que serviram de base teórica para o desenvolvimento do trabalho. Começa-se, assim, pela apresentação de algumas definições fundamentais sobre a TA. Depois, acerca do projeto e do processo de desenvolvimento de produtos (PDP). Na sequência, a respeito da abordagem de projeto centrada no usuário e sua relação com a TA, bem como sobre customização, personalização e coprojetos. Por fim, são feitas algumas considerações em torno da manufatura aditiva e de sua relação com o PDP e a TA.

2.1 TECNOLOGIA ASSISTIVA

Cook e Polgar (2008, p. 5, tradução nossa), associam o termo tecnologia assistiva a uma “ampla gama de dispositivos, serviços, estratégias e práticas que são concebidos e aplicados para melhorar os problemas enfrentados pelos indivíduos com deficiências”.

Quanto à sua definição, a Tecnologia Assistiva pode ser entendida como

[...] uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social (BRASIL, 2009b, p. 9).

A seu turno, a *Public Law* (PL) 108-364 define um dispositivo de TA como sendo

Qualquer item, peça de equipamento ou sistema de produtos adquirido comercialmente, modificado ou customizado, que é utilizado para aumentar, manter ou aperfeiçoar capacidades funcionais de indivíduos com deficiências (USA, 2004, p. 4, tradução nossa).

No que diz respeito às categorias dos serviços e produtos desenvolvidos no contexto da TA, Bersch (2013) propõe uma classificação em doze categorias principais, como definidas na Tabela 2.

Essa classificação é similar à proposta pelo relatório do Centro de Gestão de Estudos Estratégicos (2012), com exceção da última categoria (esporte e lazer) não apresentada nesta última.

Tabela 2 – Categorias de TA

Categoria	Definição e exemplos
Auxílios para a vida diária e prática	Produtos que favorecem ou facilitam o desempenho autônomo em tarefas rotineiras. Ex.: Talheres modificados, barras de apoio, abotoadores, etc.
Comunicação Aumentativa e Alternativa (CAA)	Atende pessoas sem fala ou escrita funcional ou que apresentam defasagem entre a habilidade e a necessidade comunicativa. Ex.: Pranchas de comunicação, computadores ou <i>tablets</i> com softwares específicos, etc.
Recursos de acessibilidade ao computador	Conjunto de software e hardware projetado para tornar o uso do computador mais acessível a pessoas com algum tipo de privação sensorial, intelectual e/ou motora. Ex.: Teclados modificados ou virtuais, software de reconhecimento de voz, dispositivos apontadores por meio do movimento da cabeça ou dos olhos, etc.
Sistemas de controle de ambiente	Dispositivos ou sistemas que permitam o controle remoto de aparelhos (TV, som, ventilador, etc.) e/ou condições do ambiente (temperatura, iluminação, etc.) por pessoas com limitações motoras. Ex.: Casas inteligentes, controle remoto por pressão, sopro, piscar de olhos, etc.
Projetos arquitetônicos para acessibilidade	Projetos estruturais e de urbanismo que garantam a acessibilidade, a funcionalidade e a mobilidade de todos os tipos indivíduos. Ex.: Rampas, elevadores, adaptações

Categoria	Definição e exemplos
	em banheiros, etc.
Órteses e próteses	Próteses são peças artificiais responsáveis pela substituição de partes ausentes do corpo, enquanto órteses são aquelas colocadas junto a uma parte do corpo a fim de melhorar sua posição, estabilização e/ou função. Ex.: Prótese de joelho, de quadril, dentária, etc. Colar cervical, aparelho auditivo, marca-passo, etc.
Adequação postural	Recursos que possibilitam a obtenção de posturas alinhadas, estáveis e confortáveis, favorecendo o desempenho funcional e prevenindo deformidades. Ex.: Assentos e encostos especiais, estabilizadores ortostáticos, etc.
Auxílios de mobilidade	Produtos que promovam a melhoria da mobilidade do indivíduo. Ex.: Bengalas, muletas, cadeiras de rodas manuais ou elétricas, etc.
Auxílios para qualificação da habilidade visual e recursos que ampliam a informação de pessoas com baixa visão ou cegas	Dispositivos ou sistemas que auxiliem indivíduos com deficiência visual na obtenção de informações. Ex.: Lentes, lupas manuais ou eletrônicas, materiais gráficos com textura e relevo, mapas e gráficos táteis, etc.
Auxílios para pessoas com surdez ou com déficit auditivo	Dispositivos ou sistemas que auxiliem indivíduos com deficiência auditiva na obtenção de informações. Ex.: Livros, textos e dicionários em língua de sinais, telefone com teclado-teletipo, sistemas com alerta tátil-visual, etc.
Mobilidade em veículos	Acessórios que permitam a um indivíduo com deficiência física dirigir um automóvel. Ex.: Elevadores para cadeiras de rodas, adequações para direção apenas com as mãos, serviços de autoescola para pessoas com deficiência, etc.

Categoria	Definição e exemplos
Esporte e lazer	Recursos que favoreçam a prática esportiva e o lazer de indivíduos com algum tipo de deficiência. Ex.: Bola sonora, cadeira de rodas para basquete, próteses para corrida ou escalada, etc.

Fonte: Bersch (2013).

Com relação à estrutura e organização dessa área, Cook e Polgar (2008) propõem uma divisão em oito componentes principais, conforme o esquema apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Principais componentes da indústria da TA

Fonte: Adaptado de Cook e Polgar (2008).

Como ressaltam Cook e Polgar (2008, p. 17), sem um consumidor que se beneficiará dos dispositivos e serviços da TA, assim como na ausência de um sistema de distribuição que efetivamente promova a conexão entre o usuário e a tecnologia, todos os demais componentes da Figura 5 seriam desnecessários. Por

isso, Consumidor e Serviços diretos ocupam uma posição central no esquema apresentado.

O consumidor, na perspectiva da TA, é visto como o destinatário ou usuário final da tecnologia, mas mais do que isso, também como um participante ativo em todos os demais componentes desta indústria. Esta, por sua vez, deve responder às necessidades e recomendações do usuário, distribuindo o fluxo de informação que parte deste para os demais componentes, de maneira a garantir que as modificações necessárias nos produtos e serviços possam ser realizadas.

Neste contexto, os serviços diretos são aqueles responsáveis por interagir diretamente com o usuário, identificando as suas necessidades, realizando uma avaliação e estabelecendo recomendações que, por fim, deverão ser implementadas (COOK; POLGAR, 2008).

Ainda segundo os autores, os demais componentes desta indústria podem ser assim entendidos:

- a) Pesquisa básica: tem como objetivo principal a produção de novos conhecimentos, por meio da proposição de hipóteses e questões fundamentais em torno dos fenômenos físicos e biológicos. Por esse motivo, seus resultados não são previamente conhecidos e influenciam significativamente no desenvolvimento da TA;
- b) Pesquisa aplicada: diferentemente do que ocorre em outras áreas, onde não há uma distinção tão precisa entre pesquisa básica e aplicada, em TA essa distinção é mais clara. Divide-se basicamente em quatro grupos: (1) teste de dispositivos sob diferentes condições de uso para verificação de desempenho; (2) desenvolvimento de novos dispositivos a partir de necessidades clínicas, da pesquisa básica ou de ambas; (3) pesquisa em torno do uso de TA por indivíduos com deficiências; (4) pesquisas para o desenvolvimento de novos materiais e novas abordagens de avaliação e treinamento;
- c) Desenvolvimento de produto: trata-se do projeto aplicado ao protótipo obtido na pesquisa aplicada para torná-lo um produto que possa ser fabricado e

- testado com usuários potenciais. Esse processo envolve três etapas: (1) identificação do maior número possível de potenciais falhas do produto; (2) elaboração da documentação do produto, de maneira clara e útil; (3) avaliação do produto com uma variedade relevante de usuários com deficiências, a fim de identificar da maneira mais clara possível o público-alvo;
- d) Fabricação: é o processo conversão de um protótipo funcional em um dispositivo que possa ser produzido em maior escala, tendo em vista as técnicas de fabricação disponíveis e mais adequadas. Como no âmbito da TA é pequeno o número de pessoas que têm exatamente as mesmas necessidades e para o qual um mesmo dispositivo seria indicado, a fabricação se torna em geral de pequenos volumes e, por isso mesmo, com maiores custos por dispositivo;
 - e) Distribuição de produto: de nada adianta a fabricação de um produto se os consumidores e distribuidores não vierem a saber de sua existência. Daí a importância do marketing e da divulgação dentro da TA. Além disso, é preciso lembrar que, ao contrário do que ocorre para os bens de consumo, os produtos da TA precisam ser divulgados e distribuídos para um público muito específico (terapeutas ocupacionais, engenheiros e consumidores), o que torna o processo mais caro que nas demais áreas;
 - f) Informação e Encaminhamento: a possibilidade de se obter informação, de maneira ágil e segura, sobre produtos e serviços de TA é fundamental tanto para provedores como para consumidores. Sobretudo na atualidade, em que um volume gigantesco de informações pode ser acessado por meio da Internet, é preciso buscar meios de garantir a qualidade e a precisão dessas informações;
 - g) Educação e Treinamento: com o crescimento da indústria da TA e o consequente aumento da disponibilidade de serviços e dispositivos para indivíduos com deficiência, torna-se cada vez mais necessário o envolvimento de profissionais capacitados, de diversas formações técnicas e clínicas, no processo de desenvolvimento e distribuição desses serviços e dispositivos. O treinamento e a capacitação de profissionais de diversas áreas para lidarem com essas novas tecnologias torna-se, portanto, fundamental.

Devido à complexidade e ao número de fatores envolvidos no desenvolvimento de dispositivos de TA, Cook e Polgar (2008) recomendam uma abordagem em time. A efetividade desse processo é maior quando se utiliza um time multidisciplinar, em que cada membro colabora com o conhecimento e as habilidades de sua área de especialidade.

Bersch (2013) defende ainda que um dos papéis da TA deve ser o da capacitação do usuário e de seus familiares, tornando-os mais informados e aptos a participar do processo de desenvolvimento de um novo dispositivo/serviço, por meio das seguintes capacidades:

- a) Definição do problema: devem ser capazes de expor, de maneira clara, quais as dificuldades a serem superadas;
- b) Participação ativa no processo de desenvolvimento: devem compartilhar suas experiências, de modo a auxiliar e munir a equipe de desenvolvimento para a tomada das melhores decisões. A cada item testado, deverão também retroalimentar a equipe com suas impressões e considerações;
- c) Escolha da solução: devem adquirir, no decurso do processo, os conhecimentos necessários para escolher, em conjunto com a equipe de desenvolvimento, a solução mais adequada para suas necessidades.

A partir dessa capacitação, o usuário e seus familiares terão também a possibilidade de se tornarem mais conscientes quanto às possibilidades e limitações das tecnologias analisadas no processo de desenvolvimento, além de se inteirarem das mudanças de rotina e dos novos esforços diários com os quais terão de lidar durante a implementação da TA para que os resultados sejam realmente efetivos (BERSCH, 2013).

2.2 PROJETO E PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Como esclarecem Romeiro et al. (2010, p. 11), a palavra projeto, segundo o Dicionário Aurélio, tem sua origem no latim *projectu*, que significa “lançado adiante” (de onde deriva também a palavra “projétil”). Por isso, tem também o significado de

“ideia que se forma de executar ou realizar algo no futuro; plano, intento, desígnio; empreendimento a ser realizado dentro de determinado esquema”.

Com o passar do tempo, o termo evoluiu do campo apenas das intenções para o campo também das ações, passando a designar também o conjunto dos esforços efetuados para a concretização de um intento visado. Sendo assim, o termo projeto passou a englobar um número, por vezes bem elevado, de tarefas interligadas, com complexidades variáveis, que representavam a fase de execução daquilo que fora previamente desejado ou delineado (ROMEIRO et al., 2010).

Asimow (1968, p. 9), por exemplo, define projeto como sendo uma “atividade orientada para o atendimento das necessidades humanas, principalmente daquelas que podem ser satisfeitas por fatores tecnológicos de nossa cultura”.

Rodrigues et al. (2015, p. 11), por sua vez, definem o projeto de engenharia como

[...] um processo sistemático, no qual os engenheiros geram, avaliam e especificam estruturas e seus componentes para a construção de máquinas, equipamentos ou processos, cujas formas e/ou funções atendem requisitos técnicos e restrições estabelecidos, a partir das necessidades do usuário.

A palavra inglesa *design*, por outro lado, deriva do latim *designiu*, que significa “intento, plano, projeto, propósito”. Essa palavra, no entanto, tem também outras acepções, não especificamente limitadas ao âmbito da engenharia, como aquelas relacionadas à parte criativa de atividades incrementais e/ou inovadoras de uma maneira geral. Isso gera algumas confusões, uma vez que no âmbito da engenharia a palavra *design* corresponderia ao projeto destituído de suas características gerenciais e materiais, sem palavra correspondente na língua portuguesa (ROMEIRO et al., 2010).

Sendo assim, com o intuito de clarear as definições e evitar possíveis confusões, adota-se aqui a terminologia proposta por Romeiro et al. (2010), na qual: o termo “projeto” refere-se ao resultado do ato de projetar; “processo de projeto” ou “projetar”, por sua vez, denotam a atividade em si; e, por fim, “processo de desenvolvimento de produto” (PDP) designa a progressão do projeto.

Rozenfeld et al. (2006, p. 3) afirmam que o PDP consiste em

[...] um conjunto de atividades por meio das quais busca-se, a partir das necessidades do mercado e das possibilidades e restrições tecnológicas, e considerando as estratégias competitivas e de produto da empresa, chegar às especificações de projeto de um produto e de seu processo de produção, para que a manufatura seja capaz de produzi-lo.

Para Back et al. (2008, p. 4), entende-se por desenvolvimento de produto “todo o processo de transformação de informações necessárias para a identificação da demanda, a produção e o uso do produto”. O desenvolvimento integrado de produto, a seu turno, pressupõe que esse processo deva ser efetuado por uma equipe multidisciplinar e que “os requisitos, restrições do produto e soluções, ao longo de todas as fases do processo, devam ser considerados ou pensados simultaneamente”.

Pahl et al. (2007, p. 9) ressaltam a importância de se ter um procedimento de projeto definido que busque gerar boas soluções. Segundo os autores, “esse procedimento deve ser flexível e, ao mesmo tempo, capaz de ser planejado, otimizado e verificado”. Para que este seja bem-sucedido, no entanto, é preciso um trabalho sistematizado e uma boa fundamentação técnica dos projetistas.

De acordo com Ulrich e Eppinger (2015), a utilidade de um processo de desenvolvimento bem definido se dá pelos seguintes fatores:

- a) Garantia de qualidade: com a especificação das fases de desenvolvimento e dos pontos de verificação pelos quais se deverá passar, tem-se mais segurança quanto ao fluxo do processo e a obtenção da qualidade do produto final;
- b) Coordenação: um processo de desenvolvimento bem articulado torna mais claros os papéis de cada ator na equipe de projeto, bem como seu momento de atuação e suas interações com as outras partes;
- c) Planejamento: a utilização de marcos definidores da conclusão de cada etapa auxiliam na previsão e organização do cronograma como um todo;

- d) Gestão: um processo de desenvolvimento estabelecido passa a ser uma referência para outros projetos em andamento, possibilitando a comparação entre fases e etapas e a identificação de possíveis problemas;
- e) Melhoria: a adequada documentação e a revisão do processo de desenvolvimento e seus resultados permitem identificar novas possibilidades de melhoria.

Como esclarecem Romeiro et al. (2010), dentre os diversos modelos de PDP propostos na literatura, alguns se limitam ao processo de projeto do produto, enquanto outros consideram o PDP como um processo de negócios com características mais abrangentes que simplesmente a especificação técnica do produto. Caberá à equipe de projeto definir o modelo que melhor se adequa à sua situação.

Tendo em vista o objetivo deste trabalho, mais voltado para uma perspectiva da engenharia em relação ao desenvolvimento de produtos, são apresentados a seguir três modelos de PDP – Pahl et al. (2007), Ullman (2010) e Ulrich e Eppinger (2015) – com foco no processo de projeto do produto em si, bem como uma descrição sucinta de suas fases e atividades principais.

2.2.1 PAHL et al. (2007)

Os autores propõem um modelo caracterizado, segundo a Figura 6, por quatro fases principais: (1) Planejamento e esclarecimento da tarefa; (2) Projeto conceitual, (3) Projeto representativo; (4) Projeto detalhado. Cada qual possui suas respectivas atividades específicas (*working steps*) e resultados finais, quais sejam: especificação da informação, especificação do princípio de solução (conceito), especificação do layout (construção) e especificação da produção.

O processo, como um todo, é marcado por uma intersecção mais ou menos pronunciada entre as fases principais e pelas frequentes iterações no decorrer do seu desenvolvimento. O fechamento de cada fase é marcado por um processo de avaliação (*decision making steps*), que orienta a passagem para a próxima fase ou uma nova iteração (PAHL et al., 2007).

Figura 6 – Modelo do processo de desenvolvimento de produto

Fonte: Adaptado de Pahl et al. (2007).

As quatro fases principais do processo, conforme apresentadas na Figura 6, podem ser assim definidas:

- 1) Planejamento e esclarecimento da tarefa: antes de se iniciar o desenvolvimento do produto, é preciso tornar clara a tarefa proposta à engenharia pelo marketing ou outro departamento responsável pelo planejamento. O objetivo dessa fase, portanto, é coletar informações acerca dos requisitos a serem atendidos pelo produto, além de suas limitações e respectivas relevâncias;

- 2) Projeto conceitual: fase em que são determinados os princípios de solução (conceitos) do problema, por meio da abstração, da definição das funções estruturais, da busca por princípios viáveis de solução e pela combinação destes em uma estrutura funcional. Para uma melhor visualização e entendimento do conceito, porém, é preciso transformar essa estrutura funcional em algo mais concreto, através da produção de um layout preliminar;
- 3) Projeto representativo: partindo-se do conceito, é definida nesta fase a estrutura de construção de um sistema técnico que esteja de acordo com os critérios técnicos e econômicos para o projeto. Pode ser necessária a geração de vários layouts preliminares a fim de se verificar as vantagens e desvantagens de cada construção. Pela combinação adequada dos pontos fortes e eliminação dos pontos fracos de cada uma, obtém-se o melhor layout ou layout definitivo, o qual permite uma avaliação das características técnicas e econômicas do projeto;
- 4) Projeto detalhado: os arranjos, formas, dimensões e propriedades de superfície de cada peça são estabelecidos nesta fase, além da especificação dos materiais, métodos de fabricação, custos estimados e todos os desenhos e documentações referentes ao projeto.

2.2.2 ULLMAN (2010)

O autor sugere um modelo baseado em seis fases fundamentais, de acordo com a Figura 7: (1) Descoberta do Produto; (2) Planejamento do Produto; (3) Definição do Produto; (4) Projeto Conceitual; (5) Desenvolvimento do Produto; (6) Suporte ao Produto. Cada uma delas pode ser assim resumida:

- 1) Descoberta do Produto: antes do projeto de qualquer produto, é preciso identificar sua necessidade, que pode ter três origens distintas: tecnologia, mercado ou mudança de um outro produto;
- 2) Planejamento do Produto: após a identificação da necessidade, passa-se ao planejamento do produto, com a alocação de recursos, pessoas e equipamentos para o seu desenvolvimento. A criação de uma equipe de

projeto e o estabelecimento de estimativas de custos e de um cronograma de tarefas também fazem parte dessa fase;

Figura 7 – Modelo do processo de projeto mecânico

Fonte: Adaptado de Ullman (2010).

- 3) Definição do Produto: consiste no entendimento do problema, passando inicialmente pela identificação dos consumidores e de seus requisitos. Após isso, é feita uma avaliação da competitividade e elaborada uma lista de especificações de engenharia e de metas de desempenho do produto, tendo em vista sua qualidade;

- 4) Projeto Conceitual: a partir dos requisitos dos consumidores, um modelo funcional do produto é elaborado, a fim de serem gerados os seus conceitos. Estes são então avaliados, em comparação com os requisitos definidos na fase anterior, na busca pelas melhores alternativas com o menor dispêndio de tempo e demais recursos;
- 5) Desenvolvimento do Produto: depois da geração e avaliação dos conceitos, é preciso refiná-los de modo a convertê-los efetivamente em produtos, com a elaboração da documentação técnica acerca da manufatura, montagem, controle de qualidade, etc. Muitos projetos acabam começando diretamente por essa fase, sem um cuidado devido com todas as anteriores, comprometendo assim a qualidade dos produtos e aumentando as chances do desperdício de recursos e de tempo;
- 6) Suporte ao Produto: é caracterizado pelo suporte ao processo de manufatura e montagem do produto, bem como aos vendedores e consumidores. Engloba também as possíveis mudanças posteriores no projeto, que deverão ser devidamente gerenciadas e documentadas.

Cada problema de projeto apresenta uma diversidade de soluções satisfatórias e nenhuma solução que seja claramente a melhor. O objetivo do projeto, desse modo, é encontrar uma boa solução que gere um produto de qualidade, dentro de compromissos razoáveis com o tempo e os demais recursos envolvidos no processo. Para isso, como mostra a Figura 8, dois domínios de conhecimento são importantes: o domínio de conhecimento do processo de projeto, isto é, o estudo da metodologia de projeto, e o domínio de conhecimento do projeto, que representa o estudo das ciências e das áreas técnicas que servirão de base para o desenvolvimento do projeto. O processo projeto pode ser entendido, portanto, como a organização e o gerenciamento de pessoas e informações na evolução de um produto (ULLMAN, 2010).

Figura 8 – Os possíveis resultados do processo de projeto

Fonte: Adaptado de Ullman (2010).

2.2.3 ULRICH e EPPINGER (2015)

Os autores apresentam um modelo que consiste em seis fases principais, conforme a Figura 9: (1) Planejamento; (2) Desenvolvimento do conceito; (3) Projeto a nível de sistema; (4) Projeto detalhado; (5) Testes e refinamento; (6) Escalada da produção.

Segundo os autores, o processo de desenvolvimento pode ser compreendido por meio de três perspectivas distintas. Primeiramente, partindo de um vasto conjunto de conceitos e ideias concebidos inicialmente para o produto, pode ser entendido como um processo de restrição de alternativas e aumento de especificações até que se atinja um nível de confiabilidade e repetibilidade adequado para a produção. Em segundo lugar, como um sistema de processamento de informações, cujo início se dá devido a oportunidades estratégicas, tecnologias disponíveis, metas organizacionais, entre outros, e que se desenvolve por meio de diversas atividades que visam processar essas informações e convertê-las em

conceitos, especificações e detalhes de projeto, até que se alcance todo o montante de informações necessário para dar suporte à produção. Por fim, pode ser compreendido como um sistema de gerenciamento de riscos, com a identificação e hierarquização dos riscos associados ao desenvolvimento nas fases iniciais do processo e a redução desses riscos à medida que o processo evolui e as funções do produto vão sendo validadas (ULRICH; EPPINGER, 2015).

Figura 9 – Modelo do processo de desenvolvimento de produto

Fonte: Adaptado de Ulrich e Eppinger (2015).

As seis fases apresentadas na Figura 9 são descritas da seguinte maneira:

- 1) Planejamento: se inicia com a identificação da oportunidade, uma avaliação da tecnologia e os objetivos de mercado. Tem como saída a chamada declaração de missão do projeto, a qual especifica o público-alvo do produto, os objetivos de negócio, as hipóteses e as restrições de projeto;
- 2) Desenvolvimento do conceito: são identificadas as necessidades do mercado-alvo, bem como geradas e avaliadas preliminarmente alternativas conceituais para o produto. Destas, algumas são selecionadas para serem posteriormente desenvolvidas e testadas. Além de uma descrição das formas, funções e características do produto, o desenvolvimento conceitual é acompanhado também por uma análise de outros produtos competitivos e por uma análise econômica;
- 3) Projeto a nível de sistema: definição da arquitetura do produto e decomposição em subsistemas e componentes, com projeto preliminar de componentes importantes. Geração de um layout geométrico do produto, com

as especificações dos subsistemas e indicações preliminares para o processo de montagem. É feita ainda uma elaboração inicial do sistema de produção;

- 4) Projeto detalhado: caracterizado pela especificação da geometria, dos materiais e das tolerâncias das peças a serem fabricadas e pela identificação das peças padronizadas a serem adquiridas. A principal saída dessa fase é a documentação de controle, com os desenhos ou arquivos digitais de cada peça, as especificações para as peças a serem compradas e os planejamentos de fabricação e de montagem;
- 5) Testes e refinamento: marcada pela construção e avaliação de diversas versões pré-produção do produto. São utilizados dois tipos de protótipos para a avaliação: aqueles chamados *alpha*, fabricados em primeiro lugar, geralmente com peças que trazem a geometria e o material visados para o produto final, mas com fabricação por processos diferentes dos que serão usados na produção; e os protótipos *beta*, produzidos com as peças a serem usadas na produção, mas montadas por um processo distinto daquele a ser usado na montagem final. Estes últimos têm a finalidade de identificar as mudanças de engenharia necessárias para o produto final em relação ao desempenho e à confiabilidade e são extensivamente testados internamente e também pelo usuário final em seu próprio ambiente;
- 6) Escalada de produção: nesta fase, por fim, o produto é fabricado utilizando já o sistema de produção pretendido, com o objetivo de solucionar algum problema restante no processo de produção e treinar a força de trabalho. Gradualmente, se faz uma transição da escalada para a produção contínua e os produtos gerados nesta etapa podem ser inicialmente fornecidos para usuários preferencias, a fim de se efetuar uma avaliação mais refinada para a identificação de possíveis falhas remanescentes. Finalmente, é realizada uma revisão de projeto após o lançamento, visando identificar possibilidades de melhoria no processo de desenvolvimento para projetos futuros.

2.3 PROJETO CENTRADO NO USUÁRIO E TA

Buurman (1997, p. 1159, tradução nossa), pontua que a “aderência a um processo de desenvolvimento iterativo, centrado no usuário, ao invés daquele comum, dirigido pela tecnologia e pelo mercado, leva a produtos mais úteis e fáceis de utilizar”. O autor propõe um balanço entre funcionalidade (utilidade) e usabilidade no desenvolvimento de produtos, evitando um excesso de funcionalidade que não seja, de fato, útil e compreensível ao usuário. Vale ressaltar que, para o autor, a “utilidade está relacionada com a inclusão apropriada de funções no produto e a usabilidade com a qualidade da interação” (BUURMAN, 1997, p. 1661, tradução nossa).

A avaliação do usuário, nas suas diferentes formas, é o cerne do processo de projeto centrado no usuário (PCU) e este, quando realizado de maneira adequada, além de resultar em produtos de maior qualidade, gera também uma diminuição do tempo e dos custos de desenvolvimento por meio da redução do número de mudanças dispendiosas em fases posteriores do processo de desenvolvimento (BUURMAN, 1997).

De acordo com Thomnn, Morais e Werba (2017), a complexidade dos problemas atuais faz das abordagens multidisciplinares e participatórias de projeto uma tendência sem retorno, na qual os usuários devem ser envolvidos desde o início do processo, e não apenas na etapa de testes. A antiga abordagem *top-down* na qual os projetistas desenvolviam suas soluções e as entregavam aos usuários vai sendo assim substituída por uma abordagem *bottom-up*, com uma participação mais efetiva das outras partes envolvidas e interessadas no projeto.

Harris (2017, p. 24, tradução nossa) afirma que

Nos últimos dez anos, o termo “projeto centrado no usuário” (*user-centered design* – UCD) se tornou um componente essencial de qualquer proposta de pesquisa que busque desenvolver tecnologia capacitante para pessoas vivendo com condições de saúde desafiadoras (tecnologia assistiva).

Gherardini et al. (2018) ressaltam os benefícios, na área médica e da saúde, oriundos da integração de um projeto centrado no usuário e de métodos, softwares e

tecnologias que favoreçam a multidisciplinaridade e possibilitem a customização de dispositivos de acordo com as necessidades dos usuários.

Como esclarece Johnston (2014), assim como a TA visa aumentar a participação dos indivíduos com deficiência na sociedade, uma abordagem mais flexível e centrada no usuário acaba por contribuir para esse mesmo fim, permitindo que esses indivíduos possam participar da avaliação e da seleção da TA que venha a melhor atender suas necessidades.

Mallin e Carvalho (2015) destacam a importância da centralidade do usuário no projeto e inovação em TA, sobretudo no que se refere à sua dimensão emocional e como ela impacta na obtenção de soluções e produtos realmente funcionais, eficientes e satisfatórios para o usuário. Segundo os autores, muito se tem falado e escrito a respeito da TA, seus conceitos e aplicações, mas pouco se tem discutido o seu significado a partir da perspectiva do usuário e as emoções que ela evoca.

Conduzir o projeto de maneira alinhada com o usuário significa perceber que a emoção está no centro do processo de inovação, desempenhando um papel fundamental no consumo e no uso de um produto de TA. Nesse sentido, o sucesso de um projeto de TA não está apenas associado às características do produto desenvolvido em si ou dos processos e ferramentas adotados, mas também às experiências vividas pelo usuário ao longo do processo, aos vínculos emocionais criados por ele com a equipe e com o produto (MALLIN; CARVALHO, 2015).

Kujala (2003), num estudo de revisão sobre os benefícios e desafios do envolvimento antecipado do usuário no processo de projeto, ressalta que esse envolvimento acarreta certas demandas e desafios para ser bem executado, mas que os efeitos de um modo geral são positivos no sucesso do projeto (fluxo do processo, menor número de iterações, mais inovações) e na aceitabilidade dos produtos pelos usuários, como sintetizado na Figura 10.

Figura 10 – Efeitos do envolvimento antecipado do usuário no processo de projeto

Fonte: Adaptado de Kujala (2003).

Em busca de um maior envolvimento do usuário, Galway et al. (2012) propõem uma ferramenta para desenvolvedores em TA que os auxilie a identificarem métodos adequados de extração de informações dos usuários, com base no tipo da informação e no estágio do processo de desenvolvimento. Com isso, favorece-se a dinâmica e a clareza do fluxo de informações no decorrer do projeto e a tomada de decisões mais embasadas. Por conseguinte, o processo como um todo se torna mais eficaz, harmonizando a busca pela inovação e pelo desenvolvimento tecnológico com as reais necessidades e anseios do usuário.

Ainda conforme Galway et al. (2012), são três os tipos principais de informações que podem ser obtidos a partir dos usuários: (1) Atitudes prévias: atitudes prévias do usuário para com uma determinada tecnologia ou quaisquer outras intervenções que independam da tecnologia em si mesma; (2) Fatores de impacto: fatores específicos que poderão ser utilizados para o desenvolvimento da tecnologia; (3) Avaliação da tecnologia: os resultados das avaliações da tecnologia.

Segundo Coton et al. (2014), a abordagem PCU no contexto da TA é caracterizada por cinco características fundamentais: (1) conhecimento dos usuários finais (tarefas, contextos, necessidades, preferências, etc.); (2) participação ativa dos usuários; (3) divisão apropriada das funções de projeto entre os usuários e a tecnologia; (4) abordagem iterativa; (5) intervenção de uma equipe multidisciplinar.

2.4 CUSTOMIZAÇÃO, PERSONALIZAÇÃO E COPROJETO

A Figura 11 apresenta a evolução dos paradigmas de manufatura desde meados do século XIX. Da produção artesanal, caracterizada por grande variedade e baixo volume, a manufatura passou, no início do século XX, à produção em massa, inaugurada, sobretudo, por Henry Ford nos EUA e marcada pela intercambiabilidade, pelas linhas de montagem com divisão de tarefas e pelo gerenciamento mais científico do processo, com controle de tempos, treinamento e divisão entre produção e gerenciamento. A busca por produtividade com pouca ou nenhuma interação com o usuário, no entanto, levou a uma deterioração da qualidade dos produtos e à perda de competitividade diante de outros produtos que surgiam, especialmente daqueles oriundos do Japão (HU, 2013).

Nesse contexto, surge uma nova filosofia, denominada *Lean Manufacturing*, com base no sistema de produção da Toyota, cujos objetivos principais eram maximizar o valor do consumidor ao mesmo tempo em que se minimizava o desperdício ao longo do processo de fabricação (HU, 2013).

O paradigma da customização em massa surge no final da década de 1980, com o aumento da demanda pela variedade de produtos, tendo como características marcantes a arquitetura de famílias de produtos, sistemas de manufatura reconfiguráveis e diferenciação tardia dos produtos. Embora esse paradigma tenha aumentado as possibilidades de escolha do usuário, trouxe também mais complexidade aos sistemas de montagem, dificultando seu desempenho. Além disso, a possibilidade de escolha dos consumidores ainda se mantinha restrita a apenas uma gama limitada de configurações (HU, 2013).

Ainda segundo Hu (2013), com o advento da Internet e da computação e, mais recentemente, de novas tecnologias de manufatura mais flexíveis, como a MA, surgiu a oportunidade para um novo paradigma de manufatura: o da personalização. Neste, os produtos são personalizados de acordo com as preferências e necessidades dos consumidores, que atuam, inclusive, como colaboradores do processo de criação e inovação. Isso é possível graças aos seguintes fatores: arquitetura aberta dos produtos, sistemas de manufatura sob demanda (*on demand*),

sistemas ciberfísicos envolvendo a participação do usuário no projeto, simulação/certificação de produtos, sistemas ágeis de manufatura, montagem e entrega dos produtos.

Figura 11 – Evolução dos paradigmas de manufatura

Fonte: Adaptado de Hu (2013).

Dessa maneira, os objetivos fundamentais de cada um desses três paradigmas (produção em massa, customização em massa, personalização) podem ser assim descritos, respectivamente: economia de escala, economia de escopo e diferenciação de valor, como mostra a Figura 12. Ao contrário de uma relação de exclusão, a relação entre eles é antes de coexistência, na qual os paradigmas mais novos englobam os objetivos e abordagens dos anteriores e estabelecem uma demanda por sistemas mais adequados e satisfatórios. Quanto ao papel dos consumidores em cada um desses paradigmas, este pode ser definido por três verbos distintos, na seguinte ordem: “comprar”, “escolher”, “projetar” (HU, 2013).

Figura 12 – Metas dos paradigmas de manufatura

Fonte: Adaptado de Hu (2013).

Com essa perspectiva, pode-se melhor compreender as oportunidades que surgem para o projeto – e o coprojeto – de produtos personalizados e customizados no contexto da TA.

Segundo Ostuzzi et al. (2015), neste novo cenário, os usuários têm passado a ser enxergados mais como apropriadores criativos, pensadores, artistas ou mesmo coprojetistas e coengenheiros no processo de desenvolvimento. Mesmo porque, no âmbito da TA, fatores psicológicos relacionados à autoconfiança e percepção do dispositivo pelo usuário podem se tornar fatores dos mais determinantes para a rejeição ou não dos dispositivos assistivos. Por isso, mais que atentar apenas para a estética ou usabilidade do produto, também importantes, envolver ativamente o usuário no processo de desenvolvimento e seleção dos DA's pode ser fundamental para a diminuição da possibilidade de rejeição de um produto, trazendo também felicidade, significado e sentido à vida do usuário. Com essa participação ativa, o processo de desenvolvimento alcança níveis de real personalização do produto, ao invés de apenas customização.

Conforme Portnova et al. (2018, p. 10, tradução nossa), “os usuários se tornam projetistas na medida em que ofereceram reflexões e sugestões para a melhoria de projeto com base em suas experiências e preferências”.

Gherardini et al. (2018) afirmam que a proposta de coprojeto oferece um resposta mais adequada às necessidades funcionais e psicológicas de cada

indivíduo, na medida em que este se envolve mais diretamente no processo, contribuindo assim para a diminuição da estigmatização do produto pelo próprio usuário e, por conseguinte, reduzindo os índices de abandono de DA's.

A relação emocional estabelecida pela customização do DA com o envolvimento do usuário atua, desse modo, em duas frentes importantes: na diminuição do estigma associado ao DA, visto agora como uma ferramenta útil, e não apenas um dispositivo médico para uma determinada patologia; e na criação de um vínculo mais forte do usuário com o DA, justamente pela sua participação mais efetiva no processo de desenvolvimento. Com isso, a chance de abandono do DA é reduzida, em benefício do uso continuado (GHERARDINI et al., 2018).

Para Ostuzzi et al. (2015), o coprojeto está relacionado com um envolvimento e participação mais ativos dos usuários, por meio de suas ideias e criatividade, no processo de desenvolvimento de seus próprios DA's, a fim de serem obtidos dispositivos únicos e personalizados. Nesse sentido, o conceito de coprojeto iria além do conceito de projeto centrado no usuário, uma vez que envolve uma participação mais representativa do usuário, neste caso enxergado como um parceiro de desenvolvimento, ao passo que no segundo caso é visto como sujeito, e sua participação, mais passiva.

De Couvreur e Goossens (2011, p. 113, tradução nossa) definem coprojeto como “um conjunto de técnicas e abordagens iterativas que colocam os usuários em seu coração, trabalhando a partir de suas perspectivas e engajando percepções latentes e respostas emocionais”. Acrescentam ainda que, em combinação com protótipos físicos, o coprojeto se converte numa abordagem pragmática de balanço entre “o que é preciso?” e “o que pode ser feito?”, entre a participação ativa do usuário e as possibilidades de fabricação que a MA oferece, como ilustrado pelo esquema da Figura 13.

Por esse motivo, o desenvolvimento de produtos numa abordagem de coprojeto apresenta uma característica bem distinta, como pode ser visto na Figura 14, da abordagem mais linear adotada na engenharia de reabilitação em instituições, companhias ou times que possuam um caráter mais exclusivamente clínico ou técnico. Nestes últimos casos, a inovação geralmente é guiada pela tecnologia, com base na resolução de problemas e na redução de custos, sem a devida atenção ao

usuário. Por outro lado, problemas envolvendo pessoas com deficiência precisam de uma abordagem mais guiada pela oportunidade, com uma certa medida de tentativa e erro, a fim de realmente se compreender as necessidades físicas, emocionais e cognitivas dos usuários específicos (DE COUVREUR; GOOSSENS, 2011).

Figura 13 – Abordagem iterativa do processo de coprojetado

Fonte: De Couvreur e Goossens (2011).

Figura 14 – Comparação entre os métodos linear e iterativo

Fonte: De Couvreur e Goossens (2011).

Sanders e Stappers (2008) apresentam uma figura representativa (Figura 15) do processo de coprojetado, marcada especialmente pelo início difuso (*fuzzy front end*), também chamado de pré-projeto, que descreve as diversas atividades efetuadas para o adequado desenvolvimento do projeto, como a compreensão dos usuários e dos contextos de uso, a exploração e seleção de tecnologias e oportunidades, etc. Após esse período inicial mais crítico, o processo segue então para fases e etapas mais tradicionais, com a definição dos critérios de projeto, a elaboração de ideias e conceitos para o produto, a fabricação de protótipos e, por fim, a obtenção do produto.

Figura 15 – Figura representativa do processo de coprojetado

Fonte: Adaptado de Sanders e Stappers (2008).

2.5 MANUFATURA ADITIVA

Gibson et al. (2015), esclarecem que manufatura aditiva é o termo formal para o que costumava se chamar prototipagem rápida ou, popularmente, impressão 3D (*3D Printing* – 3DP). O termo prototipagem rápida é utilizado no âmbito da indústria para designar o processo de fabricação de uma representação física de um sistema ou peça de maneira rápida, antes do seu lançamento e/ou comercialização. Com o passar do tempo, porém, esse termo foi se tornando inadequado e incapaz de descrever os mais recentes avanços da tecnologia, uma vez que melhorias na qualidade do processo diminuíram significativamente a distância que separava o produto gerado por essas máquinas do produto final. Muitas peças, inclusive, são

hoje fabricadas diretamente por meio dessas máquinas, não sendo mais adequado designá-las por “protótipos”.

O princípio geral de funcionamento dessa tecnologia é a fabricação de peças pela deposição de camadas, a partir de um modelo 3D gerado previamente em CAD (*Computer Aided Design*), apresentando variações quanto aos materiais utilizados, à maneira de criação das camadas e ao processo de união dessas camadas. Essas diferenças, por sua vez, definirão outras características do processo, como a precisão final e as propriedades mecânicas da peça, bem como a velocidade de produção, a necessidade maior ou menor de pós-processamento, o tamanho da máquina utilizada e os custos gerais envolvidos (GIBSON et al., 2015).

Nos últimos anos, tem sido significativo o crescimento da utilização da MA na fabricação de peças nos mais variados segmentos produtivos e de serviços, principalmente nas áreas aeroespacial, automotiva e de processamento de plásticos. É também crescente a aplicação da MA para a geração de componentes personalizados, tais como próteses e órteses, joias e implantes dentários (WOHLERS, 2015).

A Figura 16 a seguir relaciona as principais áreas de aplicação da MA na atualidade.

Figura 16 – Principais áreas de aplicação da MA na atualidade

Fonte: Adaptado de Wohlers (2015).

De acordo com o relatório do McKinsey Global Institute (2013), dentre as vantagens da 3DP em relação aos métodos convencionais de fabricação, além das já citadas anteriormente, poderiam ser destacadas ainda: uma redução significativa do desperdício de matéria-prima e a produção de objetos que seriam muito difíceis ou mesmo impossíveis de serem fabricados pelos métodos tradicionais. Por outro lado, a tecnologia tem ainda suas limitações, variando segundo a técnica de impressão, como, por exemplo, a relativa baixa velocidade de produção, o tamanho limitado dos objetos, a baixa resolução e detalhamento das peças, o alto custo dos materiais e, em certas circunstâncias, a resistência limitada. Grandes progressos têm sido feitos, no entanto, nos últimos anos, no sentido de reduzir essas limitações.

Com a 3DP, é possível transferir uma ideia de um arquivo virtual diretamente para um produto ou peça final, suprimindo, em potencial, uma série de etapas tradicionais dos processos de manufatura, como aquisição de peças individuais, fabricação de moldes, usinagem, soldagem e montagem (MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE, 2013). Ainda segundo o relatório

Mesmo em 2025, as técnicas de manufatura tradicional quase certamente terão uma larga vantagem de custo sobre a manufatura aditiva para a maioria dos produtos de grande volume. Entretanto, a impressão 3D poderá se tornar uma abordagem cada vez mais comum para peças altamente complexas, de baixo volume e altamente customizáveis. [...] Esses produtos poderiam custar de 40 a 50% menos devido à eliminação dos custos com ferramental, redução de material desperdiçado e custos de operação reduzidos (MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE, 2013, p. 111, tradução nossa).

2.5.1 MANUFATURA ADITIVA E PDP

Para Volpato et al. (2017, p. 43)

As tecnologias de manufatura aditiva trouxeram um grande avanço como ferramenta para *designers* visualizarem, testarem e até mesmo produzirem produtos. Sua utilização tem sido crescente e, após mais de vinte anos de sua introdução nas fases de desenvolvimento de produtos, observam-se grandes avanços em fatores como rapidez de

construção, precisão dimensional e, principalmente, possibilidade de materialização de praticamente qualquer geometria complexa.

Como informam Volpato et al. (2017), as representações gráficas de um produto têm por objetivo fundamental facilitar e diminuir o seu tempo de desenvolvimento. Visam, portanto, facilitar o processo de comunicação entre a equipe de projeto e as demais partes envolvidas, como os clientes, a produção, o marketing; promover uma maior integração entre os conhecimentos envolvidos no processo; e ainda, auxiliar na tomada de decisões de projeto.

São várias as possíveis representações a serem utilizadas no processo de desenvolvimento de um produto, variando de acordo com o meio de construção e o processo de fabricação adotados e conforme a qualidade dos detalhes conseguida. Tem-se, assim, desde arquivos bidimensionais, como animações, renderizações e simulações virtuais, até representações físicas tridimensionais, como modelos e protótipos (VOLPATO et al., 2017).

No caso das representações físicas tridimensionais, podem ser classificadas em quatro tipos principais: maquete, *mock-ups*, modelos de apresentação e protótipos. A seguir, são listadas as características principais de cada um, de acordo com Volpato et al. (2017):

- a) Maquete: palavra de origem francesa (*macchietta*, pequena mancha). Designa o primeiro esboço, a primeira materialização da ideia e da intenção do artista. Está geralmente associada com estudos em escala reduzida de projetos arquitetônicos e várias estruturas complexas têm sido assim representadas por meio da tecnologia 3DP;
- b) *Mock-up*: modelo físico volumétrico em escala real ou reduzida do produto, desenvolvido com o objetivo de proporcionar um estudo básico da volumetria do produto e uma visualização de sua ocupação no espaço. Em geral, fabricados em cores neutras ou uniformes para verificação de formas, linhas de sombreado, sombras, com ou sem a presença de detalhes específicos destacados do volume principal;
- c) Modelos de apresentação: representações físicas não funcionais do produto. Buscam apresentar o máximo possível da aparência final do produto, como

pintura, texturas, etc., com o objetivo de serem utilizadas não somente pela equipe de projeto, mas também na pesquisa de mercado, no marketing e na publicidade;

- d) Protótipo: palavra de origem grega (*proto*, primeiro; *typus*, tipo). Modelo tridimensional físico do produto, desenvolvido antes de sua produção industrial em série, com a finalidade de validar todas ou algumas de suas características estabelecidas no projeto. Com avanço das tecnologias 3DP, as possibilidades de desenvolvimento de protótipos para verificação de características cresceram significativamente. Vale destacar que os requisitos funcionais impostos ao protótipo podem ser limitados aos necessários para a validação dos testes funcionais.

Desse modo, as representações físicas (modelos ou protótipos) têm se consolidado cada vez mais como fundamentais para o processo de PDP, como útil e importante ferramenta para a percepção da realidade, para a criação de um ambiente multidisciplinar integrado e para a tomada de decisões. Dentre as vantagens e finalidades proporcionadas por essas representações, Volpato et al. (2017) destacam:

- a) Aprendizagem: as representações podem ser produzidas nas várias etapas do PDP com o objetivo de responder a questões de projeto, auxiliando na aprendizagem e na tomada de decisões no decorrer do processo. A cada ciclo de prototipagem, novas informações e experiências são obtidas, direcionando melhor os esforços da equipe nas etapas subsequentes. Além disso, a utilização de protótipos pode melhorar a taxa de sucesso do PDP, em vista da maior confiabilidade das informações colhidas e de um melhor entendimento das necessidades, requisitos e restrições envolvidos. A Figura 17 ilustra esse ganho no PDP proporcionado pela utilização da prototipagem;
- b) Melhoria do produto: a possibilidade de obtenção de protótipos de maneira mais rápida, aliada aos resultados de simulações, testes e integração de clientes e fornecedores nas fases iniciais do PDP, permite que o produto possa ser otimizado a partir do teste de diferentes hipóteses, por meio da exploração e avaliação de soluções alternativas;

- c) Identificação de erros: a identificação de erros e problemas no produto antes do investimento em ferramental e dos estágios mais avançados do projeto é fundamental para se prevenir modificações altamente dispendiosas ou minorar os riscos de inovação. As representações físicas do produto são um dos melhores meios para essa identificação;
- d) Usabilidade e ergonomia: a utilização de protótipos e modelos físicos é fundamental para a realização de testes de usabilidade e estudos de ergonomia do produto. Por meio da simulação de uso em contextos específicos, como vem sendo preconizado pela ergonomia, os produtos podem ser avaliados e modificados de maneira a melhor atender aos requisitos de projeto e às necessidades dos usuários;
- e) Reprojetar: a geração de modelos comparativos e/ou modificações diretas é essencial ao processo de reprojetar de um produto. Sendo assim, por meio das representações físicas, torna-se possível a visualização concreta de mudanças e variações (dimensionais, funcionais, etc.) no produto;
- f) Comunicação: em um ambiente de projeto composto por pessoas de diferentes áreas do conhecimento, incluindo os usuários, e com as mais diversas habilidades e pontos de vista, as representações físicas se tornam um poderoso instrumento de comunicação e compartilhamento de ideias e informações, superando em muito uma descrição verbal, um desenho técnico (2D) e mesmo um modelo CAD (3D);
- g) Integração: como decorrência da facilitação do processo de comunicação e troca de informações, as representações físicas se tornam um importante elemento de integração entre os membros de uma equipe multifuncional. A sua utilização em estágios iniciais do PDP para a execução de montagens, por exemplo, gera uma série de atividades interativas que favorecem a integração entre os membros envolvidos e entre as diversas etapas do projeto;
- h) *Gates* de projeto: os protótipos propiciam uma visão do progresso do produto e favorecem o planejamento de seu desenvolvimento. Por isso, passaram a ser utilizados como marcos no PDP, com o estabelecimento de metas a serem alcançadas;

- i) Publicidade/vendas/pesquisas de mercado: com o auxílio dos protótipos, as pesquisas de mercado se tornaram mais eficazes e com resultados mais realísticos. Sendo assim, maiores investimentos no projeto só são efetuados após um bom resultado nas pesquisas, prevenindo prejuízos relevantes. Além disso, os modelos podem ser utilizados para a publicidade do produto, uma vez que a versão final industrializada demanda muito tempo para ser obtida.

Figura 17 – Ganho no PDP em decorrência da prototipagem mais frequente

Fonte: Volpato et al. (2017).

2.5.2 MANUFATURA ADITIVA E TA

Lunsford et al. (2016) apresentam uma revisão da literatura demonstrando o crescimento da aplicação da MA no contexto da medicina, da odontologia e da TA, bem como suas vantagens e limitações. Ressaltam os autores que a tecnologia 3DP existe há mais de 30 anos, no entanto, apenas mais recentemente tem ganhado mais atenção dos cientistas, engenheiros e público em geral. Isso se deve, sobretudo, à maior disponibilidade de impressoras de baixo custo em associação com avanços significativos nas técnicas e no processamento. Sendo assim, têm sido descobertas muitas possibilidades de aplicação nas áreas médica e odontológica, como na construção de dispositivos e implantes. Também na área da medicina física e da reabilitação, a 3DP tem demonstrado o seu potencial na obtenção de soluções

únicas, superando problemas comuns de fabricação, para a geração de órteses, próteses e TA de uma maneira geral.

Ostuzzi et al. (2015) também pontuam que, nos últimos anos, a criação e introdução no mercado de máquinas de baixo-custo, com código aberto e mais acessíveis aos usuários comuns para uso pessoal tem ocasionado um processo de “democratização da tecnologia” ou também de “democratização da produção”, especialmente no se que refere à produção de *gadgets*, pequenos itens, protótipos, etc. Isso tem desafiado “o paradigma dominante no qual o usuário é percebido e considerado apenas como um consumidor, um receptor passivo de produtos da produção em massa industrial” (OSTUZZI et al., 2015, p. 492, tradução nossa).

A 3DP atua neste contexto não somente como tecnologia, mas também como um conjunto de ferramentas (*toolkit*), que estimula a criatividade de todas as partes envolvidas e ajuda a integrar pessoas leigas no processo de projeto de seus próprios dispositivos (OSTUZZI et al., 2015).

De acordo com Lunsford et al. (2016), dentre as principais vantagens da aplicação da 3DP neste contexto, podem-se destacar: customização em massa, utilização de menos peças, geração de formas mais complexas, fabricação de peças por demanda, menos desperdício de material, tempo de execução mais curto, menor energia envolvida no ciclo de vida do produto.

Em relação aos dois principais métodos de fabricação, injeção e usinagem, a MA apresenta algumas vantagens em termos de custo e de desperdício de material. A injeção, por exemplo, é um processo muito utilizado para a produção em massa devido ao baixo custo por unidade, no entanto, quando se trata da fabricação de protótipos ou produtos customizados, se torna uma péssima opção, por conta do tempo e dos custos envolvidos na criação de um molde. A usinagem, por sua vez, até permite uma certa customização, porém, o desperdício de material é significativamente maior e, por conseguinte, também os custos envolvidos (LUNSFORD et al., 2016).

No que diz respeito ao tempo de fabricação, quando se compara a 3DP com outros métodos tradicionais, dependendo do dispositivo, pode-se enxergar uma

vantagem ou um desafio. Um laboratório com escaneamento e impressão 3D poderia ser capaz de entregar um dispositivo, como uma órtese, por exemplo, muito mais rapidamente que se fosse produzido pelos métodos tradicionais por uma terceira parte. Isso, no entanto, dependerá muito do dispositivo em questão e do processo, assim como da máquina utilizada, do material e do grau de resolução do produto (LUNSFORD et al., 2016).

Como desvantagens da 3DP, Lunsford et al. (2016) destacam: o custo e a manutenção da máquina, o custo do software CAD, o treinamento dos usuários, a baixa variedade de materiais compatíveis com o processo e a ineficiência em termos de tempo.

Os custos de equipamento de 3DP têm caído recentemente devido à expiração de algumas patentes, tornando a tecnologia bem mais acessível. Os preços dos softwares CAD, por sua vez, têm tido um decréscimo menor e ainda exigem um alto nível de experiência. Espera-se, no entanto, que esse panorama se altere nos próximos anos (LUNSFORD et al., 2016).

Os plásticos têm sido os materiais mais utilizados com essa tecnologia e apresentam, em geral, dois problemas com relação aos produtos finais: a distorção e a fragilidade. Entretanto, novos materiais, processos e máquinas têm sido desenvolvidos, possibilitando aos pesquisadores uma maior gama de propriedades dos produtos. Além disso, embora ainda significativamente mais cara devido às patentes não expiradas, a MA de metais abre muitos caminhos para a aplicação dessa tecnologia no contexto da reabilitação e da TA, com a possibilidade de criação de dispositivos customizados com boa resistência e maior complexidade (LUNSFORD et al., 2016).

A ineficiência da 3DP em relação ao tempo, associada a uma impossibilidade de fabricação em massa, é de certo modo contrabalanceada pela possibilidade de customização em massa a preços relativamente pequenos. A capacidade de se ter, por exemplo, uma base digital de desenvolvimento, em que pudessem ser realizadas rápidas mudanças no projeto do produto, baseadas em análises ou medições clínicas, sem mudanças significativas no processo de fabricação, confere à 3DP esse potencial único (LUNSFORD et al., 2016).

Lunsford et al. (2016) frisam, porém, que em estudos onde não há uma devida separação entre o processo de 3DP e os produtos gerados por esse processo como objetivos distintos de pesquisa, torna-se difícil o controle das variáveis e, como consequência, a obtenção de conclusões mais claras. No que se refere aos produtos, algumas linhas de pesquisa se destacam como importantes para o estabelecimento dos benefícios da 3DP na reabilitação e na TA, dentre elas: a pesquisa da melhoria funcional e estética de um dispositivo gerado pela 3DP; a pesquisa acerca do controle de qualidade dos produtos criados por esse processo; a pesquisa em torno da influência, positiva ou não, da 3DP nas principais causas de abandono de TA, como a falta de envolvimento do usuário na seleção do dispositivo, a estética pobre, a falta de customização ou a dificuldade de aquisição.

Para Portnova et al. (2018), a impressão 3D tem o potencial de trazer mais flexibilidade à fabricação e reparo de órteses manuais e dispositivos similares, além de promover fatores como acessibilidade, disponibilidade, customizabilidade e, por fim, o aumento da adesão dos usuários aos DA's.

A fabricação modular do produto, por intermédio da impressão 3D, ao possibilitar a realização de trocas e reparos de maneira mais rápida e menos onerosa, tem também o potencial de aumentar a aceitação do produto por usuários que, por exemplo, tiveram problemas anteriormente com os custos e o tempo associados à manutenção e conservação de outros produtos (PORTNOVA et al., 2018)

Gherardini et al. (2018) frisam que a MA está intimamente relacionada com a natureza intrínseca do desenvolvimento de DA's customizados e com os objetivos do projeto centrado no usuário ou coprojetado de dispositivos como esses, pelas seguintes características:

- a) o alto nível de customização dimensional e morfológica de cada dispositivo, o que inviabiliza a produção em série;
- b) a necessidade da fabricação de protótipos iniciais para a avaliação das soluções conceituais do produto;

- c) o tempo reduzido de fabricação e a capacidade de fabricação de formas complexas;
- d) a natureza temporária dos DA's, devido à própria variabilidade das condições e demandas clínicas do usuário, com a necessidade em muitos casos frequente de substituição por dispositivos similares, mas com modificações dimensionais ou morfológicas;
- e) a possibilidade da fabricação de peças com diferentes materiais a fim de se alcançar as características necessárias ao produto;
- f) a possibilidade de adequar o acabamento superficial do DA e de ajustar os parâmetros e as estratégias de fabricação em busca de propriedades específicas para o produto.

Há ainda um benefício psicológico importante na utilização da MA para o projeto de DA's, que é o da criação de uma relação emocional mais forte entre o usuário e o dispositivo por conta de três motivos principais: (1) as tecnologias de MA são geralmente percebidas como modernas e avançadas, o que confere ao produto um valor simbólico adicional; (2) essas tecnologias aumentam a autoestima do usuário, que se vê como um agente ativo na resolução de seus próprios problemas ao participar e acompanhar o processo de desenvolvimento e fabricação do dispositivo; (3) por fim, causam uma maior atração estética, graças às possibilidades de customização do formato e da cor de acordo com os desejos do usuário (GHERARDINI et al., 2018).

Schwartz et al. (2019), no entanto, afirmam que apesar das novas possibilidades que a impressão 3D trouxe aos profissionais de reabilitação, no que diz respeito ao projeto e à fabricação de novos DA's, é limitada ainda a orientação para a aplicação dessa técnica e para a avaliação de seus resultados no contexto da TA.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os procedimentos e recursos utilizados para o desenvolvimento do trabalho, os quais permitiram a elaboração da metodologia proposta. Em primeiro lugar, são descritos e analisados de maneira sintética os casos de desenvolvimento de DA's efetuados pelo grupo de pesquisa ao qual este trabalho se vincula. Posteriormente, apresenta-se o estudo de caso desenvolvido ao longo deste trabalho, em continuidade a um dos casos previamente analisados. Por fim, é relatado o processo de realização de uma RBS, com o objetivo de incrementar a fundamentação teórica para a proposição da metodologia do capítulo seguinte.

3.1 ANÁLISE DE CASOS

Este trabalho assim como o seu autor se vinculam às atividades do Grupo de Projeto Integrado Multidisciplinar (GPIM) ou, em inglês, *Integrated Multidisciplinary Design Team* (IMDT), que por sua vez está vinculado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP) e ao Núcleo de Manufatura Avançada (NUMA). Ao final de 2019, o nome do grupo passou por uma readequação, passando a ser chamado *Design Engineering and Innovation Center* (DEIC). Optou-se, neste trabalho, por se manter a referência ao IMDT por se tratar do nome em curso na época em que foi realizado.

O grupo conta com pesquisadores entre alunos de graduação, mestrado e doutorado, de áreas diversas dentro da engenharia, como mecânica, mecatrônica e materiais, sob a supervisão de uma professora doutora em Engenharia Mecânica. Dentre as linhas de pesquisa do grupo, podem ser destacadas: metodologia de projeto, características e aplicação da MA, desenvolvimento de produtos no âmbito da TA. Neste último caso, em parceria com terapeutas ocupacionais e fisioterapeutas de outros centros acadêmicos como a Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM) e a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Nesta seção, busca-se compartilhar um pouco da experiência adquirida em três projetos de TA desenvolvidos por membros do grupo nos últimos quatro anos,

sendo um deles deste autor, com um enfoque, sobretudo, na metodologia de projeto adotada em cada caso. As informações aqui fornecidas, bem como as experiências sobre as ferramentas, métodos e procedimentos adotados, foram de muita utilidade para a elaboração da metodologia do capítulo seguinte, e espera-se que possam também proporcionar aos leitores e projetistas uma visão mais ampla desse tipo de projeto e de suas características específicas.

Vale mencionar que cada um dos três projetos aqui apresentados culminou na geração de uma patente (modelo de utilidade).

3.1.1 UTENSÍLIO DE ALIMENTAÇÃO (SANTOS, 2015)

O projeto de mestrado deste autor, Santos (2015), teve por objetivo realizar um estudo da melhoria de um utensílio de alimentação para indivíduos com tremores nos membros superiores causados pela Doença de Parkinson (DP) ou por outras desordens neurológicas que afetem a coordenação motora. O trabalho foi realizado em parceria com o departamento de Terapia Ocupacional da UFTM e derivou de uma necessidade de melhoria nos utensílios disponíveis no mercado nacional identificada por Pachelli (2014).

Uma equipe de projeto multidisciplinar foi formada para o projeto, contando com engenheiros mecânicos e de materiais, dentre os quais alguns com relevante experiência no processo de fabricação via MA, além dos terapeutas ocupacionais.

Em primeiro lugar, foi realizada uma pesquisa do estado da arte e da técnica de utensílios desse tipo, com a realização de buscas de utensílios similares em bases de dados de patentes e também dos modelos comercialmente disponíveis no país e no exterior, em sites e lojas especializados. Esse tipo de pesquisa tem se mostrado fundamental para encontrar as oportunidades de melhoria e inovação no que se refere ao projeto de DA's.

Para levar a cabo a melhoria desejada, foi feito também um estudo da metodologia de projeto, mais especificamente das etapas de projeto informacional e conceitual, em busca de sistematizar o processo de desenvolvimento e inovação no âmbito da TA. Foi proposta uma integração entre duas ferramentas de projeto já conhecidas, o QFD e a TRIZ, e a aplicação no estudo de caso em questão, com a posterior fabricação de um protótipo funcional e os testes com usuários para a

realização dos ajustes necessários no projeto. A Figura 18 apresenta um fluxograma esquemático do desenvolvimento do projeto.

Figura 18 – Fluxograma do projeto do utensílio de alimentação

Fonte: Adaptado de Santos (2015).

Resumidamente, o QFD (*Quality Function Deployment*), ou Desdobramento da Função Qualidade, é uma ferramenta criada na década de 60 pelo japonês Yoji Akao, voltada para a garantia da qualidade do projeto, com o objetivo principal de permitir à equipe de desenvolvimento do produto a incorporação das reais necessidades do cliente em seus projetos de melhoria. Trata-se de uma ferramenta de planejamento, comunicação e desenvolvimento, que possibilita “ouvir” a voz do cliente e organizá-la de modo a facilitar a análise e o atendimento de suas necessidades nas fases subsequentes do projeto.

Com uma abordagem focada na satisfação do usuário, o QFD busca traduzir os requisitos dos usuários em requisitos técnicos e garantias de qualidade que deverão ser observados e avaliados no decorrer do processo de desenvolvimento do produto (AKAO, 1990).

Dentre os métodos utilizados pelo QFD para alcançar os seus fins, um dos principais consiste na chamada Casa da Qualidade (CQ) ou, em inglês, *House of Quality*. Trata-se de uma matriz que busca relacionar os requisitos dos clientes às características técnicas do produto – de natureza mensurável –, sendo o ponto de partida para o desdobramento da qualidade no desenvolvimento do novo produto. Uma visão esquemática da CQ pode ser vista na Figura 19.

Figura 19 – Matriz da Casa de Qualidade do QFD

Fonte: Adaptado de Rozenfeld et al. (2006).

No campo 5 da Figura 19, denominado Matriz de Relacionamentos, são estabelecidas as relações, bem como a intensidade de cada uma delas, existentes entre os requisitos do cliente e os requisitos técnicos do produto. Em geral, com base no trabalho de Clausing (1994), são adotados quatro possíveis indicadores para cada relação: 0 (inexistente ou desprezível), 1 (fraca), 3 (média) e 9 (forte). A partir do somatório desses indicadores, pode-se definir um peso relativo de cada requisito técnico do produto, o que será muito importante nas etapas posteriores do

projeto para a definição dos requisitos técnicos mais relevantes, de modo a atender as necessidades do usuário.

Já no campo 7 da Figura 19, chamado Matriz de Correlação ou “telhado” da CQ, são definidas as relações de compromisso entre cada requisito técnico do produto. Se a relação é direta, isto é, se a melhoria no requisito A gera uma melhoria no requisito B, atribui-se à relação um sinal de “+”. Caso contrário, atribui-se o sinal “-”, indicando uma contradição técnica entre os requisitos em questão. É justamente esse o ponto de integração entre o QFD e a TRIZ.

A TRIZ, em síntese, é uma ferramenta de projeto desenvolvida na década de 40, na antiga União Soviética, por Genrich S. Altshuller e sua equipe, com o objetivo de se proporcionar uma alternativa mais eficiente para a solução criativa de problemas e a inovação no desenvolvimento de produtos. Trata-se de um acrônimo russo para *Teoriya Rezheniya Izobretatel'skisch Zadach* ou, em português, Teoria da Solução Inventiva de Problemas.

Para desenvolvê-la, Altshuller e sua equipe pesquisaram mais de 200.000 patentes das mais diversas áreas, de maneira a fazer um levantamento dos problemas inventivos encontrados pelos inventores e os meios pelos quais conseguiram solucioná-los. Os pesquisadores puderam então notar que a inovação estava geralmente relacionada à resolução de contradições técnicas entre requisitos conflitantes do projeto, com a obtenção de uma solução inventiva. Daí o nome teoria da solução inventiva de problemas.

Além disso, puderam também identificar a existência de certos padrões na obtenção dessas soluções inventivas, por eles denominados Princípios Inventivos (PI's), que são um total de 40 sugestões de procedimentos para a resolução de contradições técnicas entre requisitos conflitantes. Esses requisitos, por sua vez, foram resumidos em um total de 39 grandezas genéricas utilizadas para caracterizar o problema inventivo a ser solucionado, sob o nome de Parâmetros de Engenharia (PE's). Em suma, os PI's são propostas de solução inventiva para uma contradição técnica entre um par de PE's. O conjunto de todas essas propostas para cada

possível par conflitante foi agrupado numa matriz (39x39), denominada Matriz de Contradições (MC), que é uma das principais ferramentas da TRIZ.

Dessa forma, pode-se entender o princípio de funcionamento da TRIZ como sendo uma descontextualização de um problema específico a ser solucionado, em busca de soluções genéricas análogas obtidas por outros inventores das mais diversas áreas do conhecimento, para posteriormente contextualizar essas soluções ao problema em questão, como ilustrado na Figura 20.

Figura 20 – Princípio de funcionamento da TRIZ

Fonte: Autor (2017).

A integração entre o QFD e a TRIZ se dá, desse modo, pela transformação das correlações negativas do “telhado” da CQ em contradições técnicas entre PE's da TRIZ, em busca de possíveis soluções inventivas para estas contradições por meio dos PI's indicados pela MC, conforme esquematizado na Figura 21.

Os requisitos dos usuários, num total de dez, foram obtidos por meio de questionários enviados a terapeutas ocupacionais que trabalhassem com usuários pertencentes ao grupo de interesse da pesquisa. A partir daí, a equipe de projeto pôde desdobrá-los em dezesseis requisitos técnicos que atuaram como norteadores do processo de desenvolvimento. Com os requisitos técnicos e os dos usuários, foi possível então o estabelecimento da Casa da Qualidade para o projeto, a qual pode ser parcialmente visualizada na Figura 22.

Para identificar o nível de importância de cada um dos requisitos, foi realizada uma pesquisa via Internet com os terapeutas ocupacionais. Solicitou-se a atribuição de uma dentre três possíveis notas – 1 (pouco relevante), 3 (relevante) e 9 (muito relevante) – para cada requisito, com um limite de até duas notas máximas para cada entrevistado. A nota total de cada requisito foi dada pelo somatório das notas recebidas e aqueles com as maiores pontuações foram considerados os mais relevantes para o projeto.

Figura 21 – Esquema do processo de integração entre QFD e TRIZ

Fonte: Autor (2017).

A partir da matriz de correlações, foram escolhidas as seis correlações negativas mais relevantes para o projeto, definidas pelo somatório do peso relativo (matriz de relacionamentos) do par de requisitos envolvido na correlação. Essas seis correlações foram então transformadas em contradições técnicas entre pares de PE's, a partir da associação de cada requisito técnico aos PE's que melhor lhes descreviam. A partir da MC, foi possível obter os PI's sugeridos para a resolução das contradições, os quais foram posteriormente desdobrados pela equipe de projeto, por meio de discussões e sessões de *brainstorming*, em possíveis soluções técnicas para o produto.

Vale destacar que, pela própria natureza mais abstrata dos PI's, o processo de sua adequada interpretação para aplicação em uma situação específica é essencial para a obtenção de soluções satisfatórias. Por isso, o estudo de outros casos onde a aplicação do método foi bem-sucedida pode ser de grande valia.

Figura 22 – Visão parcial da Casa da Qualidade do projeto do utensílio de alimentação

Fonte: Santos (2015).

Com isso, foram gerados os primeiros conceitos e esboços à mão (Figura 23) do DA. Após a escolha das soluções técnicas mais viáveis, foi desenvolvido e fabricado com o auxílio da MA, em PLA (poliácido láctico), um primeiro protótipo

(*mock-up*) do produto, com o intuito de apresentá-lo aos terapeutas ocupacionais. Esse primeiro *mock-up* pode ser visto na Figura 24.

Figura 23 – Primeiros esboços à mão do DA

Fonte: Santos (2015).

Figura 24 – Primeiro *mock-up* do utensílio

Fonte: Santos (2015).

Após a avaliação e as sugestões dos terapeutas e de novas considerações da equipe de projeto, o DA passou por algumas modificações e uma nova versão foi concebida. Em síntese, o dispositivo consiste de um cabo principal (1) no qual são fixadas as outras peças: um talher adaptado (3), uma tampa dianteira para fixar o talher (2), uma tampa traseira de vedação (4), uma cobertura ergonômica (5) e uma correia ajustável (6). O cabo também contém quatro cavidades internas, que podem ou não ser preenchidas com água, totalizando cinco configurações possíveis de peso para o dispositivo, sendo a mais pesada o dobro do peso totalmente vazio.

A Figura 25 apresenta a vista explodida, com o detalhe de cada uma das peças, e a perspectiva traseira dessa segunda versão do protótipo, evidenciando a configuração interna do cabo com quatro cavidades.

Com exceção do talher, feito a partir de uma adaptação de um talher convencional (dobra 90° e furo), a segunda versão do protótipo do utensílio, agora já de caráter funcional, foi também fabricada via MA (em PLA), como pode ser visto na Figura 26, a fim de que pudesse ser novamente submetida a processo de avaliação e testes, desta vez com os terapeutas ocupacionais e também com o usuário final.

Figura 25 – Vista explodida (a) e perspectiva traseira (b) do DA

Fonte: Santos (2015).

Figura 26 – Protótipo do utensílio de alimentação

Fonte: Santos (2015).

A continuidade do processo de avaliação e refinamento do DA, por meio de testes e ajustes de projeto e fabricação, ficaram a cargo deste trabalho, como será apresentado mais adiante na seção 3.2.

3.1.2 SLING (BARBOSA, 2016)

O projeto de mestrado de Barbosa (2016) teve por objetivo desenvolver um equipamento (*sling*) destinado à sustentação e movimentação dos membros superiores de indivíduos que apresentem disfunções motoras nestes membros, propiciando a realização de exercícios terapêuticos. O projeto foi realizado em parceria com os departamentos de Terapia Ocupacional da UFTM e da USP/Ribeirão Preto e em conjunto com o projeto de doutorado de Souza (2016), que identificou a necessidade de melhoria nas soluções de engenharia existentes para a terapia de membros superiores. A Figura 27 apresenta um fluxograma do projeto.

Primeiramente, foi realizada uma pesquisa do estado da técnica e da arte, com buscas por utensílios similares em periódicos, bases de patentes, catálogos e sites especializados, a fim de se identificar oportunidades de melhoria e inovação.

Os requisitos dos usuários para o produto foram obtidos a partir de uma lista com treze características principais do DA pré-estabelecidas por Souza (2016) representativas das necessidades dos usuários, as quais podem ser vistas na Tabela 3. Estas características foram entregues a dez terapeutas ocupacionais que atribuíram notas de relevância – 9 (muito importante), 3 (importante), 1 (pouco importante) – a cada uma delas. As sete características com maior pontuação foram, então, tomadas como os requisitos dos usuários para a utilização na CQ do QFD.

Tabela 3 – Necessidades dos usuários do *sling*

Item	Descrição característica
Bilateral	Sustentação e movimentação unilateral ou bilateral
Flexibilidade	Uso junto a diferentes mobiliários (por exemplo, leito hospitalar e cadeira de rodas)
Montagem rápida	Facilidade de encaixar as partes do dispositivo para proceder a uso
Peso paciente	Capacidade de sustentar o(s) membro(s) sem deformação das partes
Resistência do material	Capacidade de manter a originalidade do material, sem danos após uso
Conforto	Proteção, aconchego durante o uso do dispositivo
Higienização	Possibilidade de limpeza das partes
Apoio do antebraço	Desenho do componente que está em contato com o braço para suspensão
Estabilização mão	Desenho do componente que está em contato com a mão em suspensão
Regulagem altura	Possibilidade de ajuste de altura do dispositivo à demanda do usuário
Fácil de guardar	Facilidade para armazenar, acondicionar.
Fácil de desmontar	Facilidade para separar as partes
Preço	Valor para aquisição em loja

Fonte: Souza (2016).

Figura 27 – Fluxograma do projeto do *sling*

Fonte: Barbosa (2016).

Após o desdobramento dos requisitos dos usuários em requisitos técnicos, foi elaborada a CQ do projeto, apresentada na Figura 28, onde as relações fortes (peso 9) são representadas por dois círculos concêntricos, as médias (peso 3) por um círculo e as fracas (peso 1) por um triângulo.

Figura 28 – Casa da Qualidade do projeto do *sling*

Requisitos do usuário	Requisitos Técnicos	Simetria	Geometria	Usabilidade	Resistência Mecânica	Ergonomia	Transportabilidade	Vendabilidade	Importância (Usuário)	Argumento de Venda	Peso Absoluto	Peso Relativo (%)
Bilateral	◎	○			○		△		3	1,5	4,5	7,1
Flexibilidade	○	◎			○	○			9	1,5	13,5	21,3
Montagem Rápida		○	◎	△					3	1,0	3,0	4,7
Resistência da Estrutura	△	○		◎	△		○		9	1,0	9,0	14,2
Regulagem de Altura	○				◎				9	1,2	10,8	17,1
Armazenamento		△			△	◎	△		9	1,5	13,5	21,3
Preço				△	△	△	◎		9	1,0	9,0	14,2
Importância Absoluta		122,4	184,5	27	39	182,7	171	126	852,6		63,3	100%
Importância Relativa (%)		14,4	21,6	3,2	4,6	21,4	20,1	14,8	100%			

Fonte: Barbosa (2016).

Após o QFD, foram utilizadas duas ferramentas de auxílio ao desenvolvimento do projeto conceitual: as análises funcional e morfológica. A primeira tem por objetivo facilitar o entendimento, por parte da equipe multidisciplinar de projeto, das funções básicas do produto. Para tanto, utiliza-se uma linguagem semântica para descrever as funções (primárias e secundárias) a serem atendidas pelos sistemas e subsistemas do produto, com enfoque nos princípios físicos das soluções, e não ainda nas soluções técnicas propriamente ditas. O desenho esquemático da análise funcional para o projeto do *sling* pode ser visto na Figura 29.

Na análise morfológica, por sua vez, são propostas algumas soluções técnicas que visem atender às funções secundárias do produto, de modo a

proporcionar à equipe de projeto um conjunto de opções e combinações possíveis para o produto. A Tabela 4 apresenta algumas dessas funções com suas respectivas soluções viáveis para o *sling*.

Figura 29 – Análise funcional do projeto do *sling*

Fonte: Barbosa (2016).

Após o estudo das diversas possibilidades de projeto, a partir das soluções viáveis listadas na Tabela 4, foram propostas duas configurações diferentes do *sling*, que podem ser visualizadas na Figura 30. Estas configurações foram então apresentadas a dois terapeutas ocupacionais para que avaliassem sua viabilidade e funcionalidade. A partir das sugestões dos terapeutas, foram incorporados ao projeto alguns novos requisitos para o DA, como a utilização de contornos mais suaves e design mais moderno, a possibilidade de intercambiabilidade e modularidade e uma maior compactação, levando à geração de uma nova configuração, cujo croqui pode ser visto na Figura 31.

Tabela 4 - Análise morfológica do *sling*

Funções do projeto		Soluções			
		(1)	(2)	(3)	(4)
Prover deslocamento		Rodas giratórias	Rodas fixas	Rodas giratórias com trava	Cilindro emborrachado
Prover Apoio da Estrutura		Base única com o formato em "U"	Bases Separadas, com o formato em "X"	Base com barras paralelas e ajuste regulável	Tripé
Regular Altura		Sistema Telescópico com pino para travar	Parafuso de potência	Macaco de (semelhante ao encontrado em automóveis)	
Regular Largura		Sistema Telescópico com pino para travar	Várias opções de largura soldadas na base superior	Junta deslizante com trava	Sistema "leque"
Eliminar a ação da gravidade		Engrenagem dentada (sustentação devido a geometria do aparelho)	Polia/Correia (sustentação devido ao contra peso)	Polia/Cabo de aço (sustentação devido ao contra peso)	Mosquetão/Cabo de aço/molas (sustentação devida à geometria do aparelho)
Sustentar o Membro		Faixa 8 ²	Faixa elástica	Berço para o braço	Combinação faixa 8 e luva

Fonte: Barbosa (2016).

Figura 30 – Duas primeiras configurações propostas para o *sling*

Fonte: Adaptado de Barbosa (2016).

Figura 31 – Croqui da terceira configuração do protótipo

Fonte: Barbosa (2016).

O croqui foi ainda levado para análise de um grupo de engenheiros, que propuseram então algumas modificações técnicas no DA, como, por exemplo, a inserção de duas barras transversais na base para maior estabilidade, culminando na nova configuração apresentada, em desenho CAD, na Figura 32. Um protótipo desta versão foi então produzido em escala real para testes com os usuários, neste caso, um total de onze terapeutas ocupacionais, os quais foram submetidos a um teste de montagem e desmontagem do protótipo, a fim de que pudessem identificar os pontos positivos do projeto e as possíveis mudanças e melhorias que desejariam ver. Esses pontos positivos e negativos encontram-se relacionados na Tabela 5.

Tabela 5 – Aspectos positivos e negativos do protótipo do *sling*

<i>Pontos positivos</i>	<i>Pontos negativos</i>
Interessante	Necessita ajuste
Fácil de guardar	Movimentação braço limitada
Não ocupa espaço	Montagem difícil (encaixe peças)
Versátil	Desmontagem difícil (desencaixe de peças)
Funcional	Pesado
Fantástico	Instável na base

Fonte: Souza (2016).

Figura 32 – Desenho em CAD do primeiro protótipo fabricado do *sling*

Fonte: Barbosa (2016).

A partir dessas informações, novas modificações foram realizadas no projeto, nos sistemas de fixação da haste vertical na base, de movimentação dos braços, de regulação de altura do equipamento e nas alças de apoio aos braços, resultando em um novo conceito de protótipo, cujo desenho é apresentado na Figura 33, nas configurações aberta e fechada.

Figura 33 – Novo protótipo do *sling* nas configurações aberta e fechada

Fonte: Barbosa (2016).

Com esse conceito estabelecido, foi realizado o projeto preliminar do produto, com a execução do pré-dimensionamento; a geração dos desenhos técnicos; o cálculo e análise de esforços e tensões em CAE, nas condições aberta e fechada; e o cálculo das molas. Após isso, passou-se à fabricação e montagem do novo protótipo (Figura 34), que recebeu novamente algumas modificações após sugestões dos terapeutas ocupacionais. Só então foi submetido aos testes com um usuário final, no caso um indivíduo com tetraplegia, para a verificação de sua funcionalidade e das possíveis alterações necessárias.

Figura 34 – Novo protótipo do *sling* fabricado e submetido aos testes

Fonte: Barbosa (2016).

Atualmente, o projeto segue ainda em desenvolvimento, com a realização de novos testes junto aos usuários e terapeutas ocupacionais para a realização de ajustes e melhorias no dispositivo.

3.1.3 ÓRTESE INFANTIL DE MÃO E PUNHO (KANEKO, 2017)

O projeto de mestrado de Kaneko (2017) teve por objetivo o desenvolvimento de um dispositivo (órtese infantil) universal e ajustável para auxílio em tarefas cotidianas como alimentação, escrita e higiene pessoal, por meio da utilização de ferramentas de metodologia de projeto. Para o projeto foi adotada a orientação *Design for Additive Manufacturing* (DFAM), com a geração de *mock-ups* em diferentes etapas do processo e a realização de testes, avaliações e validação da órtese.

Como se tem feito sistematicamente nos projetos desenvolvidos pelo IMDT, foi realizada primeiramente uma pesquisa abrangente e um estudo em torno das soluções já disponíveis no mercado, visando potencializar as melhorias no produto e identificar com mais clareza as oportunidades de inovação com relação ao DA a ser desenvolvido.

O fluxograma apresentado na Figura 35 ilustra bem as principais etapas e atividades do processo, dividido em duas fases principais – Projeto Informacional e Projeto Conceitual –, bem como algumas das ferramentas de projeto adotadas.

Figura 35 – Fluxograma do projeto da órtese infantil

Fonte: Kaneko (2017).

A primeira atividade do Projeto Informacional foi a definição de uma lista preliminar dos requisitos dos usuários, por meio da aplicação do método

brainstorming aos *stakeholders*. Esses requisitos foram posteriormente categorizados em seis classes principais (segurança, design, ergonomia, facilidade de usar, durabilidade e preço acessível) e, então, hierarquizados, com o auxílio de duas ferramentas: o método de comparação aos pares e a utilização de questionários.

O método da comparação aos pares, de acordo com Pahl et al (2007), consiste na elaboração de uma tabela em que as categorias de requisitos estejam dispostas tanto nas colunas como nas linhas. Analisa-se, então, a relação entre cada par de categorias, atribuindo os valores de 1 ou 0 para cada par, caso a categoria da linha seja, respectivamente, predominante ou não em relação à categoria da coluna. A soma dos valores de cada linha define a ordem de importância entre as categorias. A Figura 36 ilustra a aplicação desse método ao projeto da órtese.

Figura 36 – Aplicação do método de comparação aos pares ao projeto da órtese

	Segurança	Design	Ergonomia	Facilidade de Uso	Durabilidade	Custo	Total
Segurança	-	1	0 ^[1]	1 ^[2]	1	1	4
Design	0	-	0	0	0 ^[3]	1	1
Ergonomia	1 ^[1]	1	-	0	1	1	4
Facilidade de Uso	0	1	1	-	1	1	4
Durabilidade	0	1	0	0	-	1	2
Custo	0	0	0	0	0	-	0

Legenda: 1- Predomina e 0- Não predomina.

Fonte: Kaneko (2017).

Foi também elaborado um questionário com o objetivo de mensurar o grau de importância de cada requisito para os terapeutas ocupacionais envolvidos no projeto. A cada requisito deveria ser atribuído um dentre três possíveis valores: 9 (muito importante), 3 (médio importante) e 1 (pouco importante), com um limite de no

máximo três requisitos considerados muito importantes por entrevistado. O somatório das notas de cada requisito em todos os questionários definiu então a prioridade de cada um para o projeto.

Com os requisitos dos usuários definidos, foi possível a elaboração da Casa da Qualidade (QFD) para o projeto, que pode ser visualizada, em duas partes, na Figura 37 (matriz de relações) e na Figura 38 (matriz de correlações).

Figura 37 – Matriz de relações (QFD) do projeto da órtese

Fonte: Kaneko (2017).

Figura 38 – Matriz de correlações (QFD) para o projeto da órtese

Fonte: Kaneko (2017).

Após a elaboração do QFD, pôde-se passar à próxima fase do projeto, o Projeto Conceitual. A primeira ferramenta utilizada nesta fase foi a chamada árvore ou estrutura funcional, que busca descrever graficamente o produto partindo de suas funções mais gerais para as mais específicas e, assim, facilitar o entendimento de cada função e a busca por possíveis soluções que as atendam. A Figura 39 apresenta a árvore funcional para este projeto.

Figura 39 – Árvore funcional para a órtese

Fonte: Kaneko (2017).

Foi utilizada também a ferramenta conhecida como diagrama MEI (matéria-energia-informação), que busca representar o problema e suas subdivisões em termos de entradas e saídas, ajudando a entender melhor a dinâmica de funcionamento do produto e a transformar problemas complexos e problemas mais simples. Para o projeto em questão foram elaborados os diagramas para a função principal e para a operação, apresentados, respectivamente, na Figura 40 e na Figura 41 a seguir.

Figura 40 – Diagrama MEI para a função principal da órtese

Fonte: Kaneko (2017).

Figura 41 – Diagrama MEI para a operação da órtese

Fonte: Kaneko (2017).

A partir da subdivisão das funções do produto, recorreu-se a outra ferramenta, denominada quadro morfológico (ou análise morfológica), para a busca de soluções que pudessem atender a cada uma delas. O quadro morfológico consiste num método de simplificação do problema e de estimulação da criatividade por meio da listagem, em uma tabela, das diversas soluções possíveis para cada subfunção do produto. Para a busca das soluções, pode-se recorrer a analogias com outras áreas do conhecimento, onde princípios semelhantes poderão ser encontrados.

A solução final é obtida pela seleção, de maneira independente, de uma solução para cada subfunção. São possíveis, assim, várias combinações distintas como solução final a ser adotada. Vale ressaltar, contudo, que as soluções são conceituais e, portanto, precisam ser avaliadas para que se verifique se são realmente viáveis e as mais adequadas para o problema global.

O quadro morfológico para a órtese é apresentado na Figura 42, ao passo que as possíveis soluções escolhidas podem ser vistas na Figura 43.

Figura 42 – Quadro morfológico para a órtese

Parâmetros	Soluções							
Ajustar tamanho	Obturador de câmera			Gaveta		Telescópio		
Introduzir a mão no dispositivo	Luva			Esfera de fisioterapia		"Apoio" (tala)		
Ajustar dispositivo na mão	Velcro ®	Neoprene	Clique	Parafuso	Zíper	Fio	Botão	Fivela
Introduzir ferramenta no dispositivo	Clique	Imã	Velcro	Anéis/tubo		Parafuso	Adesivo	
Ajustar ferramenta	Inflar		Empurrar		Macho/fêmea		Clique	
Prover versatilidade	Encaixes específicos		Cone		Inflar		Clique	
Prover ergonomia/anatomia	Ar	Água	Gel	Isopor	Espuma		Algodão	
Prover fácil manuseio	Polímero			Metal		Cerâmico		
Facilitar higiene	Desmontável		Impermeável		Acabamento superficial		Porosidade	
Prover estética	Espaço para desenho			Cores		Temático		

Fonte: Kaneko (2017).

Figura 43 – Possíveis soluções escolhidas para a órtese

Parâmetros	Soluções							
Ajustar tamanho	Obturador de câmera			Gaveta		Telescópio		
Introduzir a mão no dispositivo	Luva			Esfera de fisioterapia		"Apoio" (tala)		
Ajustar dispositivo na mão	Velcro	Neoprene	Clique	Parafuso	Zíper	Fio	Botão	Fivela
Introduzir ferramenta no dispositivo	Clique	Imã	Velcro	Anéis/tubo		Parafuso	Adesivo	
Ajustar ferramenta	Inflar			Empurrar		Macho/fêmea		Clique
Prover versatilidade	Encaixes			Cone		Inflar		Clique
Prover ergonomia/anatomia	Ar	Água	Gel	Isopor	Espuma			Algodão
Prover fácil manuseio	Polímero			Metal		Cerâmico		
Facilitar higiene	Desmontável		Impermeável		Acabamento superficial		Porosidade	
Prover estética	Espaço para desenho			Cores		Temático		

Solução alternativa 1

Solução alternativa 2

Solução escolhida

Fonte: Kaneko (2017).

Definida uma solução para o projeto, passou-se então à aplicação do FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), ferramenta que visa identificar os modos, efeitos e causas de falhas em um produto, classificando-as – numa escala tabelada com índices de 1 a 10, em que 10 é a situação menos desejada – segundo a

severidade, ocorrência e dificuldade de detecção. A multiplicação dos três índices relativos a cada função resulta no chamado NPR (*Risk Priority Number*), que representa o quão prejudicial pode ser a falha. Naturalmente, quanto maior o NPR de uma função, maior a atenção requerida por parte dos projetistas. O FMEA para o projeto da órtese pode ser visualizado na Tabela 6.

Tabela 6 – FMEA para o projeto da órtese

Função e requisitos do processo	Modo de Falha	Efeito potencial de falha	S/G	Causa/Mecanismo Potencial da falha	Ocorrência (O)	Detecção (D)	(R) NPR
Ajustar tamanho	Deformação plástica do material	A órtese fica folgada ou apertada	6	Geometria/Mau dimensionamento	8	1	48
Introduzir a mão no dispositivo	Ruptura/Força insuficiente	Impossibilidade de uso	8	Geometria/Mau dimensionamento	3	5	120
Ajustar o dispositivo na mão	Deformação plástica do material	A órtese fica folgada ou apertada	6	Perda de adesão do fecho (material)	8	1	48
Introduzir ferramenta no dispositivo	Deformação plástica do material	Impossibilidade de uso	8	Geometria	6	1	48
Ajustar ferramenta	Ajuste incorreto/Força insuficiente	A órtese fica folgada ou apertada	7	Perda de elasticidade (material)/Mau uso	6	5	210
Prover versatilidade	Desgaste do componente	Não funcionamento de um dos objetivos (comer ou escrever)	5	Geometria/Material	5	3	75
Prover ergonomia/anatomia	Sobreaquecimento/Excesso de umidade	Desconforto térmico	4	Geometria/Material	2	6	48
	Acabamento superficial	Lesionar/Machucar o usuário	9	Dimensionamento	4	2	72
Prover fácil manuseio	Peso	Fadiga muscular	5	Material	5	6	150
Facilitar higiene	Acabamento superficial	Sujar	3	Material/Mau uso	8	4	96
	Alta umidade	Degradar material	6	Material/Mau uso	4	8	192
Prover estética	Não ser bonito	Insatisfação do usuário	2	Acabamento	6	2	24

Fonte: Kaneko (2017).

Após todo esse processo de estudo, análise e escolha da solução conceitual mais adequada, iniciou-se o processo de concretização desta solução, primeiramente em ambiente virtual, com a utilização do software *Rhinocerus®* 5.0, conforme pode ser visto na Figura 44. Esse modelo foi então fabricado em PLA, via MA, gerando o primeiro protótipo (*mock-up*) da prótese, apresentado na Figura 45.

Figura 44 – Desenho em CAD do primeiro modelo da órtese

Fonte: Kaneko (2017).

Figura 45 – Primeiro protótipo (*mock-up*) da órtese

Fonte: Kaneko (2017).

Por meio desse primeiro protótipo e da interação com os usuários e terapeutas, foi possível avaliar melhor os princípios de funcionamento do dispositivo, as dimensões, os pontos frágeis, as possíveis melhorias. Sendo assim, dadas as características iterativas do processo de projeto conceitual, iniciou-se novamente esta fase, com o objetivo de se desenvolver alguns ajustes no dispositivo.

Neste processo, foi utilizado inclusive um software de simulação de modelos humanos, *MakeHuman*® 1.1.1, com o objetivo de melhor simular a anatomia da mão dos usuários-alvo, neste caso crianças, e assim desenvolver um produto com ergonomia mais adequada e maior qualidade.

Após os ajustes ergonômicos e geométricos no projeto, chegou-se à segunda versão do protótipo, conforme pode ser visualizado na Figura 46, também fabricado por MA.

Figura 46 – Segunda versão dos protótipos da órtese

Fonte: Kaneko (2017).

O projeto está atualmente ainda em curso, por meio de testes de avaliação e validação com os usuários e terapeutas, em busca de ajustes que possam tornar o dispositivo ainda mais ergonômico e funcional.

3.1.4 ANÁLISE COMPARATIVA

Na Tabela 7 a seguir, é apresentado um quadro comparativo, em sequência cronológica, entre os três projetos desenvolvidos no IMDT apresentados neste

capítulo, com as respectivas ferramentas e métodos de projeto utilizados por cada um deles. É interessante notar, a partir do quadro, a progressão da utilização das ferramentas e métodos de desenvolvimento à medida que os projetos foram sendo realizados, denotando um maior amadurecimento do grupo e de seus integrantes quanto a esse tipo de projeto e um maior conhecimento e familiaridade em relação a esses recursos e sua aplicação.

Além da continuidade destes projetos, outros vêm sendo desenvolvidos pelo IMDT, como os de Idogava et al. (2019), Loureiro (2019) e Santos (2019).

Tabela 7 – Quadro comparativo dos projetos de TA desenvolvidos no IMDT

Ferramentas e métodos utilizados	SANTOS (2015)	BARBOSA (2016)	KANEKO (2017)
Análise do estado da técnica	X	X	X
Análise de modelos comerciais	X	X	X
Questionários	X	X	X
<i>Brainstorming</i>	X	X*	X
QFD	X	X	X
TRIZ	X		
Comparação aos pares			X
Análise funcional		X	X
Quadro/análise morfológica		X	X
FMEA			X

Fonte: Autor (2019).

3.2 ESTUDO DE CASO

Nesta seção, é descrito o estudo de caso realizado ao longo deste trabalho, na continuidade do desenvolvimento do DA apresentado na seção 3.1.1. Naquela

primeira etapa do desenvolvimento, havia-se chegado à elaboração de um conceito para o produto, com a geração de um primeiro protótipo (*mock-up*) que pode ser visualizado na Figura 47. Este foi utilizado para apresentar o produto, seu conceito e suas características aos TO's e assim colher os primeiros pareceres acerca do produto. A partir de alguns ajustes preliminares obteve-se então a segunda versão do protótipo – a primeira funcional –, a qual pode ser vista na Figura 48.

Figura 47 – Primeira versão do protótipo (*mock-up*) do DA

Fonte: Autor (2015).

Figura 48 – Segunda versão do protótipo do DA

Fonte: Autor (2016).

3.2.1 TERCEIRA VERSÃO DO PROTÓTIPO

Neste trabalho, passou-se ao aprimoramento da segunda versão protótipo por intermédio de testes para refinamento do conceito e do DA como um todo, a fim de torná-lo mais funcional.

Para a realização desses testes de aprimoramento contou-se com a participação de um indivíduo de 60 anos, homem, com Doença de Parkinson (DP) e no uso regular dos seus medicamentos. Na escala modificada de Hoehn e Yahr (1967) sua condição seria classificada como estágio 2 ou 2,5 (leve ou moderada).

É importante destacar que esse estudo contou com a aprovação (CAAE 25679513.4.0000.5154) do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UFTM.

Os primeiros testes (Figura 49), de caráter preliminar e mais subjetivo, tinham por objetivo ouvir a experiência e as opiniões do usuário em relação ao produto durante a utilização na tarefa de alimentação, com o acompanhamento dos TO's. A finalidade era é a de identificar possíveis ajustes, melhorias e/ou modificações a serem feitas na próxima versão do protótipo.

Vale mencionar que o trabalho se desenvolveu, em boa parte, a distância. Enquanto o usuário e os TO's realizavam os testes em Uberaba-MG, a equipe de projeto permanecia em São Carlos-SP. Por esse motivo, foi necessária a utilização dos meios de comunicação e mídia hoje disponíveis (e-mails, mensagens, áudios e, em especial, vídeos) para a troca de informações, o acompanhamento do andamento dos testes e a observação em busca de melhorias funcionais. Foram feitas também algumas visitas a Uberaba para acompanhamento do processo e realização de entrevistas com o usuário e a família.

Para estes primeiros testes, o mecanismo de fixação da tampa dianteira do cabo – projetada para ser do tipo de engate rápido (*snapfit*) – não estava ainda bem ajustado e por isso adotou-se uma solução temporária, com a utilização de um adesivo temporário (*Blu-Tack™*) para a fixação. O resultado não foi satisfatório e a tampa se soltava com a movimentação do talher. Sendo assim, utilizou-se cola para a nova fixação, de um modo tal que permitisse a movimentação giratória do talher. Ainda assim, a configuração das peças e da fixação ocasionava um travamento frequente desse movimento. Além disso, o material em que o produto foi fabricado

não se mostrou suficientemente flexível para a adoção da estratégia do engate rápido como anteriormente pensada.

As abas de remoção da tampa dianteira não se mostraram adequadas, por estarem muito curtas, segundo reportaram o usuário e as TO's.

Figura 49 – Primeiros testes com a segunda versão do protótipo

Fonte: Autor (2017).

Esses fatores levaram a equipe de projeto a modificar a parte dianteira do cabo e a tampa dianteira para a próxima versão do protótipo, alterando o processo de fixação, mas mantendo uma estratégia de engate rápido. As abas também foram modificadas, sendo feitas mais largas e com uma configuração hexagonal para facilitar a manipulação. O comparativo entre as duas versões pode ser visto na Figura 50.

Importante frisar que nesta nova configuração, foi preciso realizar um estudo das folgas oriundas do processo de fabricação na impressora 3D, de modo a se obter um encaixe satisfatório entre as peças. Até porque, a impressora utilizada nesta nova etapa (GTMax Core A1 Dual) era diferente da anterior (3D Cloner DH). Para isso, foram impressas diversas peças com pequenas variações de diâmetros em busca do ajuste mais adequado.

Figura 50 – Alterações na parte dianteira do cabo (a) e na tampa frontal (b) da segunda (cima) para a terceira (baixo) versão do protótipo

Fonte: Autor (2017).

Outro exemplo desses ajustes de folga no processo de fabricação pode ser visto na Figura 51. Tomando o cabo como referência, foram produzidos três pequenos trechos da cobertura, com ligeiras variações no diâmetro interno – a partir do diâmetro nominal no desenho – de modo a encontrar o melhor ajuste. Esse mesmo valor de ajuste em referência ao valor nominal foi utilizado então para os outros encaixes de peças cilíndricas.

Em relação à tampa traseira, cuja fixação havia sido projetada para ser também do tipo engate rápido, por pressão, foi utilizada como primeira alternativa, de caráter temporário, o adesivo (*Blu-Tack™*) para a fixação. Para os testes sem a utilização de água nas cavidades internas do cabo, não ocorreram problemas. No entanto, nos testes com uma ou mais das cavidades preenchidas com água, a vedação não foi satisfatória, com perda significativa do volume de água depositado e, por conseguinte, com prejuízo à tarefa de alimentação e à funcionalidade desejada para o DA com o peso extra. Como segunda opção, ainda de natureza

temporária, foi utilizada uma fita de veda-rosca, que contribuiu tanto para melhorar significativamente a vedação como também a fixação (por pressão).

Figura 51 – Ajuste de folgas entre o cabo e a cobertura

Fonte: Autor (2017).

Como no caso da tampa dianteira, a configuração das abas de auxílio à remoção da tampa traseira também foi descrita como insatisfatória pelo usuário e pelos TO's.

A partir dessas observações, a tampa para a terceira versão do protótipo sofreu algumas modificações que podem ser vistas na Figura 52. São elas: alteração nas abas de remoção da tampa, que passaram a ter uma configuração hexagonal para facilitar a manipulação; e ligeiro aumento na espessura dos ressaltos de fixação para melhor fixação da fita veda-rosca.

Figura 52 – Alterações na tampa traseira da segunda (a) para a terceira (b) versão do protótipo

Fonte: Autor (2017).

Após novos testes, no entanto, outras necessidades de modificação foram identificadas. Embora as melhorias quanto à vedação proporcionadas pelas alterações anteriores e a utilização da fita veda-rosca, as quais permitiram já a realização de testes com preenchimento das cavidades, a solução ainda não era totalmente satisfatória, com um certo vazamento durante a utilização continuada do DA. Por esse motivo, foi desenvolvido um novo modelo de tampa, com ressaltos de fixação mais espessos e a inserção de um outro ressalto para a colocação de um anel de vedação (*o-ring*). O comparativo entre os modelos pode ser visto na Figura 53.

Figura 53 – Alterações na tampa traseira da terceira (a) para a quarta (b) versão do protótipo

Fonte: Autor (2018).

Houve ainda uma modificação no talher de metal utilizado para o DA. O modelo utilizado na segunda versão do protótipo foi considerado muito leve, comprometendo em parte o movimento giratório esperado para o equilíbrio do

alimento. Além disso, a qualidade do acabamento foi relatada como ruim pelo usuário, o que gerava incômodo na tarefa da alimentação.

Outra alteração em relação à segunda versão se deu quanto ao material utilizado na impressão 3D. Ao contrário da primeira e segunda versões, em que se utilizou o PLA, a partir da terceira versão passou-se a utilizar o ABS (acrilonitrila butadieno estireno), em busca de uma maior resistência e também de um melhor acabamento superficial, uma vez que o ABS é mais suscetível ao processo de lixamento e também possibilita o tratamento da superfície com acetona, gerando um acabamento final significativamente melhor.

A terceira versão do protótipo, com as modificações mencionadas anteriormente, pode ser visualizada na Figura 54 a seguir. Esta versão foi, assim, também submetida a testes com o usuário e os TO's. Vale frisar, que até então, o protótipo vinha sendo utilizado sem a correia ajustável.

Figura 54 – Terceira versão do protótipo do DA

Fonte: Autor (2017).

3.2.2 QUARTA VERSÃO DO PROTÓTIPO

Nesta etapa do projeto, foi celebrado um convênio acadêmico (Processo USP n. 2018.1.240.18.3) com duração de 1 ano entre a USP, por meio da Escola de Engenharia de São Carlos, ao qual se vincula este trabalho, e a empresa Modelworks LTDA, visando a colaboração no desenvolvimento e aprimoramento do DA e a fabricação em maior escala dos protótipos para testes com mais usuários.

Dessa colaboração, nasceram algumas modificações importantes no projeto. A primeira delas se refere à espessura das tampas, a qual foi aumentada tanto na tampa frontal como na traseira para facilitar sua manipulação. No caso da tampa traseira, foi ainda inserida uma conicidade na extremidade dos ressaltos de fixação para facilitar sua introdução nas cavidades do cabo, como se vê na Figura 55.

Figura 55 – Alterações na tampa traseira na quarta versão do protótipo

Fonte: Adaptado de Mattazio (2019).

A parte dianteira do cabo e a tampa frontal, que restringem o movimento longitudinal do talher, também receberam modificações para dar maior estabilidade ao movimento basculante do talher, diminuindo o atrito e evitando possíveis travamentos.

Além disso, diversas arestas do produto foram arredondadas com a finalidade de suavizar o contato do usuário com as peças e reduzir as concentrações de tensão. A comparação entre as novas e as versões anteriores da parte dianteira do cabo e das tampas pode ser visualizada na Figura 56.

Outra modificação importante do quarto protótipo em relação ao terceiro se deu no processo de fabricação e pós-processamento. A fim de evitar um tempo de pós-processamento muito longo devido à remoção do material de suporte, o cabo passou a ser fabricado em partes separadas na impressora 3D. Para isso, foram acrescentados pequenos rebaixos idênticos, de formato quadrangular, nas peças a serem unidas, como pode ser visto na Figura 57. Foram também fabricadas pequenas peças (pastilhas) neste mesmo formato, de espessura intermediária – maior que a profundidade de um ressalto, mas menor que a somatória de ambos – para que fossem utilizadas como elemento de ligação no encaixe das duas partes, conforme apresentado no desenho esquemático da Figura 58. O objetivo era, assim,

facilitar e orientar a união das peças, conservando o alinhamento adequado entre as partes. Por fim, a união era consolidada por meio de colagem (cola para PVC).

Figura 56 – Alterações na parte dianteira do cabo (a) e nas tampas frontal (b) e traseira (c) da terceira (cima) para quarta (baixo) versão do protótipo

Fonte: Autor (2018).

Figura 57 – Cabo (a) e parte dianteira do cabo (b) com rebaiços para união

Fonte: Autor (2017).

Figura 58 – Desenho esquemático da união da parte dianteira do cabo por meio da pastilha

Fonte: Adaptado de Mattazio (2019).

Foi acrescentado ainda um suporte do tipo “mão francesa” na alça de fixação da correia na cobertura, com o objetivo de aumentar a resistência mecânica e facilitar o pós-processamento da peça, uma vez que se evitava assim a inserção de material de suporte ao longo de toda a peça, na direção axial, no processo de impressão 3D. Em relação à correia, ainda ausente na terceira versão do protótipo, foi adotado um modelo comercial de silicone com presilhas metálicas nesta nova versão. Essas diferenças entre as versões podem ser vistas na Figura 59.

Figura 59 – Alterações na correia da cobertura da terceira (a) para a quarta (b) versão do protótipo

(a)

(b)

Fonte: Autor (2018).

Com as alterações, todas as peças passaram por um novo ajuste de tolerâncias nas interfaces entre elas.

Em relação à espessura da camada na fabricação via impressora 3D, foi selecionada aquela que representasse um balanço entre resistência mecânica e tempo de fabricação.

No caso dos cabos, cujas cavidades internas podem ser preenchidas com água durante a utilização do produto, foi feito um teste para verificar se os parâmetros de manufatura (preenchimento, espessura de camada) eram suficientes para conservá-los estanques, evitando o vazamento de água. Para isso, alguns DA's foram preenchidos completamente com água e deixados na posição vertical por algumas horas, conforme se vê na Figura 60. Verificou-se também com este teste a eficiência da vedação proporcionada pela nova configuração da tampa juntamente com o anel *o-ring*.

Num primeiro momento, detectou-se a infiltração de água no interior da peça após algum tempo na posição indicada, problema que foi sanado a modificação dos parâmetros de manufatura para as próximas peças.

Figura 60 – Teste de estanqueidade do DA

Fonte: Mattazio (2019).

Por sugestão do usuário, que se queixava algumas vezes do ângulo desfavorável com que o talher chegava à sua boca, foi concebida, para a realização de testes comparativos, uma versão alternativa do protótipo em que o talher

apresentasse uma curvatura para “dentro” (Figura 61), na direção do usuário, deixando de estar alinhado com o eixo longitudinal do DA. A comparação entre as duas versões, com talher reto e curvo, pode ser vista também na Figura 60 apresentada anteriormente.

Figura 61 – Versão alternativa do DA com talher curvo

Fonte: Autor (2018).

É apresentada, enfim, na Figura 62, a quarta versão do protótipo com as modificações anteriormente mencionadas, em sua configuração completa para utilização, com todas as peças montadas. Na Figura 63 é possível visualizar as quatro versões dos protótipos em comparação.

Figura 62 – Quarta versão do protótipo do DA

Fonte: Autor (2018).

Figura 63 – Comparativo das quatro versões do protótipo

Fonte: Autor (2018).

3.2.3 TESTES *SINGLE-SUBJECT*

De maneira concomitante ao processo de aperfeiçoamento do protótipo, a terceira versão foi submetida a testes do tipo *single-subject* para avaliação do produto, com o mesmo participante dos testes preliminares.

Adotou-se um estudo *single-subject* com tratamentos múltiplos, do tipo ABC (PORTNEY; WATKINS, 2015). É um método útil no caso de uma pesquisa que vise avaliar os efeitos de uma ou mais intervenções específicas, sob condições controladas, para um determinado indivíduo, sendo, por isso mesmo, especialmente adequada para pesquisas de terapia ocupacional. Cada participante, portanto, atua como seu próprio controle e as intervenções são aplicadas de maneira sistemática, com medidas repetidas ao longo do tempo da mesma variável (ou variáveis) dependente, em um período sem intervenção (*baseline*) seguido por um período (ou períodos) com intervenção (DEITZ, 2006).

Foram medidos o desempenho ocupacional e a satisfação com o desempenho, com o auxílio da COPM (*Canadian Occupational Performance Measure*), ou Medida Canadense de Desempenho Ocupacional, que busca identificar e avaliar as modificações, ao longo do tempo, na percepção do usuário

acerca de seu desempenho em ocupações da sua rotina diária. Trata-se de uma ferramenta validada e com confiabilidade, sendo aplicada por meio de entrevistas semiestruturadas (LAW et al., 2014). Foi também traduzida e validada para o cenário brasileiro (LAW et al., 2009).

Neste estudo, foram aplicados os passos 4, 5 e 6 da metodologia proposta por Law et al. (2014). O passo 4 é caracterizado pela obtenção da pontuação de desempenho na tarefa de alimentação antes da adoção do DA, em que o usuário atribui uma nota entre 1 (incapaz de fazer) e 10 (capaz de fazer extremamente bem). No passo seguinte, 5, o usuário atribui uma pontuação para a sua satisfação em relação à tarefa de alimentação antes da adoção do DA, numa escala entre 1 (não satisfeito) e 10 (extremamente satisfeito). Por fim, no passo 6 é feita uma reavaliação das pontuações para o desempenho e a satisfação após a intervenção com a utilização do DA, em busca de identificar possíveis modificações.

Essa etapa do estudo foi também aprovada (CAAE: 25679513.4.0000.5154) pelo CEP da UFTM, com o consentimento do participante e a assinatura de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

O participante do estudo *single-subject* foi o mesmo dos testes preliminares: homem, 60 anos de idade, com DP, no uso regular de seus medicamentos. Os critérios de inclusão estabelecidos foram: classificação entre os estágios 2 ou 2,5 da escala modificada de Hoehn e Yahr (1967), isto é, com sintomas de leves a moderados; apresentar tremores; alimentar-se de maneira independente com talheres convencionais; não alterar a rotina de alimentação em detrimento da doença; compreender e responder as questões da pesquisa; não apresentar nenhuma outra condição neurológica além da DP.

Os dados foram coletados ao longo de 70 dias, excetuando-se finais de semana e feriados, entre abril e agosto de 2017. Durante esse período, a percepção do usuário acerca de seu desempenho em relação à tarefa de alimentação e sua satisfação nessa atividade foram avaliadas com o auxílio da COPM, a qual foi aplicada a cada visita após a execução da tarefa.

Vale ressaltar que a rotina do usuário não foi alterada e a comida foi preparada, como costumeiramente, por sua esposa, com pouca variação nos

alimentos geralmente preparados (arroz, feijão, carne, um vegetal e folhas verdes, etc.).

A pontuação para o desempenho era registrada após a seguinte pergunta: “que nota você daria para o seu desempenho na tarefa de alimentação com esse talher?”. Quanto à satisfação, a pergunta era: “quão satisfeito você está alimentando-se com este talher?”.

As variáveis de interesse foram avaliadas em três fases distintas: *baseline* (A), primeira intervenção (B), segunda intervenção (C). Na primeira fase (A), com duração de 21 dias, as variáveis foram avaliadas com a utilização de um talher convencional. Na fase B, as mesmas variáveis foram analisadas por um período de 31 dias, com a utilização do DA sem nenhuma cavidade interna preenchida com água. Por fim, na fase C, o DA foi utilizado com uma cavidade preenchida com água durante 18 dias.

Os dados foram analisados com o auxílio de três métodos: (1) *Celeration Line*, ou Linha de Tendência; (2) Banda de Dois Desvios-Padrão; (3) Análise Visual.

O primeiro deles consiste em uma linha que expressa a tendência geral dos dados obtidos, traçada com o auxílio da técnica *split-middle*, em que a fase de *baseline* é dividida em duas partes iguais, de modo que o mesmo número de dados seja representado acima e abaixo da linha de tendência. A hipótese nula é de que não haveria modificação na linha de tendência entre uma e outra fase, isto é, que ao se estender a linha de tendência para a fase de intervenção, ela também dividiria os dados em duas partes iguais. A significância estatística foi determinada pelo teste binomial ($\alpha = 0,05$) (PORTNEY; WATKINS, 2015).

O método da Banda de Dois Desvios-Padrão se baseia na análise da variabilidade dos dados na fase de *baseline*. São calculados a média e o desvio-padrão (Dp) dessa fase e, com isso, são traçadas as duas linhas que delimitam a banda, tendo dois desvios-padrão para cima e para baixo da média. Essas linhas são então estendidas até as fases de intervenção. As mudanças entre as fases de intervenção e a *baseline* poderão ser consideradas significativas se pelo menos dois

pontos consecutivos da fase de intervenção estiverem fora da banda (PORTNEY; WATKINS, 2015).

A Análise Visual é utilizada como suporte para uma avaliação final do resultado, especialmente nos casos em que há um desacordo entre os resultados dos dois métodos anteriores (*Celeration Line* e Banda de Dois Desvios-Padrão). Essa análise está baseada em três características principais: o nível, a tendência ou direção de mudança dos dados e o ângulo de inclinação em cada fase (PORTNEY; WATKINS, 2015).

Em relação ao nível, quando há uma diferença entre o último dado de uma fase e o primeiro da fase adjacente seguinte, considera-se que houve uma mudança de nível entre elas. Quando os dados apresentam certa estabilidade e baixo ângulo de inclinação na linha de tendência, a comparação das médias dos dados entre duas fases é também outro meio de avaliação da mudança de nível. No que diz respeito à tendência, os dados podem estar acelerando, desacelerando ou em estabilidade, de maneira linear ou curvilínea. Por fim, quanto ao ângulo de inclinação, este pode ser maior ou menor numa fase em relação ao outro, indicando uma maior ou menor taxa de mudança (PORTNEY; WATKINS, 2015).

O gráfico da Figura 64 apresenta os resultados das avaliações em relação ao desempenho. A média de pontuação na fase *baseline* foi de 6,19 ($Dp = 1,12$), com uma pontuação mínima de 4 e uma máxima de 8 pontos. Na fase de intervenção B, a média foi de 6,87 ($Dp = 1,28$), com uma pontuação entre os extremos de 3 e 10 pontos. Por fim, na fase de intervenção C, a média foi de 7,77 ($Dp = 1,31$), com uma variação entre 5 e 10 pontos.

A *Celeration Line* indicou uma tendência de desaceleração na fase A (*baseline*), enquanto nas fases de intervenção B e C pôde-se perceber uma tendência de aceleração, com mais pontos acima da linha de tendência. O teste binomial indicou uma significância estatística ($p < 0,05$) na comparação das duas fases de intervenção em relação à fase A, reforçando a tendência observada na *Celeration Line*.

Pelo método da Banda de Dois Desvios-Padrão, a variabilidade dos dados e a ausência de pontos consecutivos fora da banda indicam que não houve significância

estatística na fase B. Em vista do desacordo entre as duas análises da variável, a Análise Visual foi utilizada para uma conclusão. Esta indicou uma mudança no nível entre as fases (A e B) a partir da comparação entre o último ponto da primeira (menor) e o primeiro ponto da segunda. A diferença entre as médias das fases também aponta para um aumento no nível da fase B em relação à *baseline*. A presença de 22 pontos acima da linha média da *baseline* na fase B também indica uma direção de mudança para aceleração. Os resultados da Análise Visual corroboram, assim, os da *Celeration Line*, sugerindo um aumento no desempenho fase B em comparação com a fase A.

No caso da fase C, pode-se observar pelo método da Banda de Dois Desvios-Padrão que houve a ocorrência de pontos consecutivos fora da banda, apesar da variabilidade dos dados, sugerindo assim uma significância estatística na mudança da variável desempenho nesta fase, reafirmando a percepção obtida pela *Celeration Line*.

A Tabela 8 apresenta um resumo das análises por intermédio de cada método e os resultados obtidos.

Figura 64 – Resultados obtidos com o auxílio da COPM para a variável desempenho

Fonte: Adaptado de Cavalcanti et al. (2020).

Tabela 8 – Resultado dos métodos de análise para a variável desempenho

Desempenho	<i>Celeration Line</i>	Banda de Dois Desvios-Padrão	Análise Visual
Fase B	S ($p < 0,001$)	NS	S
Fase C	S ($p < 0,001$)	S	-

($p < 0,05$; S = resultado estatisticamente significativo; NS = resultado não significativo)

Fonte: Adaptado de Cavalcanti et al. (2020).

O gráfico da Figura 65 apresenta os resultados das avaliações em relação à satisfação. A média na *baseline* foi de 6,57 ($Dp = 1,72$), com uma pontuação mínima de 4 e máxima de 9 pontos. Na fase de intervenção B, a média foi de 7,81 ($Dp = 1,14$), com uma variação entre 5 e 10 pontos. Por fim, na fase de intervenção C, obteve-se uma média de 7,83 ($Dp = 1,34$), com uma pontuação entre 5 e 10 pontos.

Por intermédio da *Celeration Line*, foi identificada uma tendência de desaceleração na fase A. Por outro lado, nas fases B e C, a maior proporção de pontos acima da linha de tendência indica uma tendência de aceleração, com alguns períodos de desaceleração. O teste binomial apresentou significância estatística nas duas fases de intervenção ($p < 0,05$), reforçando o observado por meio da *Celeration Line*.

Em relação ao método da Banda de Dois Desvios-Padrão, pôde-se observar, a par de uma grande variabilidade dos pontos nas fases de intervenção (especialmente na fase C), a ausência de dois pontos consecutivos fora da banda, o que indica a falta de significância estatística na mudança da variável nestas duas fases. Como houve um desacordo com o que foi apresentado pela *Celeration Line* para essas fases, recorreu-se à Análise Visual para uma definição.

Pela Análise Visual podem ser identificadas mudanças de nível entre as fases de intervenção – fase B (média = 7,81) e fase C (média = 7,83) – e a *baseline* (média = 6,57). O fato de o último ponto da fase A ser menor que o primeiro valor de ambas as fases B e C também reforça essa percepção da mudança de nível entre elas. A presença de 24 pontos acima da média da *baseline* na fase B e 11 pontos na fase C indica também uma alteração na direção de mudança para aceleração,

apesar da presença de pontos em oposição. Esses resultados se aproximam, portanto, dos obtidos com a *Celeration Line*, sugerindo um aumento da satisfação nas fases de intervenção em relação à fase A.

A Tabela 9 sintetiza as análises por intermédio de cada método e os resultados obtidos.

Figura 65 – Resultados obtidos com o auxílio da COPM para a variável satisfação

Fonte: Adaptado de Cavalcanti et al. (2020).

Tabela 9 – Resultado dos métodos de análise para a variável satisfação

Satisfação	<i>Celeration Line</i>	Banda de Dois Desvios-Padrão	Análise Visual
Fase B	S ($p < 0,001$)	NS	S
Fase C	S ($p < 0,001$)	NS	S

($p < 0,05$; S = resultado estatisticamente significativo; NS = resultado não significativo)

Fonte: Adaptado de Cavalcanti et al. (2020).

O uso do DA, portanto, da perspectiva do usuário, apresentou uma melhoria significativa tanto em desempenho quanto em satisfação, quando em comparação com o talher convencional, apontando para a eficácia do DA na obtenção de ganhos funcionais na tarefa de alimentação.

Seja na condição sem preenchimento das cavidades com água, em que se tem o diâmetro mais espesso que o talher convencional e o movimento giratório do talher, seja na condição com aumento de peso pelo preenchimento de uma cavidade, pôde-se observar uma melhoria, o que parece corroborar outros estudos a respeito: sobre a utilização de um cabo com maior diâmetro, em acréscimo com o movimento giratório do talher (MCDONALD et al., 2016; VAN ROOM; STEENBERGEN, 2006; MA et al., 2008); sobre a utilização de peso adicional para a alimentação no caso de tremores (HEWER; COOPER; MORGAN, 1972; MORGAN; HEWER; COOPER, 1975; HÖMBERG et al., 1987; MESHACK; NORMAN, 2002; MA et al., 2009).

Contudo, apesar dessas melhorias, é necessário considerar algumas limitações, como, por exemplo, a grande variabilidade dos resultados no decorrer do processo, especialmente quanto à satisfação. A esse respeito, vale lembrar que os resultados acerca do desempenho e da satisfação dependem da relação entre o indivíduo, com suas ocupações e expectativas, e o seu contexto. Desse modo, o contexto familiar e social do indivíduo desempenha um papel importante nestas medições, uma vez que, segundo Law et al. (2009), o ambiente é composto de elementos físicos, sociais, culturais e institucionais que influenciam o desempenho e a satisfação autorreportada. No caso da DP, é preciso considerar ainda a possível influência da medicação nas funções motoras do usuário em um dia típico.

Outra limitação importante do estudo diz respeito à avaliação do uso do DA com o preenchimento de mais do que uma cavidade, o que não foi possível devido à impossibilidade da continuação das medições com mais cavidades preenchidas em vista de complicações de saúde associadas à DP apresentadas pelo usuário após fase de intervenção C.

3.2.4 TESTES COM VOLUNTÁRIOS

Com o intuito de ampliar os testes do DA com um maior número de usuários, a fim de avaliar sua eficácia em diferentes contextos e condições clínicas, foram fabricados dez novos protótipos em parceria com a Modelworks (Figura 66) para que pudessem ser testados por voluntários.

Segundo Silveira (2018)¹ (informação verbal), foram recebidos mais de 50 e-mails com a solicitação de uso do DA desde a divulgação deste trabalho de pesquisa em veículos da imprensa em 2017: EESC (2017), G1 (2017), UFTM (2017) e USP (2017). Buscou-se, desse modo, selecionar um grupo de voluntários dentre esses pedidos para a realização dos testes.

Figura 66 – Protótipos enviados para testes com voluntários

Fonte: Autor (2018).

Para tanto, foi solicitada e aprovada uma emenda no projeto já aprovado anteriormente (CAAE 25679513.4.0000.5154) junto ao CEP da UFTM. Os dez voluntários selecionados receberam um Termo de Esclarecimento (ANEXO A), explicando as condições e características dos testes. Um Termo de Consentimento Livre (ANEXO A) foi assinado por cada um deles e devidamente arquivado pela equipe de pesquisa.

Foram enviados ainda um Manual de Uso do DA (APÊNDICE A), contendo também Orientações Gerais para a condução dos testes. E um conjunto de Tabelas de Acompanhamento (APÊNDICE B), a serem preenchidas pelos voluntários ao longo da realização dos testes.

¹ Informação verbal fornecida por Zilda de Castro Silveira, em out. 2018.

Os testes se iniciavam com o registro numa tabela específica, por um prazo de 2 semanas, das informações sobre o desempenho com o talher convencional utilizado no dia a dia pelo usuário. Após essa etapa, passava-se à utilização do DA, nas seguintes condições: sem água, 1 cavidade preenchida, 2 cavidades, 3 cavidades e 4 cavidades. Cada configuração deveria ser utilizada por 2 semanas, sequencialmente, com o registro dos resultados de cada uma delas em tabelas específicas.

O acompanhamento dos testes foi feito, em alguns casos, por terapeutas ocupacionais e, em outros, por familiares dos usuários.

Os resultados, no entanto, não foram como o esperado. Nenhum dos voluntários chegou a completar o ciclo completo de testes e poucos chegaram a retornar uma parte das tabelas preenchidas.

De um modo geral, as razões alegadas para a interrupção foram a não adaptação com o dispositivo ou dificuldades de manipulação. Outros, no entanto, não chegaram a responder os contatos.

O processo trouxe alguns aprendizados importantes para esse tipo projeto. Primeiramente, sobre as dificuldades do acompanhamento a distância, mesmo em termos de comunicação, quando não se trata de uma equipe já consolidada e que vem acompanhando o projeto desde o início, como no caso dos testes *single-subject* em Uberaba. Ainda que em alguns casos os testes tenham tido o acompanhamento de TO's, a falta de um envolvimento e acompanhamento desde o início do projeto, bem como de um maior conhecimento técnico sobre o DA, talvez tenham comprometido a sua continuidade. A ausência de um acompanhamento técnico de engenharia e de ajustes necessários ao DA também pode ter contribuído para isso.

Nos testes *single-subject*, pôde-se perceber também que o envolvimento de todas as partes a longo prazo com o projeto cria um vínculo emocional e de estímulo que parece desempenhar um papel muito importante na continuidade do processo, especialmente no período de adaptação inicial que costuma ser crítico, marcado por um certo desconforto inicial e por resultados não tão satisfatórios, podendo ser seguido, no entanto, por resultados mais animadores. Este é outro aspecto que

parece ter desempenhado um papel importante para os resultados não satisfatórios dos testes a distância.

Por fim, os diferentes contextos e condições clínicas de cada usuário, além da falta de uma abordagem mais personalizada em relação a cada um deles podem também ser listados como possíveis fatores que contribuíram para esses resultados.

Um novo lote de dez protótipos foi fabricado a fim de ser testado agora em um ambiente mais controlado junto à UFTM, inclusive em testes com eletromiografia. Não há previsão, no entanto, para a obtenção dos primeiros resultados.

3.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

Como o presente trabalho se propõe a fazer um levantamento do cenário atual do processo de desenvolvimento de produtos com abordagem centrada no usuário e auxílio da MA, no contexto da TA, a fim de elaborar de uma proposta metodológica, a realização de uma revisão bibliográfica sistemática se torna de fundamental importância. Nesta seção, portanto, é relatado o processo de execução da RBS.

3.3.1 MODELO DE REFERÊNCIA

Para a realização da RBS, tomou-se como referência o trabalho de Conforto, Amaral e Silva (2011), que apresenta um roteiro – intitulado *RBS Roadmap* – para a condução de uma revisão desse tipo, com o foco especialmente voltado para pesquisas na área de desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos, como é o caso deste trabalho.

Segundo os autores, a revisão bibliográfica desempenha um papel preponderante em pesquisas onde se exige ineditismo e originalidade, uma vez que, quando conduzida de forma sistemática e rigorosa, contribui para o desenvolvimento de uma base sólida de conhecimento, facilitando a organização de uma grande quantidade de informações e a compreensão do estado da arte sobre um determinado assunto. Como consequência, favorece ainda o desenvolvimento da

teoria em áreas onde já existem pesquisas e permite identificar oportunidades para novas pesquisas em outras áreas (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011).

O roteiro é dividido em três fases principais: (1) Entrada; (2) Processamento; (3) Saída. Cada uma destas, por sua vez, é subdividida em etapas, num total de 15 etapas, conforme o esquema da Figura 67.

Figura 67 – Representação esquemática do RBS *Roadmap*

Fonte: Conforto, Amaral e Silva (2011).

As definições e objetivos de cada uma das etapas do roteiro são apresentados a seguir:

1) Entrada

- Problema: definição do problema a ser solucionado por meio da pesquisa, isto é, quais as perguntas de pesquisa a serem respondidas;
- Objetivos: estabelecimento dos objetivos da RBS, em perfeito alinhamento com os objetivos do projeto de pesquisa, uma vez que serão utilizados como critério de seleção dos artigos encontrados;
- Fontes primárias: escolha das fontes primárias para a revisão, tais como artigos, periódicos ou bases de dados, por meio das quais se poderá definir as palavras-chave para a pesquisa, os principais autores e artigos relevantes. Podem ser escolhidas tanto a partir de consultas com pesquisadores seniores

e especialistas dentro da área de pesquisa em questão, como também a partir de uma revisão bibliográfica preliminar, sem o mesmo rigor de uma RBS;

- *Strings* de busca: identificação das palavras-chave e termos referentes ao tema da pesquisa, a partir do estudo preliminar das fontes primárias e da consulta a especialistas e pesquisadores. Com isso, chega-se à definição das *strings* de busca, as quais devem ser testadas e adaptadas. É importante também compreender as regras de busca e a utilização dos operadores lógicos das bases de dados onde serão feitas as buscas;

- Critérios de inclusão: em concordância com os objetivos da pesquisa, estabelecer quais os critérios de inclusão para os artigos encontrados nas buscas;

- Critérios de qualificação: estabelecimento dos critérios de qualificação para os artigos, de modo avaliar a importância de cada um para o estudo. Dentre alguns fatores importantes, podem ser citados: método de pesquisa adotado, tamanho e diversidade da amostra utilizada, quantidade de citações do artigo, fator de impacto do periódico onde foi publicado, entre outros;

- Método e ferramentas: definição das etapas de condução das buscas, dos filtros e dos procedimentos de busca a serem utilizados, bem como do método de armazenamento dos resultados. Vale ressaltar que o processo de busca deve ser iterativo, com ciclos que favoreçam o aprendizado e o refinamento das buscas;

- Cronograma: elaborar um cronograma para a realização da RBS, tendo em vista os objetivos e prazos do projeto.

2) Processamento

- Condução das buscas: realização das buscas, de maneira iterativa, nas fontes primárias definidas anteriormente. A partir do material e das referências obtidas, realizar também as buscas cruzadas;

- Análise dos resultados: aplicação dos filtros de busca ao material obtido por intermédio das buscas. No primeiro deles, Filtro 1, são lidos apenas o título, o

resumo e as palavras-chave dos artigos encontrados. Aqueles que se alinharem com os objetivos da pesquisa e da RBS serão selecionados para o próximo filtro. Em caso de dúvida quanto à sua relevância, o artigo deverá ser mantido para o próximo filtro. O Filtro 2 é caracterizado pela leitura da introdução e da conclusão dos artigos, além da releitura dos itens indicados no Filtro 1. Os artigos que não atenderem aos objetivos da busca e aos critérios de inclusão serão eliminados da revisão. Por fim, no Filtro 3, os artigos são submetidos à leitura completa, com foco nos objetivos e critérios de inclusão. Os artigos que passarem por esse filtro certamente serão muito relevantes para a pesquisa, além de contribuírem para a identificação e o rastreamento de outros artigos importantes por meio da citação dos autores, alimentando assim a busca cruzada;

- Documentação: catalogação e armazenamento, em softwares de gestão de referências ou por meio de outros recursos, dos artigos que passaram pelos três filtros. O desenho esquemático da Figura 68 ilustra bem os passos e o processo de desenvolvimento de toda essa segunda fase (Processamento) da RBS.

3) Saída

- Alertas: inserção de alertas nos principais periódicos encontrados durante a RBS de modo a se manter informado quanto à publicação de novos artigos relevantes para a pesquisa;
- Cadastro e arquivo: inclusão dos artigos documentados na fase anterior no repositório de artigos de pesquisa;
- Síntese e resultados: elaboração de um relatório com uma síntese da bibliografia analisada, com informações como a descrição dos principais autores na área, a evolução do conceito, a quantidade de artigos diretamente relacionados ao tema, as definições dos termos, os modelos teóricos e os estudos de caso encontrados;
- Modelos teóricos: construção de modelos teóricos e a definição das hipóteses de pesquisa com base nos resultados obtidos e na síntese do tema estudado. É este o resultado final da RBS.

Figura 68 – Desenho esquemático da fase de Processamento do RBS *Roadmap*

Fonte: Conforto, Amaral e Silva (2011).

3.3.2 EXECUÇÃO DA RBS

A seguir, é apresentada a execução para este trabalho, com algumas adaptações, das etapas propostas pelo roteiro RBS *Roadmap*.

3.3.2.1 Entrada

3.3.2.1.1 Problema

A pergunta-chave a ser respondida pela pesquisa é: qual seria uma proposta de metodologia recomendada, da perspectiva da engenharia, para o desenvolvimento de produtos com abordagem centrada no usuário e com o auxílio da MA, no contexto da TA?

3.3.2.1.2 Objetivos

O objetivo desta RBS, portanto, em harmonia com os objetivos da pesquisa, é o de investigar, analisar e descrever, a partir de buscas em fontes primárias e em bases de dados multidisciplinares, as metodologias que vêm sendo elaboradas e

propostas para o desenvolvimento de produtos com abordagem centrada no usuário e com o auxílio da MA, no contexto da TA.

3.3.2.1.3 Fontes primárias

A partir de uma revisão bibliográfica preliminar acerca da temática e da orientação de pesquisadores mais experientes tanto da área de TA como de metodologia de projeto, foram definidas como fontes primárias as seguintes bases de dados multidisciplinares: *ScienceDirect*, *Scopus*, *PubMed* e *Web of Science*. Foram obtidos ainda alguns artigos relevantes diretamente por indicação dos pesquisadores das áreas citadas.

3.3.2.1.4 Strings de busca

Com a revisão bibliográfica preliminar e a orientação dos pesquisadores mais experientes em suas respectivas áreas, chegou-se à definição das *strings* de busca para a pesquisa, com a combinação das seguintes palavras-chave: *design*, *user-centered design*, *user-centre design*, *UCD*, *personalized design*, *customized design*, *participatory design*, *inclusive design*, *universal design*, *design for*, *user experience*, *UX*, *assistive technology*, *assistive device*, *additive manufacturing*, *3D printing*, *rapid prototyping*.

Essa *string* de busca foi então aplicada, com os devidos ajustes de terminologia e operadores (*AND* & *OR*), às ferramentas de pesquisa das quatro bases de dados multidisciplinares citadas no item anterior. As quatro versões podem ser encontradas no APÊNDICE C.

3.3.2.1.5 Critérios de inclusão

A fim de atender aos objetivos da RBS, foram incluídos os artigos que estudassem a metodologia de desenvolvimento de DA's, independentemente das especificidades de aplicação dos dispositivos desenvolvidos, uma vez que o foco é o estudo dos métodos de projeto no contexto da TA. Foi levada em consideração também, como critério para inclusão, a utilização da MA, de algum modo, no decorrer do processo. Em casos específicos, nos quais a MA não foi utilizada, mas o

estudo do método estava bem delineado e fosse pertinente a esta pesquisa, o trabalho foi ainda assim considerado.

Os artigos que tratassem do desenvolvimento de DA's, mas que não apresentassem uma metodologia propriamente dita, como no caso de alguns trabalhos de fabricação digital e de outros que tratavam da impressão de DA's obtidos em bases de dados virtuais, por meio do método *Do It Yourself* (DIY), não foram incluídos. Em alguns casos, no entanto, embora a metodologia não estivesse explícita, entendeu-se que os artigos traziam contribuições significativas para o estudo metodológico do projeto de TA e, por isso, foram incluídos.

Artigos pagos só foram considerados quando realmente muito alinhados com os objetivos da pesquisa.

3.3.2.1.6 Critérios de qualificação

Como a finalidade do presente trabalho é eminentemente investigativa e descritiva, foram considerados qualificados todos os artigos que apresentassem alguma proposta de sistematização do processo de projeto de DA's no contexto da TA. Aqueles que apresentassem uma descrição mais completa e detalhada de todo o processo e de suas etapas foram tomados como principais referências.

3.3.2.1.7 Método e ferramentas

O método adotado para a realização da RBS está representado na Figura 68. Os três filtros foram aplicados, sequencialmente, aos artigos obtidos por meio das pesquisas nas bases de dados. O resultado de cada etapa de filtragem foi arquivado em pastas específicas, com os artigos selecionados após a aplicação daquele determinado filtro. Aqueles artigos selecionados após a aplicação dos três filtros foram então analisados de maneira mais meticulosa e utilizados para a elaboração da síntese e dos relatórios finais da RBS.

As referências oriundas de outras fontes primárias que não as bases de dados (por exemplo, da indicação de pesquisadores experientes em suas áreas) ou

de referências cruzadas obtidas nos artigos também foram submetidas ao mesmo processo.

3.3.2.1.8 Cronograma

A RBS começou a ser desenvolvida no segundo semestre de 2018 e foi concluída no segundo semestre de 2019, próximo à conclusão do trabalho. As pesquisas nas bases de dados foram efetuadas até meados de 2019. O objetivo era estender ao máximo a abrangência da pesquisa, com a inclusão do maior número de referências de interesse.

3.3.2.2 Processamento

3.3.2.2.1 Condução das buscas

Estabelecidas as *strings*, os critérios e o método de busca, bem como as fontes primárias, foram então conduzidas as buscas das referências de maneira direta e cruzada, neste último caso a partir das referências citadas naquelas selecionadas por meio das buscas diretas. Esse processo foi sendo repetido iterativamente ao longo do desenvolvimento do trabalho, de modo a garantir que novos artigos de interesse pudessem ser incorporados à pesquisa à medida que fossem sendo publicados.

3.3.2.2.2 Análise dos resultados

Após as pesquisas nas bases de dados, foram aplicados sucessivamente os três filtros apresentados no esquema da Figura 68. O primeiro deles foi aplicado ainda no ambiente das bases de dados. Só foram arquivados os artigos que, submetidos ao primeiro filtro, foram validados. Estes foram então armazenados em pasta específica para a posterior aplicação do segundo filtro, por meio da leitura da introdução e do resumo do artigo. Aqueles que, submetidos ao segundo filtro, eram validados, foram sendo transferidos para outra pasta destinada à aplicação do terceiro filtro, que consistia na leitura do artigo completo. Por fim, uma outra pasta foi destinada aos artigos selecionados após terem passado por todos os filtros, os quais foram analisados de maneira meticulosa para a elaboração da síntese e dos relatórios finais da RBS.

3.3.2.2.3 Documentação

As *strings* utilizadas em cada base de dados, com as suas devidas especificidades, foram documentadas para a condução das pesquisas iterativas.

Também foram documentados os dados estatísticos das buscas e da aplicação dos filtros, tais como: número de artigos encontrados após a pesquisa em cada base de dados, número de artigos arquivados, número de artigos selecionados, número daqueles obtidos por outras fontes primárias ou por referência cruzada.

3.3.2.3 Saída

3.3.2.3.1 Alertas

Foram criados alertas nas ferramentas de pesquisa das fontes primárias em busca de novos artigos de interesse que pudessem surgir ao longo do processo.

3.3.2.3.2 Cadastro e arquivo

Os artigos selecionados para a RBS foram devidamente cadastrados em uma planilha de referências e arquivados no repositório de artigos, em pastas específicas.

3.3.2.3.3 Síntese e resultados

As pesquisas nas bases de dados geraram os seguintes resultados:

- a) *PubMed*: 25 artigos, dos quais 10 foram selecionados (1º filtro);
- b) *ScienceDirect*²: 18 artigos, dos quais 6 foram selecionados (1º filtro);
- c) *Scopus*: 107 artigos, dos quais 38 foram selecionados (1º filtro);
- d) *Web of Science*: 61 artigos, dos quais 17 foram selecionados (1º filtro).

Todos os artigos arquivados, após a leitura do título, resumo e palavras-chave, foram então reunidos numa única pasta, denominada 1º filtro. Os artigos

² Em meados de 2018, a *ScienceDirect* alterou seus mecanismos de busca, removendo o campo de busca avançada por meio de *strings*. Não foi possível, desse modo, realizar a busca iterativa depois dessa data, permanecendo apenas os resultados da primeira busca.

duplicados foram removidos, chegando-se assim a um total de 44 nesta primeira etapa.

Após a leitura da introdução e da conclusão destes artigos, um total de 37 foram selecionados e realocados para uma outra pasta, nomeada 2º filtro.

As referências obtidas de maneira cruzada totalizaram um número de 25 e aquelas oriundas de outras fontes primárias (indicações de pesquisadores experientes na área, periódicos específicos, livros, relatórios, etc.) somaram 10.

Finalmente, após a leitura completa das referências, 28 foram selecionadas e direcionadas a uma terceira pasta, chamada 3º filtro.

Desse modo, a aplicação do roteiro RBS *Roadmap* resultou na seleção de um total de 28 referências de interesse. A Figura 69 a seguir sintetiza todo esse processo de busca, filtragem e seleção.

Figura 69 – Fluxograma do processo de busca, filtragem e seleção das referências

No APÊNDICE D, é apresentada uma síntese, em ordem cronológica, de cada uma das 28 referências selecionadas.

3.3.2.3.4 Modelos teóricos

Em um exame panorâmico, percebe-se que muitas das propostas apresentam mais uma descrição da sequência das etapas do processo de desenvolvimento de um DA do que propriamente um estudo do método em si, isto é, uma metodologia. Seria antes um método de trabalho do que propriamente um método de projeto. Em alguns casos, embora exista essa sequência, ela não se encontra expressa de maneira explícita e estruturada.

Por outro lado, podem ser identificadas algumas propostas já bem completas e estruturadas, como, por exemplo, os casos de Ostuzzi et al. (2015), Gherardini et al. (2018) e Schwartz et al. (2019).

Alguns estudos apenas teóricos (sem estudos de caso) foram considerados devido à sua pertinência e, em alguns casos, originalidade, no estudo metodológico do projeto de TA. O mesmo se deu no caso de alguns trabalhos em que não houve a utilização da MA como ferramenta de auxílio ao projeto.

De um modo geral, dentre as limitações identificadas, uma das mais significativas, mesmo no caso de propostas mais estruturadas, é a falta da utilização ou de uma descrição mais detalhada da aplicação de ferramentas técnicas para suporte ao projeto, sobretudo nas etapas iniciais do processo, como na identificação e tratamento dos requisitos dos usuários, na elaboração dos conceitos do produto, na compreensão adequada de suas funções e na seleção das soluções mais adequadas e viáveis, entre outras etapas.

Interessante notar que a grande maioria dos trabalhos já ressalta a importância de uma equipe multidisciplinar/interdisciplinar na realização desse tipo de projeto, embora nem todos os que mencionem essa característica se dediquem a explicitar a composição da equipe e o seu processo de formação, integração e interação.

Vale também destacar o aumento de propostas com o passar do tempo, especialmente a partir de 2018, como se vê pela Figura 70, ressaltando a atualidade do estudo e da proposta desenvolvidos neste trabalho.

Figura 70 – Número de referências por ano selecionadas pela RBS

Fonte: Autor (2019).

É importante considerar ainda as limitações desta RBS que, apesar de sistemática, se concentra majoritariamente em artigos de periódicos e congressos encontrados em bases de dados multidisciplinares, não enfocando de maneira mais significativa a busca em periódicos específicos, livros, teses, dissertações ou outras fontes. Ainda assim, algumas dessas referências foram encontradas graças às indicações de profissionais e pesquisadores experientes nas áreas de interesse e às referências cruzadas.

Na Tabela 10 a seguir, é apresentado um quadro comparativo com um resumo dos principais aspectos das metodologias analisadas no APÊNDICE D.

Tabela 10 – Quadro comparativo das metodologias de projeto em TA identificadas na RBS

Autores	Descrição sucinta	Fases/princípios da metodologia	Ferramentas e técnicas usadas
Poulson e Richardson (1998)	<i>USERfit</i>	(1) Definição do problema (2) Especificação funcional	Sem estudo de caso Análise de atividades <i>Brainstorming</i>

Autores	Descrição sucinta	Fases/princípios da metodologia	Ferramentas e técnicas usadas
Manzini e Santos (2002)	Fluxograma para desenvolvimento de ajudas técnicas	(3) Construção	Entrevistas estruturadas
		(4) Testes	
		(1) Entender a situação	Métodos de avaliação
		(2) Gerar ideias	Sem estudo de caso
		(3) Escolher alternativas	Entrevistas
			Observação
		(4) Representar a ideia	Pesquisas de interesse (soluções existentes, alternativas, materiais, etc.)
Demirbilek e Demirkan (2004)	<i>USAP – Useability, Safety, Attractiveness Participatory Model</i> (Modelo Participatório de Usabilidade, Segurança e Atratividade)	(5) Construir o objeto	
		(6) Avaliar o uso	
		(7) Acompanhar o uso	
		(1) Desenvolvimento do conceito	Estudo de caso: desenvolvimento de portas e maçanetas adaptadas para idosos
		(2) Refinamento do conceito	<i>Brainstorming</i>
		(3) Construção do protótipo	Criação de cenários
			Escrita e esboço de ideias
		(4) Testes com usuário	
		(5) Produção	Entrevistas não estruturadas e questionários
Wang e Chou (2007)	<i>MPC – Multi-professional collaboration approach</i>	(1) Módulo de extração das necessidades do usuário	Matriz de desdobramento da função qualidade
			Estudo de caso: desenvolvimento de DA para tarefa de

Autores	Descrição sucinta	Fases/princípios da metodologia	Ferramentas e técnicas usadas
	(Abordagem de colaboração multiprofissional)	(2) Módulo de representação do conhecimento de projeto (3) Módulo de conceptualização do produto (4) Módulo da alternativa de conceito ótima	alimentação para indivíduos com lesão da medula espinhal Análise morfológica Cadeia meios-fim (CMF) Equipe multidisciplinar <i>Laddering</i> MA Mapa hierárquico de valor (MHV) QFD
Carvalho, Okumura e Canciglieri Junior (2010)	<i>Framework</i> para desenvolvimento de produtos de TA com base nos conceitos de Engenharia Simultânea	(1) Projeto informacional (2) Projeto conceitual (3) Projeto detalhado (4) Preparação para a produção (5) Lançamento do produto	Sem estudo de caso CAD/CAE/CAM Equipe multidisciplinar <i>Design for Assembly</i> (DFA) <i>Design for Manufacturing</i> (DFM) Engenharia Simultânea <i>Total Quality Management</i> (TQM)
De Couvreur e Goossens (2011)	<i>Design for (every)one</i> (Projeto para todos)	(1) Desempenho (2) Economia (3) Conveniência (4) Identidade (5) Prazer	Estudo de caso: desenvolvimento de três tipos de DA's distintos <i>Brainstorming</i> Comunicação estigmergética

Autores	Descrição sucinta	Fases/princípios da metodologia	Ferramentas e técnicas usadas
CGEE (2012)	Modelo de concepção de produtos de TA	(1) Necessidade do usuário (2) Projeto e concepção do dispositivo (3) Design do produto (4) Desenvolvimento do projeto (5) Fabricação (6) Mercado	Equipe multidisciplinar
			MA
			Projeto universal
			Sessões de cocriação e coconstrução
			Sem estudo de caso
			Adoção de tecnologias transversais
			Consulta a especialistas
Medola et al. (2012)	Projeto com base em princípios ergonômicos	(1) Concepção e modelagem virtual (2) Fabricação de protótipo (3) Avaliação	Croquis e desenhos
			Seleção de materiais
			Estudo de caso: desenvolvimento de novo aro para cadeira de rodas
			CAD
			Estudo das forças atuantes
			Estudo ergonômico e antropométrico
			MA
Plos et al. (2012)	EMFASIS – Extended Modularity, Functional	(1) Mercado estendido	Molde de silicone
			Estudos de caso: desenvolvimento de

Autores	Descrição sucinta	Fases/princípios da metodologia	Ferramentas e técnicas usadas
	<i>Accessibility, and Social Integration Strategy</i> (Estratégia de Modularidade Estendida, Acessibilidade Funcional e Integração Social)	(2) Projeto modular (3) Aceitabilidade funcional (4) Acessibilidade (5) Integração social	uma mesa para refeição na cama; de uma órtese motorizada para membros superiores; de uma nova cadeira rodas Análise semântica e emocional Entrevistas e questionários Equipe multidisciplinar Sessões de criatividade
Buehler, Hurst e Hofmann (2014)	<i>3D Printing for Accessibility</i> (Impressão 3D para Acessibilidade)	(1) Coleta de requisitos (2) Prototipagem e iteração	Estudo de caso: desenvolvimento de um DA de suporte de canetas CAD Entrevistas Equipe multidisciplinar Escaneamento 3D MA Modelagem em argila Observações Software para geração de modelos parametrizados
Chavarriaga et al. (2014)	<i>Multidisciplinary Design of Suitable Assistive Technologies</i>	(1) Caracterização do problema e dos aspectos socioculturais	Estudos de caso: desenvolvimento de DA's para membros

Autores	Descrição sucinta	Fases/princípios da metodologia	Ferramentas e técnicas usadas
	(Projeto multidisciplinar de Tecnologias Assistivas Adequadas)	da população-alvo (2) Pesquisa do estado da arte e desenvolvimento de soluções assistivas tecnológicas (3) Construção de uma comunidade de projeto, por meio da interação entre os diferentes <i>stakeholders</i>	inferiores e superiores CAD Cursos, seminários e workshops Equipe interdisciplinar Estado da arte <i>Functional electrical neuro-stimulation</i> (FES) Projeto Axiomático TRIZ
Coton et al. (2014)	<i>DFD – Design for Disability</i> (Projeto orientado para Deficiência)	(1) Conhecimento dos usuários finais (2) Participação ativa dos usuários (3) Divisão adequada das funções entre usuários e tecnologia (4) Abordagem de projeto iterativa (5) Atuação de uma equipe multidisciplinar	Estudo de caso: desenvolvimento de DA para utilização de instrumento musical Equipe multidisciplinar Observação do usuário Discussões MA
Maia e Freitas (2014)	Fluxograma para o processo de desenvolvimento de produtos de TA	(1) Problemática (2) Levantamento de dados (3) Análise dos dados (4) Projetação do produto	Sem estudo de caso Avaliação física e cognitiva Modelagem funcional Observação Simulação

Autores	Descrição sucinta	Fases/princípios da metodologia	Ferramentas e técnicas usadas
		(5) Avaliação e validação do produto (6) Detalhamento do projeto (7) Planejamento da produção (8) Produção do produto (9) Avaliação da usabilidade	Testes de comparação, funcionalidade e ergonomia
Okumura e Canciglieri Junior (2015)	<i>Design for AT – Integrated Product Development for AT</i> (Projeto orientado para TA – Desenvolvimento Integrado de Produtos para TA)	(1) Pré-projeto (2) Desenvolvimento de projeto (Projeto Informacional, Projeto Conceitual, Projeto Preliminar e Projeto Detalhado) (3) Pós-projeto	Sem estudo de caso Engenharia simultânea Equipe multidisciplinar Estudos ergonômicos Estudos de usabilidade <i>Design for Assembly</i> (DFA) <i>Design for Excellence</i> (DFX) <i>Design for Manufacturing</i> (DFM) <i>Integration Definition Language for Function Modeling</i> (IDEF) Projeto Universal (PU)
Ostuzzi et al. (2015)	+TUO Project (Projeto +TUO)	(1) Questionários (2) Projeto de produtos de referência (3) Estágio de ativação	Estudos de caso: produto intermediário (abridor de zíper) para apresentação da tecnologia; diversos

Autores	Descrição sucinta	Fases/princípios da metodologia	Ferramentas e técnicas usadas
Hofmann et al. (2016)	<i>Rapid iterative prototyping of prosthetic devices</i> (Prototipagem rápida iterativa de dispositivos protéticos)	(4) Sessão geradora (coprojetos e coprodução)	produtos de auxílio a tarefas cotidianas <i>Brainstorming</i> CAD Entrevistas e questionários Esboços e desenhos Equipe multifuncional MA Prototipagem de produto intermediário
		(1) Entrevistas iniciais (2) Entrevistas de projeto (3) Sessões de prototipagem (4) Testes	Estudos de caso: desenvolvimento de DA's para três tarefas distintas: tocar um violoncelo, operar uma bicicleta manual, usar uma faca de mesa Entrevistas não-estruturadas Equipe multidisciplinar CAD MA Projeto modular Prototipagem com materiais alternativos (argila, espuma, Lego, etc.)
Thomnn, Morais e	<i>Multidisciplinary</i>	(1) Projeto centrado no	Estudos de caso:

Autores	Descrição sucinta	Fases/princípios da metodologia	Ferramentas e técnicas usadas
Werba (2017)	<i>Project focused on Assistive Technology</i> (Projeto Multidisciplinar focado na Tecnologia Assistiva)	usuário (PCU) (2) Projeto iterativo (3) Projeto baseado em cenários (4) Ferramentas de ergonomia	desenvolvimento de cinco DA's distintos Análise ativa Entrevistas e pesquisas Equipe interdisciplinar Estudos de caso Observações diretas CAD MA Prototipagem com materiais alternativos Teste de usabilidade
Harris (2017)	<i>Pathway for development of assistive technologies</i> (Roteiro para o desenvolvimento de TA's)	(1) Viabilidade (2) Projeto do conceito (3) Prototipagem e teste (4) Desenvolvimento (5) Comercialização	Sem estudo de caso Casa da Qualidade <i>Design for Manufacturing and Assembly</i> (DFMA) Entrevistas estruturadas ou não Equipe multidisciplinar Estado da arte e da técnica FMEA MA <i>Mock-ups</i> e protótipos Observação direta Testes de usabilidade

Autores	Descrição sucinta	Fases/princípios da metodologia	Ferramentas e técnicas usadas
			e desempenho
Berger et al. (2018)	<i>3D printing of Personalized AT</i> (Impressão 3D de TA Personalizada)	Não definidos	Estudo de caso: desenvolvimento de bastões de boca e de estojos de mouse personalizados Ferramenta na web Grupos focais MA Projeto paramétrico Questionários Workshops
Da Silva et al. (2018)	<i>Interdisciplinary-based Development of user-friendly customized 3D printed upper limb prosthesis</i> (Desenvolvimento Interdisciplinar de prótese customizada e amigável para membro superior)	(1) Exploração (2) Briefing (3) Projeto conceitual (4) Prototipagem (5) Testes (6) Provisão	Estudo de caso: desenvolvimento de prótese para membro superior Entrevistas não estruturadas Equipe interdisciplinar Escaneamento 3D Estado da técnica CAD MA Projeto <i>open-source</i> Teste de usabilidade não estruturado
Day e Riley (2018)	<i>Utilising three-dimensional printing</i>	(1) Captura da forma	Estudo de caso: desenvolvimento de

Autores	Descrição sucinta	Fases/princípios da metodologia	Ferramentas e técnicas usadas
	<i>techniques when providing unique assistive devices</i> (Utilizando a impressão 3D para a provisão de dispositivos assistivos únicos)	(2) Escaneamento 3D	DA para auxílio à utilização de instrumento musical
		(3) Modelagem 3D	
		(4) Análise de Elementos Finitos	Análise de Elementos Finitos
		(5) Impressão 3D	CAD
		(6) Avaliação do produto	Entrevista não estruturada
			Equipe multidisciplinar
			Escaneamento 3D
			Fotogrametria
			MA
			Matriz de Pugh
	Molde de alginato		
	Protótipo com material intermediário		
Gherardini et al. (2018)	<i>Co-Design Method for the Additive Manufacturing of Customised Assistive Devices</i> (Método de Coprojeto para Manufatura Aditiva de Dispositivos Assistivos Customizados)	(1) Mapeamento das necessidades terapêuticas do usuário (2) Coprojeto do DA customizado (3) Modelagem paramétrica do DA (4) Validação preliminar, treinamento e entrega do DA, com posterior acompanhamento (5) Implementação de modificações e	Estudo de caso: desenvolvimento de abridor de latas Biblioteca de modelos virtuais (3D) CAD Entrevistas Equipe interdisciplinar MA PIADS Prototipagem com materiais intermediários

Autores	Descrição sucinta	Fases/princípios da metodologia	Ferramentas e técnicas usadas
		documentação	QFD QUEST Sessões de treinamento <i>Storytelling</i> <i>USERfit Product Analysis</i>
Haring et al. (2018)	<i>Development of an Adaptive Device</i> (Desenvolvimento de um Dispositivo Adaptativo)	(1) Modelagem física e virtual (2) Avaliação preliminar e treinamento (3) Teste comparativo	Estudo de caso: desenvolvimento de DA para a mão CAD Entrevistas e observação Escaneamento 3D MA Molde SHAP-C
Portnova et al. (2018)	<i>Design of a 3D-printed, open-source wrist-driven orthosis</i> (Projeto open-source de uma órtese de punho impressa em 3D)	(1) Projeto do dispositivo (2) Teste de fabricação (3) Teste com usuários	Estudo de caso: desenvolvimento de DA para indivíduos com lesão na medula espinhal CAD Entrevistas e questionários estruturados Equipe multidisciplinar MA

Autores	Descrição sucinta	Fases/princípios da metodologia	Ferramentas e técnicas usadas
Gordes e Waller (2019)	<i>Strategies for improving the development of patient-centered 3D printed adaptive equipment</i> (Estratégias de melhoria do desenvolvimento de equipamentos adaptativos impressos em 3D centrados nos usuários)	(1) Sessão 1:	Manual para tomada de medidas Projeto parametrizado Teste caixa e blocos Teste com dinamômetro de dedo Teste de função manual Jebsen Taylor
		Introdução das disciplinas	Estudos de caso: desenvolvimento de DA's diversos
		(2) Sessão 2:	Cenários simulados
		Modelagem de equipamento adaptativo (usuário simulado)	Competências interprofissionais IPEC Entrevistas
		(3) Sessão 3: Revisar o produto impresso em 3D (usuário simulado)	Equipe interdisciplinar MA
		(4) Sessão 4: Revisar o produto final impresso em 3D (usuário simulado)	Moldes de argila
		(4) Sessão 4: Revisar o produto final impresso em 3D (usuário simulado)	Palestras e discussões abertas
		(5) Sessão 5: Modelagem de equipamento adaptativo (usuário real)	Pesquisas de acompanhamento online
		(6) Sessão 6: Revisar e corrigir o produto impresso em 3D (usuário real)	

Autores	Descrição sucinta	Fases/princípios da metodologia	Ferramentas e técnicas usadas
Lee et al. (2019)	<i>Personalized assistive device manufactured by 3D modelling and printing techniques</i> (Dispositivo assistivo personalizado fabricado por meio das técnicas de modelagem e impressão 3D)	(1) Testes iniciais com usuário (2) Projeto do DA (3) Testes	Estudo de caso: desenvolvimento de uma órtese para membro superior CAD Entrevista não estruturada Escaneamento 3D MA QUEST Teste de função manual Jebsen Taylor Testes de força, preensão e flexão
Manero et al. (2019)	<i>Participatory design – Cooperative expression</i> (Projeto participatório – Expressão cooperativa)	(1) Projeto central (2) Participação (3) Integração de Engenharia (4) Fabricação interdisciplinar	Estudo de caso: desenvolvimento de membros superiores biônicos APMC Acabamento artístico automotivo CHEQ Equipe interdisciplinar Jogo para treinamento PedsQL Portal interativo na web MA

Autores	Descrição sucinta	Fases/princípios da metodologia	Ferramentas e técnicas usadas
Schwartz et al. (2019)	<i>Methodology and feasibility of a 3D printed assistive technology intervention</i> (Metodologia e viabilidade de intervenção de uma TA impressa em 3D)	(1) Rotinas e hábitos (2) Preferências de TA (3) Projeto e fabricação do DA (4) Treinamento com o DA	Estudo de caso: desenvolvimento de porta comprimidos customizados ARMS CAD Entrevistas semiestruturadas MA Questionários QUEST 2.0 Repositórios online de modelos 3D Tamanho de efeito Cohen D

Fonte: Autor (2019).

4 PROPOSTA DE METODOLOGIA

Com base nos casos analisados de projetos desenvolvidos pelo IMDT (seção 3.1), no estudo de caso efetuado ao longo deste trabalho (seção 3.2) e na RBS realizada (seção 3.3), é apresentada a seguir uma proposta de metodologia, da perspectiva da engenharia, para o projeto de DA's com abordagem centrada no usuário e o auxílio da MA, no contexto da TA.

Vale destacar que um fluxograma (Figura 71) para o projeto de TA já vinha sendo desenvolvido e utilizado pelo IMDT, aplicado nos trabalhos realizados junto às disciplinas de metodologia de projeto na graduação (SEM0522 – Teoria e Metodologia do Projeto) e na pós-graduação (SEM5910 – Introdução à Metodologia de Projeto em Engenharia) da EESC/USP. Pode ser visto no trabalho desenvolvido por Loureiro (2019), como adaptação do fluxograma utilizado por Idogava et al. (2019), ambos vinculados ao IMDT.

Embora se trate de um fluxograma abrangente, carece de um maior detalhamento de determinadas atividades importantes no decorrer do processo de projeto. Além disso, seu foco é ainda primordialmente no produto em si, tendo o alcance limitado no que diz respeito à consideração de elementos contextuais importantes para o projeto no âmbito da TA, como, por exemplo, a formação e a integração da equipe multidisciplinar de projeto e o detalhamento dos testes de avaliação e refinamento do conceito.

Por esse motivo, foi elaborada a metodologia apresentada neste capítulo, que visa incorporar a importância dos aspectos contextuais e também descrever com mais detalhamento a sequência de desenvolvimento do projeto.

A metodologia foi denominada projet8-TA (p8-TA) ou, em inglês, *AT-d8sign* (AT-d8) e está dividida em três fases principais, como pode ser visto na Figura 72: (1) Domínio transversal de projeto; (2) Espiral de concepção; (3) Avaliação e refinamento. O nome adotado é uma referência à palavra projeto (em inglês, *design*) e à sigla para Tecnologia Assistiva, além de representar o seu caráter iterativo e dinâmico e o fluxo das informações entre as partes envolvidas e entre as fases, as

quais não são propriamente sequenciais (sobretudo as fases 2 e 3), mas antes desenvolvidas de maneira paralela e cíclica. Enquanto a primeira fase tem um caráter mais preparatório, as duas últimas representam o núcleo criativo do processo. Cada uma delas, por sua vez, se subdivide em quatro etapas principais, que serão apresentadas na sequência.

Figura 71 – Fluxograma para o projeto de TA

Figura 72 – Metodologia projet8-TA (AT-d8sign)

Fonte: Autor (2019).

4.1 DOMÍNIO TRANSVERSAL DE PROJETO

A primeira fase fundamental para o projeto no âmbito da TA, cujo caráter é eminentemente multidisciplinar, se mostrou como sendo a criação de um ambiente favorável de projeto, caracterizado por diversos aspectos: experiências pessoais e necessidades, conhecimentos e habilidades técnicas, linguagem e comunicação, entre outros. A integração de todos esses elementos de maneira coesa, de modo a gerar um arcabouço favorável à concepção e geração de novas ideias e produtos é o objetivo fundamental desta primeira fase. A esse processo de integração deu-se o nome de domínio transversal de projeto (DTP).

A ideia é que o projeto de TA se dá, de maneira ideal, pela intersecção de diversos domínios de conhecimento e experiência: (a) o domínio da saúde, por meio dos profissionais envolvidos, sejam eles terapeutas ocupacionais, fisioterapeutas, reumatologistas, cinesiologistas, protéticos, etc., e seus respectivos conhecimentos e habilidades específicos; (b) o domínio da engenharia, representado pelos

engenheiros ou técnicos mecânicos, de produção, de manufatura, de materiais, etc., com seus conhecimentos e habilidades técnicas; (c) o domínio da família e dos cuidadores, caracterizado pela experiência da convivência mais direta com o usuário final, pelo conhecimento de suas particularidades, demandas e necessidades; (d) o domínio do usuário, ocupando uma posição central e marcado por sua experiência muito particular com a sua diversidade funcional, bem como as necessidades que ela acarreta e as maneiras pelas quais buscou ou tem buscado contorná-las.

Naturalmente, poderão existir ainda outros domínios de interesse, segundo as características e especificidades de cada projeto. Coton et al. (2014), por exemplo, apresentam um método de desenvolvimento de um DA para auxílio à utilização de um instrumento musical que contou com a participação de artistas e especialistas da área. Manero et al. (2019) recorrem à participação de artistas no processo de customização dos DA's desenvolvidos segundo as preferências e desejos dos usuários.

Num primeiro momento, quando do surgimento da demanda de projeto, esses domínios estão desconectados entre si, como ilustrado na Figura 73. O usuário traz consigo sua experiência e necessidades em relação à sua diversidade funcional; também os familiares e cuidadores, envolvidos com essas demandas, trazem sua experiência, mas talvez ainda sem criarem os devidos pontos de conexão, pela falta de uma orientação técnica, que possam auxiliar no desenvolvimento de novas soluções. Os profissionais da saúde e da engenharia possuem seus conhecimentos técnicos em seus respectivos domínios de atuação, que precisarão ser integrados e aplicados ao problema para a obtenção de uma solução viável e eficaz.

Uma das primeiras iniciativas da metodologia de projeto, desse modo, consiste na adoção de estratégias para promover a aproximação e a integração entre esses diversos domínios, como representado na Figura 74, tendo o domínio do usuário como elemento central.

O objetivo é estabelecer o DTP (Figura 75), em que os domínios se encontram integrados e se estabelece um conjunto comum de linguagem, parâmetros, visões, metas e objetivos para o projeto.

Figura 73 – Domínios de projeto no momento do surgimento da demanda

Fonte: Autor (2019).

Figura 74 – Processo de integração dos domínios de projeto

Fonte: Autor (2019).

Figura 75 – Criação do domínio transversal de projeto (DTP)

Fonte: Autor (2019).

Nesse sentido, mais do que um projeto multidisciplinar, em que se reúnem conhecimentos e representantes de múltiplas áreas, pode-se dizer que se alcança a condição de um projeto interdisciplinar, transmitindo assim de maneira mais adequada a ideia de que, mais do que apenas reunidos, esses diversos domínios estão efetivamente integrados no processo de projeto.

Como afirmam Thomnn, Morais e Werba (2017), qualquer que seja o objeto a ser projetado, não basta uma simples sobre posição de sistemas técnicos, na qual os especialistas seguirão agindo desconectadamente, sem uma comunicação eficiente e com objetivos, prazos e uma lógica de desenvolvimento não alinhados adequadamente.

À medida que se estreitam as relações entre os domínios de projeto, começam a surgir as chamadas zonas de intersecção, caracterizadas pelo aumento e pela eficiência da comunicação e do fluxo de informações entre as partes. Essas intersecções estão representadas na Figura 75 pelas regiões mais escuras, desde as mais externas, intermediárias, entre pares de domínios, até as mais internas e

mais escuras, que envolvem um número maior de domínios. O centro dessa região, que representa a condição ótima de intersecção entre todos os domínios, com participação efetiva e eficaz de todos os envolvidos no projeto, é o que se busca.

Uma vez criado esse domínio transversal, fica assim estabelecido um núcleo de projeto de TA (NpTA), marcado pela interdisciplinaridade, pela abordagem centrada no usuário e pela capacidade de gerenciar e integrar informações, conhecimentos e experiências oriundos de várias procedências no desenvolvimento de novas soluções e produtos de TA.

Como se vê a seguir, são quatro as etapas principais do processo de formação do DTP:

4.1.1 Identificação dos domínios de projeto

Uma primeira definição fundamental para a formação do DTP é a identificação dos domínios pertinentes ao desenvolvimento do projeto a partir da demanda apresentada. Para isso, além do usuário final em si, deverão ser considerados aqueles que convivem mais proximamente com suas necessidades, como familiares, cuidadores, pessoas da convivência cotidiana e, naturalmente, profissionais e especialistas das áreas de saúde, engenharia e de outras áreas entendidas como essenciais para o desenvolvimento do DA.

Devem ser envolvidos no projeto, desse modo, o máximo de indivíduos que poderão desempenhar um papel relevante no contexto de uso do DA. Coton et al. (2014), por exemplo, no desenvolvimento de um DA para auxílio à utilização de um instrumento musical voltado para uma criança com deficiência, consideraram as contribuições dos educadores da criança, de outras crianças que interagem com ela e também de profissionais e especialistas da música.

Especialmente no caso em que o usuário final é uma criança ou alguém de algum modo limitado em sua capacidade de expressão e comunicação, o papel e a inserção dos familiares e/ou cuidadores se torna ainda mais fundamental, uma vez que atuam como tradutores das necessidades e percepções do usuário.

No estudo de caso desenvolvido neste trabalho, como se vê também em Santos (2015), além dos terapeutas ocupacionais que acompanhavam o usuário final, foram inseridos também no processo de projeto um familiar (no caso, a esposa do indivíduo) e engenheiros mecânicos e de materiais, dos quais alguns com relevante experiência no processo de fabricação via MA e na calibração da impressora 3D utilizada pelo grupo. Os projetos de Barbosa (2016) e Kaneko (2017) também foram marcados por esse envolvimento de diferentes domínios.

Cada uma dessas partes, com seus domínios de conhecimento e experiência, trouxeram contribuições imprescindíveis ao projeto: o usuário final, com seu conhecimento muito particular de sua experiência cotidiana e de suas necessidades e expectativas; o familiar, com a experiência pessoal da convivência, auxiliando na descrição das necessidades e expectativas do usuário (que tinha limitações em sua comunicação) e também no acompanhamento e no suporte aos testes, sendo um fator muito importante de estímulo e de apoio, mesmo emocional, para o usuário no transcurso do processo; os TO's com seu conhecimento sobre a patologia e as necessidades e limitações que esta acarretava ao usuário, além do acompanhamento com os testes de validação e aperfeiçoamento do DA, inclusive com o estímulo constante para o seu uso; os profissionais da engenharia com seu conhecimento técnico sobre a metodologia de projeto, as ferramentas técnicas para suporte ao projeto (QFD, TRIZ, FMEA etc.), a modelagem virtual em CAD e a fabricação via MA.

A falta de algum domínio essencial para o projeto pode acarretar prejuízos significativos ao processo (lentidão, desperdício de recursos, perda de oportunidades de inovação, etc.), ao produto final (baixa qualidade, ineficiência, abandono do DA, etc.) e ao próprio usuário (prejuízo ao tratamento, danos físicos ou de outra natureza, desmotivação, etc.). Schwartz et al. (2019), por exemplo, falam das dificuldades experimentadas no processo de projeto devido à falta de profissionais com expertise sobre a tecnologia da MA, sua aplicação e ajuste de parâmetros.

Cabe, portanto, à equipe inicial de projeto identificar todos os domínios de interesse para o projeto em questão, a partir de um estudo preliminar da demanda e do produto a ser desenvolvido, bem como do usuário e do contexto em que está

inserido. Evidentemente, novos membros poderão ser adicionados no decorrer do processo, na medida em que forem sendo identificadas novas necessidades.

4.1.2 Integração dos domínios de projeto

Uma vez identificados os domínios fundamentais para o desenvolvimento do projeto e seus respectivos representantes, é preciso lançar mão de algumas estratégias para aproximá-los e integrá-los, em busca do DTP.

Essa integração, no entanto, não consiste apenas em trocas pontuais de informações ou na superposição dos conhecimentos oriundos de cada domínio, mas sim na criação de uma linguagem comum de projeto, bem como no alinhamento, entre as partes, das visões, metas e objetivos. Enfim, consiste na criação realmente de uma comunidade interdisciplinar de projeto.

As reuniões periódicas e, preferencialmente, presenciais entre representantes dos domínios de projeto se mostraram o primeiro recurso fundamental para o estabelecimento gradativo do DTP. Sejam aquelas entre representantes de todos os domínios ou aquelas entre partes específicas.

No caso da impossibilidade de reuniões presenciais com mais regularidade, como no estudo de caso desenvolvido neste trabalho, feito em boa parte a distância, o uso de maneira eficiente e planejada dos meios de comunicação e mídia hoje disponíveis (e-mails, mensagens, áudios e vídeos) para a troca de informações e interação entre as diversas partes envolvidas no processo são fundamentais.

A utilização de entrevistas, estruturadas ou não, permite um aprofundamento no conhecimento da experiência e das necessidades do usuário. Permite ainda acessar uma outra perspectiva importante e complementar dessas necessidades a partir da ótica daqueles que convivem com o usuário, como familiares, cuidadores, companheiros de trabalho, entre outros.

As entrevistas estruturadas ou semiestruturadas auxiliam na obtenção de informações mais específicas sobre o usuário, sua diversidade funcional, suas experiências e necessidades. As entrevistas não estruturadas e os diálogos informais, por sua vez, a partir de uma interação mais espontânea entre as partes,

cumprem também um importante papel de estabelecimento de vínculos de confiança com o usuário final, o que tem se mostrado muito importante para melhor integrá-lo ao processo de projeto e para predispô-lo à utilização do DA. Possibilitam ainda a captação de detalhes e particularidades do usuário que geralmente não são colhidos pelas entrevistas mais direcionadas.

A observação, dentro do possível, do usuário realizando as atividades que dizem respeito ao DA a ser desenvolvido também pode ser muito útil para o entendimento do problema e para a aproximação entre as partes.

Desse modo, começam a se estabelecer as interações e os vínculos entre os diversos domínios do projeto. Entre o domínio do usuário e o da saúde pelo acompanhamento e orientação dos TO's, fisioterapeutas, etc. Entre o domínio do usuário e o da engenharia pelas reuniões, entrevistas e observações. Entre o domínio da engenharia e o da saúde por intermédio das discussões acerca da condição clínica do usuário e de suas restrições, das necessidades funcionais do usuário e dos requisitos técnicos de projeto, bem como das relações entre estes. Entre os próprios domínios do usuário, da família e dos cuidadores, já tão próximos pela convivência, mas agora com vistas ao desenvolvimento de um novo produto, o que leva a uma reflexão mais abrangente sobre a realidade que têm vivido.

Outro recurso importante para a criação do DTP consiste na realização de apresentações, seminários, cursos e/ou workshops sobre temas de caráter mais técnico voltados para os membros dos demais domínios. Isso se demonstrou fundamental para a criação de uma linguagem comum e para uma melhor compreensão das restrições e dos objetivos de projeto, esclarecendo aspectos e questões técnicas de determinado domínio pouco ou inteiramente desconhecidos para os demais.

Por exemplo, a condução de uma apresentação ou workshop pelos representantes do domínio da saúde acerca da patologia ou da deficiência/limitação do usuário será muito útil aos representantes do domínio da engenharia para que possam entender melhor as restrições e os requisitos de projeto e até mesmo o próprio usuário, em suas necessidades e possibilidades do ponto de vista terapêutico. Por outro lado, um workshop efetuado por representantes da engenharia para apresentar a técnica da MA, por exemplo, suas características,

vantagens e limitações, será muito útil para esclarecer os membros dos demais domínios quanto às possibilidades e limitações do projeto e da fabricação. E assim com uma série de outros conhecimentos e informações relativos ao projeto.

Quanto mais documentadas foram essas atividades, melhor poderão ser aproveitadas nas etapas subsequentes do projeto.

No caso dos trabalhos desenvolvidos pelo IMDT, a própria elaboração dos relatórios a serem submetidos ao CEP para a aprovação das pesquisas se mostraram de grande valia para o compartilhamento de conhecimentos dentre os domínios da saúde e da engenharia, para o estabelecimento de uma linguagem mais comum e para o alinhamento de metas e objetivos de projeto.

Vale aqui abrir um parêntese para destacar a importância da formação educacional na facilitação dessas interações. O processo de integração de conhecimentos adotado no IMDT foi sendo elaborado e aperfeiçoado ao longo dos anos junto também dos alunos de engenharia, em uma disciplina de graduação (SEM0522 – Teoria e Metodologia do Projeto) e também em uma de pós-graduação (SEM5910 – Introdução à Metodologia de Projeto em Engenharia). Para tanto, além dos conhecimentos técnicos da engenharia, como ferramentas e métodos de projeto, esses alunos recebiam também aulas e participavam de debates com terapeutas ocupacionais e fisioterapeutas sobre conceitos da área da saúde, tais como: procedimentos e práticas terapêuticas, patologias, deficiências/limitações e suas restrições, entre outros. Pôde-se constatar, com isso, o quanto essa formação mais abrangente prepara os futuros engenheiros para esse tipo de interação interdisciplinar, favorecendo em muito o processo de integração com outras áreas.

4.1.3 Estudo de anterioridades

O estudo de anterioridades é outra etapa fundamental no processo de criação do DTP. Consiste no mapeamento do estado da arte e da técnica em relação ao DA em desenvolvimento, com a busca pelo maior número possível de patentes de dispositivos relacionados e também de produtos similares comercialmente disponíveis. Com isso, objetiva-se a identificação de oportunidades de melhoria e

inovação, tendo em vista também a geração de produtos de qualidade, que sejam ao mesmo tempo eficazes e acessíveis, o que é imprescindível no âmbito da TA.

Inicia-se, assim, com uma busca por dispositivos de interesse em bases de dados de patentes (*Google Patents*, USPTO, EPO, INPI, entre outras) por intermédio de determinadas palavras-chave que, na visão da equipe de projeto, possam bem caracterizar o DA. Aquelas consideradas pertinentes deverão ser estudadas mais minuciosamente, de modo a se identificar as limitações e as possibilidades de melhoria dos conceitos e soluções.

Deve-se também fazer uma pesquisa de mercado, em lojas, catálogos, sites (*AbleData*, por exemplo), em busca dos principais produtos similares comercialmente disponíveis, os quais deverão ser analisados com os mesmos objetivos relacionados às patentes.

Ao final, recomenda-se a elaboração de um relatório e de uma tabela comparativa em que são listadas as principais patentes e produtos comerciais encontrados, com suas limitações e aspectos mais interessantes. Outras informações de relevo poderão ser também acrescentadas, como, por exemplo, o material, o peso, o processo de fabricação, o custo, etc.

O estudo de anterioridades, no entanto, não deve se resumir apenas a um estudo do produto, mas também do usuário. Por exemplo, a partir de uma análise mais detalhada de sua deficiência/limitação e de suas características, bem como dos impactos e restrições que acarreta à sua vida. Uma análise de suas atividades cotidianas, especialmente daquelas relacionadas ao uso do DA é também essencial. Estas análises devem ser feitas de maneira conjunta pelos membros do domínio da saúde e da engenharia, com o intuito de somar as experiências e as perspectivas para uma melhor compreensão do problema, das necessidades terapêuticas, das oportunidades criativas e das restrições.

Um levantamento das experiências anteriores do usuário com outros DA's é também fundamental. É importante perceber como foram essas experiências, se negativas ou positivas e se isso, ainda hoje, impacta de algum modo na relação do usuário com a TA, por exemplo, na forma de frustração e resistência ao uso de novos DA's ou de expectativas muito elevadas. Recomenda-se listar os DA's,

adaptações ou alternativas já utilizados, juntamente com os resultados que proporcionaram ao usuário.

Em uma análise conjunta desse levantamento, feita por engenheiros, profissionais da saúde e representantes dos demais domínios de interesse, deverão ser identificadas estratégias de contorno das dificuldades e também aspectos positivos dessas experiências anteriores, os quais poderão ser aproveitados e/ou aprimorados para o novo projeto.

Galway et al. (2012) sugerem, inclusive, alguns métodos de extração das informações que denominam “atitudes prévias” do usuário para com uma determinada tecnologia ou intervenção. Como destacam, é importante conhecer e levar em consideração essas informações durante o projeto, uma vez que tem sido demonstrado que há menos possibilidade de um produto ser adotado se os usuários não forem capazes de identificar sua utilidade ou se se sentirem apreensivos por terem de aprender a usá-lo. Os métodos de extração indicados, segundo as categorias e a fase do projeto, são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Métodos de extração das informações para as “atitudes prévias”

	Conceito	Projeto	Teste	Implementação
Facilidade de uso percebida	<i>Brainstorming</i> Encontro usuário/especialista Grupo focal Entrevista <i>Workshop</i> usuário/desenvolvedor	Percurso cognitivo Entrevista Análise de tarefas <i>Workshop</i> usuário/desenvolvedor	Teste Beta Grupo focal Entrevista Questionário	Grupo focal Entrevista Questionário
Utilidade percebida		Entrevista <i>Workshop</i> usuário/desenvolvedor		

Fonte: Adaptado de Galway et al. (2012).

Outro aspecto fundamental do estudo de anterioridades se refere ao contexto. Nem sempre uma solução bem-sucedida para um indivíduo num contexto terá o mesmo resultado para um indivíduo com condição clínica similar, mas inserido em outro contexto. Conhecer, portanto, as características físicas, econômicas, sociais e mesmo culturais do contexto em que o indivíduo está inserido são imprescindíveis para um resultado satisfatório.

Vale destacar que essas análises e estudos devem ser devidamente documentados e inseridos num relatório de desenvolvimento do projeto, de modo a alimentar as fases subsequentes do processo e também ampliar o arcabouço de conhecimento e experiência da equipe para futuros projetos.

4.1.4 Planejamento e cronograma

Pela sua própria natureza, iterativa e altamente dinâmica, tendo em vista a abordagem centrada no usuário para o desenvolvimento de produtos customizados e/ou personalizados, o projeto de TA não tem um caráter tão linear como o desenvolvimento de produtos mais tradicionais. Isso pode ser percebido pela própria comparação entre a estrutura esquemática do projet8-TA e dos modelos de projeto apresentados na seção 2.2. Por esse motivo, a elaboração do planejamento e do cronograma do projeto se torna mais desafiadora.

De todo modo, o planejamento das atividades a serem desenvolvidas e o estabelecimento de um cronograma básico com metas e prazos auxilia a nortear o processo como um todo e a trazer mais clareza para os envolvidos quanto aos objetivos e metas comuns e particulares, integrando, assim, as partes e estimulando cada uma à realização das atividades que lhe competem.

A falta desse planejamento pode levar a um aumento considerável nos tempos de desenvolvimento das etapas do projeto e, por consequência, nas dificuldades encontradas ao longo do processo. Dentre essas consequências, podem ser listadas: uma piora clínica do usuário; a diminuição da motivação do usuário e/ou da equipe, comprometendo a continuidade do projeto; o desperdício de recursos; o aumento dos custos com o projeto; a perda de janelas de oportunidade para a inovação.

No estudo de caso efetuado, especialmente nas fases mais iniciais, em que a maturidade da equipe de projeto ainda não estava bem desenvolvida e a estruturação do processo não muito clara, pôde-se constatar os impactos negativos da falta de um cronograma e de um planejamento mais detalhado. Com o passar do tempo e a aquisição de experiência, esse quadro foi se alterando e o processo de projeto, então mais estruturado, foi se tornando também mais dinâmico e produtivo.

4.2 ESPIRAL DE CONCEPÇÃO

Esta segunda fase do método pode ser considerada como o núcleo criativo do processo. É nela que serão elaborados e retrabalhados os conceitos do produto e de seus componentes. Daí o nome espiral de concepção, indicando que se trata de um processo cíclico de aperfeiçoamento dos conceitos de acordo com o desdobramento do processo e o retorno dos testes e avaliações com os usuários e demais participantes do DTP. Por esse motivo, é desenvolvida de maneira paralela e iterativa com a fase seguinte.

Consiste de quatro etapas fundamentais, apresentadas a seguir:

4.2.1 Definição dos requisitos de projeto

A definição dos requisitos de projeto passa pela identificação e hierarquização, em termos de importância, dos requisitos do usuário, tanto a partir da própria perspectiva deste, com suas expectativas e desejos, como também a partir da perspectiva dos representantes do domínio da saúde, que estabelecem suas necessidades e restrições do ponto de vista terapêutico. Acrescente-se a isso, os requisitos técnicos, isto é, aqueles parâmetros e restrições relacionados ao produto e ao contexto em que o usuário está inserido, identificados pelo domínio da engenharia e por outros domínios de interesse.

Esses requisitos serão elementos-chave ao longo de todo o processo de projeto, uma vez que serão os norteadores das atividades e das tomadas de decisão da equipe, que, diante das escolhas, precisará sempre fazer um balanço entre o “ideal”, o “possível” e o “necessário” tendo em vista o atendimento desses requisitos.

Para a identificação dos requisitos do usuário, as sessões de *brainstorming*, os questionários e entrevistas (estruturadas ou não) são algumas das ferramentas mais utilizadas.

A observação do usuário durante a realização das tarefas que dizem respeito ao DA pode ser muito útil também para uma melhor compreensão dos requisitos e das restrições associados ao produto e ao contexto de uso.

Nos trabalhos desenvolvidos pelo IMDT, os requisitos dos usuários têm sido geralmente colhidos por meio de sessões de *brainstorming* e de questionários preenchidos presencialmente ou online. Num primeiro momento, esses questionários eram direcionados aos próprios terapeutas ocupacionais (aos que estão diretamente envolvidos com o projeto e também a outros que trabalham com DA's similares), que, diante das necessidades terapêuticas dos usuários finais, listavam alguns requisitos que consideravam importantes para o DA em desenvolvimento.

No entanto, percebeu-se com o amadurecimento dos métodos de projeto que essa intermediação nem sempre captava todas as demandas do usuário e que era importante acessá-lo diretamente também, bem como aqueles do seu convívio mais direto (familiares, cuidadores, etc.), a fim de se alcançar assim uma abordagem verdadeiramente centrada no usuário.

Após a definição de uma lista requisitos dos usuários é preciso hierarquizá-los em nível de relevância. Isso será importante nas fases subsequentes do projeto para a tomada de decisões diante dos *tradeoffs* que a equipe encontrará, quando, em vista das possibilidades e restrições de projeto, terá de escolher entre a priorização deste(s) ou daquele(s) requisito(s) em detrimento de outros, sem perder o foco das prioridades principais para o usuário.

No estudo de caso desenvolvido, foram utilizados questionários com a atribuição de notas para os requisitos, como explicitado na seção 3.1.1. O mesmo vale para o trabalho de Barbosa (2016), na seção 3.1.2. Kaneko (2007), além desse sistema de pontuação, se utilizou também da ferramenta de comparação aos pares para o ranqueamento dos requisitos, como demonstrado na seção 3.1.3.

Galway et al. (2012) propõem alguns métodos de extração de informações do usuário para o que eles denominam “fatores de impacto”, ou seja, fatores específicos que poderão ser utilizados para a identificação dos requisitos de projeto e o desenvolvimento da tecnologia. A Tabela 12 elenca os possíveis métodos, separando-os por categoria de fatores e por fase do processo de projeto.

Tabela 12 – Métodos de extração das informações para os “fatores de impacto”

	Conceito	Projeto	Teste	Implementação
Fatores pessoais	Brainstorming Etnografia Encontro usuário/especialista Grupo focal Entrevista Observação Análise de tarefas	Percurso cognitivo Entrevista Análise de tarefas	Grupo focal Entrevista Questionário Métodos <i>Think-Aloud</i>	Etnografia Grupo focal Entrevista Questionário
Fatores do ambiente	Brainstorming Percurso cognitivo Etnografia Encontro usuário/especialista Grupo focal Entrevista Observação Análise de tarefas <i>Workshop</i> usuário/desenvolvedor	Percurso cognitivo Entrevista Análise de tarefas <i>Workshop</i> usuário/desenvolvedor	Teste Beta Grupo focal Entrevista Questionário Métodos <i>Think-Aloud</i>	
Requisitos	Brainstorming Percurso cognitivo Etnografia Encontro usuário/especialista Grupo focal Entrevista Observação Análise de tarefas <i>Workshop</i> usuário/desenvolvedor	Percurso cognitivo Entrevista Teste em laboratório Análise de tarefas Teste de usabilidade <i>Workshop</i> usuário/desenvolvedor	Questionário	
Necessidades latentes do usuário	Brainstorming Percurso cognitivo Encontro usuário/especialista Grupo focal Entrevista Observação Análise de tarefas	Percurso cognitivo Entrevista Análise de tarefas <i>Workshop</i> usuário/desenvolvedor		

Fonte: Adaptado de Galway et al. (2012).

Uma ferramenta que tem se mostrado muito útil nessa etapa é o QFD, especialmente por meio da denominada Casa da Qualidade, que permite essa primeira vinculação entre o domínio subjetivo do usuário, com seus requisitos e expectativas, e o domínio técnico da engenharia, com seus parâmetros e restrições de projeto. Com isso, tem-se mais um recurso importante para a garantia da continuidade dessa centralidade do usuário ao longo do processo e, por conseguinte, da qualidade do projeto (daí o nome, desdobramento da função qualidade). Desse modo, as decisões técnicas tomadas no decorrer do projeto estarão conectadas àquilo que deu início ao processo e que é também a sua finalidade, especialmente no âmbito da TA: a demanda e as necessidades do usuário. Por isso, como demonstrando na seção 3.1, o QFD vem sendo utilizado em todos os projetos desenvolvidos pelo IMDT.

4.2.2 Geração dos conceitos

Essa é uma das etapas mais importantes de toda a metodologia e o seu cerne criativo.

Como retratado na seção 3.3.2.3.4, pôde-se perceber por meio da RBS realizada acerca da metodologia de projeto no contexto da TA, que uma das maiores limitações do projeto nessa área se trata ainda da falta do uso de ferramentas técnicas para o suporte ao projeto, especialmente no tratamento dos requisitos do usuário e na sua vinculação com os parâmetros de projeto, como também na geração e seleção dos conceitos e soluções para o produto.

Por isso, esta etapa é considerada um ponto central do projet8-TA e talvez a sua principal contribuição.

Como demonstrado nos casos analisados na seção 3.1 e na síntese feita pela Tabela 7, as ferramentas e técnicas de projeto têm sido muito utilizadas e úteis nos trabalhos desenvolvidos pelo IMDT, sobretudo no sentido de auxiliar na conexão entre os domínios subjetivo e técnico, respectivamente, do usuário e dos engenheiros. Também para uma identificação mais clara do problema, das funções a serem atendidas pelo DA e, a partir daí, das possibilidades de adequação, melhoria e inovação para a geração de um produto de qualidade e eficaz.

Além disso, é preciso considerar que essa etapa do projeto conceitual é crítica no processo, uma vez que os conceitos e soluções aqui escolhidos serão definidores de todo o restante da cadeia de projeto e que, por isso mesmo, escolhas não adequadas nesse momento ocasionarão um desperdício de tempo e de recursos significativo, como ilustrado na Figura 76.

É necessário, portanto, compreender muito bem o problema a ser solucionado, as funções a serem atendidas, para que os fins sejam alcançados devidamente. Conhecer o que se projeta e para que se projeta. É aí que se situa a importância de ferramentas como o QFD, a análise funcional, os diagramas MEI, o quadro morfológico, a FMEA, entre outras.

Figura 76 – Custo de manufatura comprometido durante o projeto

Fonte: Adaptado de Ullman (2010).

Como dito na etapa anterior e explicitado na 3.1, nos projetos do IMDT, o QFD (Casa da Qualidade) tem se tornado esse primeiro elemento de ligação importante entre o domínio do usuário e o da engenharia, preparando o ambiente e orientando o processo para a geração dos conceitos e soluções do produto.

A partir daí, passa-se à utilização das demais ferramentas consideradas pertinentes pela equipe de projeto para a adequada abordagem ao problema. A analogia funcional, auxiliando no entendimento das funções a serem atendidas pelo produto e na criação de uma nova leitura para o problema. Os diagramas MEI, na compreensão da dinâmica de funcionamento do dispositivo e da sua interação com o entorno. O quadro morfológico, na abertura do leque de opções para o dispositivo, com as devidas ponderações dos prós e dos contras de cada uma. A FMEA, no esforço pela antevisão do produto em uso e na identificação de seus pontos frágeis e no nível de relevância de cada um deles para se pensar, assim, nas possibilidades de melhoria. Entre outras ferramentas que venham a ser adotadas pela equipe.

Quanto à geração de ideias, a realização de sessões de discussão e *brainstorming* (preferencialmente, com representantes de outros domínios que não apenas o da engenharia), a utilização de esboços e croquis (papel ou *tablet*), a

busca por analogias em outras áreas ou na natureza (biomimética), entre outras, são ferramentas muito válidas. Também a TRIZ, embora a dificuldade inicial da compreensão de sua aplicação, se mostrou uma ferramenta muito útil na geração de conceitos interessantes e inovadores para o projeto, como demonstrado em Santos (2015).

Uma vez estabelecidas as possíveis soluções, parte-se para a análise de sua viabilidade, novamente por meio de reuniões de debate e discussão, em que se faz um balanço entre o “ideal”, “o possível” e o “necessário” pela ótica dos custos, da fabricação, dos materiais, do tempo, entre outros fatores. Quanto mais perspectivas forem contempladas nesse processo, a partir dos domínios ali representados, maiores as chances de escolhas mais adequadas.

Vale lembrar que não apenas aspectos como funcionalidade e eficiência devem ser levados em conta nessa etapa, mas também fatores como conforto, aparência, etc., já que o projeto em TA não é guiado puramente pela tecnologia, mas marcadamente pelo usuário e sua subjetividade.

Assim, pela combinação daquelas consideradas pela equipe de projeto as mais viáveis dentre as várias possibilidades para cada aspecto do produto, se definem as soluções a serem implementadas para o DA nas etapas subsequentes do projeto.

É importante lembrar que, pela própria característica dinâmica e iterativa do projeto, esses conceitos e soluções passarão por modificações, readaptações e melhorias a partir do retorno obtido junto ao usuário e representantes do domínio da saúde (e de outros domínios de interesse) na terceira fase do projeto-TA (Avaliação e refinamento), realizada de certo modo paralelamente a esta. Nesse sentido, o usuário é sempre o melhor critério para definir quando esta etapa não precisa ser mais revisitada, sem desconsiderar, naturalmente, possíveis restrições de projeto (por exemplo, custos, processo de fabricação, etc.) e a visão terapêutica dos profissionais da saúde, que poderão indicar ainda ajustes necessários.

4.2.3 Criação dos modelos virtuais

Estabelecidas as soluções iniciais e os primeiros esboços e croquis do DA, é preciso iniciar o processo preparatório para a fabricação dos *mock-ups* e protótipos para os primeiros testes de avaliação.

Com a praticidade e a agilidade que trazem para a realização de alterações no projeto (muitas vezes, em tempo real), as ferramentas CAD, por exemplo, já são em si mesmo muito úteis para o próprio processo de concepção, para a consolidação dos conceitos e para uma primeira apresentação destes aos representantes dos demais domínios. Favorece-se, assim, a interação e a integração entre os domínios, bem como a participação mais ativa do usuário.

Como esta metodologia (projet8-TA) está focada no desenvolvimento de TA com o auxílio da MA, a criação dos modelos virtuais é também um passo essencial para a etapa seguinte da impressão 3D, uma vez que serão eles o principal *input* para o processo.

Por isso mesmo, é importante elaborar o modelo virtual (e antes, o próprio conceito) tendo em vistas já o processo pelo qual será fabricado, suas limitações e possibilidades. No caso de impressoras 3D que operem por meio da fabricação de filamentos fundidos (ou *Fused Filament Fabrication* – FFF), pensar, por exemplo, no pós-processamento das peças que demandem uma grande quantidade de material de suporte e, por conseguinte, ocasionem um desperdício significativo de material e um maior tempo de pós-processamento. Nesse sentido, dividir uma peça em duas partes para uma posterior união, alterar um ou outro ângulo ou dimensão de importância não essencial, entre outras estratégias, podem ser úteis para facilitar o processo de fabricação do dispositivo. Alguns exemplos ilustrativos podem ser vistos no estudo de caso desenvolvido neste trabalho, na seção 3.2.

A geração de modelos virtuais com vistas a um projeto paramétrico e modular também se mostra uma possibilidade bem interessante, pois traz muita praticidade ao projeto. Tanto quanto possível, portanto, recomenda-se desenvolver o modelo virtual de modo que a alteração de medidas-chave seja facilitada, permitindo assim adaptar o modelo para outros indivíduos com necessidades similares sem grandes

dificuldades, a partir da obtenção de determinados parâmetros e medições particulares, ou modificar e fabricar uma determinada peça de maneira mais prática e ágil, seja para ajuste ou reposição. A possibilidade de alterar medidas com facilidade, para uma nova impressão, é muito útil também para o ajuste de folgas entre as peças.

Os modelos virtuais permitem ainda a realização de análises CAE (*Computer Aided Engineering*) que visam antever, dentro de uma margem razoável de segurança, algumas das características do produto, como, por exemplo, peso, resistência mecânica, propriedades térmicas, entre outras. O método dos elementos finitos é um exemplo de uma dessas análises de grande utilidade para o projeto quando realizada adequadamente.

O compartilhamento de modelos virtuais, por exemplo, no caso dos projetos *open-source* e dos repositórios online de modelos (*Thingiverse*, *GrabCAD*, entre outros), oferece também interessantes oportunidades de aperfeiçoamento e complementação dos projetos.

Existe ainda a possibilidade da obtenção de modelos virtuais a partir do escaneamento 3D de objetos ou partes do corpo, com o auxílio de equipamentos adequados, facilitando assim, por exemplo, a obtenção de protótipos impressos em 3D a partir de moldes feitos artesanalmente, no primeiro caso, ou um ajuste mais fino de determinados DA's ao corpo do usuário, no segundo caso.

4.2.4 Seleção dos materiais e manufatura

Após a criação e os ajustes dos modelos virtuais, chega-se à etapa da fabricação dos *mock-ups*, protótipos e até mesmo do produto final via MA, se as características do DA e da impressora 3D permitirem essa possibilidade.

Os modelos virtuais (CAD) já são em si um recurso importante para a apresentação do projeto conceitual aos demais domínios, no entanto, as representações físicas (*mock-ups* e protótipos) se mostram ainda mais eficazes para esse objetivo. Tornam-se uma espécie de linguagem de projeto, contribuindo significativamente para a integração entre os diversos domínios envolvidos e para a transmissão de maneira eficiente das informações entre engenheiros, usuários e terapeutas ocupacionais/fisioterapeutas.

Uma das primeiras definições nesta etapa diz respeito à seleção dos materiais que serão utilizados na MA.

Vale mencionar que os projetos desenvolvidos pelo IMDT contaram com o auxílio de impressoras *low-cost* do tipo FFF – 3D Cloner DH, num primeiro momento e, posteriormente, GTMax Core A1 Dual –, com a utilização basicamente de polímeros termoplásticos (ABS e PLA). É importante lembrar, no entanto, que existem diversas outras possibilidades no campo da MA, de máquinas com maior capacidade e complexidade, operando com diferentes métodos de fabricação e possibilitando a utilização de uma vasta gama de materiais além dos citados, como metais, cerâmicas, etc. Por esse motivo, apesar das orientações aqui apresentadas estarem mais limitadas a essas circunstâncias, é preciso levar em consideração as outras possibilidades segundo os recursos e as disponibilidades do projeto e também as características do produto a ser desenvolvido.

Nesse sentido, Bourell et al. (2017) fazem um abrangente estudo de revisão sobre os materiais utilizados para a MA e as propriedades e características do processo. Ngo et al. (2018) apresentam também um interessante estudo de revisão sobre os diversos métodos de fabricação via MA, os materiais utilizados, as aplicações e os desafios envolvidos no processo.

Dentre algumas das características do PLA, pode-se citar: é biodegradável (derivado de recursos renováveis como amido de milho ou cana-de-açúcar); apresenta uma temperatura menor de fusão; é inodoro durante a impressão; apresenta pigmentação e coloração mais vivas. Quanto ao ABS, destacam-se: é um pouco mais durável e resistente em relação ao PLA; embora não seja biodegradável, é reciclável; não é inodoro durante a impressão, inclusive com a liberação de monômeros (em temperatura ambiente, não é tóxico); possibilita um melhor acabamento superficial, tanto pelo lixamento como pelo acabamento com vapores de acetona (3DAPPLICATIONS, 2019a; Id., 2019b; 3DFILA, 2019b). A Figura 77 apresenta uma comparação entre os perfis do ABS e do PLA. Um outro exemplo de termoplástico é o TPU, que, a seu turno, apresenta benefícios como flexibilidade, elasticidade e resistência ao impacto (3DFILA, 2019a).

Figura 77 – Comparação entre os perfis dos materiais ABS (a) e PLA (b)

Fonte: 3D APPLICATIONS (2019a; 2019b).

No estudo de caso desenvolvido neste trabalho, as primeiras versões do protótipo, que tinham um objetivo mais específico de apresentar o DA ao usuário e aos terapeutas (embora a segunda versão já fosse funcional), foram fabricadas em PLA. Da terceira versão em diante, passou-se a utilizar o ABS, em busca de um ganho de resistência e, principalmente, da possibilidade de um melhor acabamento superficial, propiciando uma melhor experiência ao usuário durante os testes.

Cabe, desse modo, à equipe de projeto, fazer o balanço entre os requisitos de projeto e a disponibilidade de recursos para a escolha dos materiais mais adequados para a fabricação de peças específicas e do DA como um todo.

Outro aspecto importante no que diz respeito à fabricação via MA, além da seleção dos materiais, é o conhecimento dos parâmetros do processo (por exemplo, taxa de preenchimento, espessura de camada, etc.) e das características da máquina utilizada (por exemplo, utilização do software, ajuste de folgas, etc.). Por isso, a presença de profissionais e especialistas com expertise sobre o processo, seus parâmetros e os materiais a serem utilizados se mostrou de fundamental importância para uma adequada calibração da impressora e dos parâmetros do processo e, por conseguinte, para a obtenção de objetos de qualidade. Na falta destes, os prejuízos com o desperdício de recursos e de tempo podem ser significativos, inclusive com impactos na continuidade do projeto, por exemplo, com a desmotivação do usuário pela demora ou pela baixa qualidade dos objetos fabricados.

No estudo de caso apresentado, a parceria com uma empresa especializada em impressão 3D e com indivíduos com mais experiência no processo se mostrou muito profícua para o aperfeiçoamento do projeto, com uma série de ajustes importantes, que tanto trouxeram mais facilidade à fabricação do DA como também melhorias do ponto de vista da funcionalidade, conforme pode ser visto na seção 3.2.2. A presença de engenheiros na equipe de projeto com boa experiência na utilização das impressoras 3D foi também imprescindível.

Além disso, os estudos sobre os ajustes de folga entre as peças e de parâmetros como a espessura de camada e o preenchimento foram essenciais para a obtenção de protótipos de qualidade e funcionais, especialmente pela circunstância específica do DA desenvolvido, com a utilização de água nas cavidades internas do cabo para ajuste de peso, demandando uma série de cuidados para se evitar o vazamento.

Como destacado na etapa anterior, o planejamento da fabricação dos objetos e peças a serem produzidos, naquilo que é também chamado *Design for Additive Manufacturing*, é outro aspecto muito importante do processo. A realização de um estudo sobre as estratégias de deposição do material e a melhor maneira de orientar e configurar os objetos e as peças para a impressão têm um resultado significativo na diminuição do desperdício de material (pela redução do material de suporte utilizado) e no tempo e na complexidade do pós-processamento, proporcionando também um melhor acabamento superficial aos objetos produzidos. Tanto em Santos (2015), como na continuidade do projeto, apresentada na seção 3.2, foram realizados estudos e análises com essa finalidade.

4.3 AVALIAÇÃO E REFINAMENTO

Esta fase está intrinsicamente relacionada à anterior, uma vez que o resultado das avaliações e feedbacks obtidos pela interação com os usuários e demais membros do DTP será realimentado na segunda fase para refinamento dos conceitos e características do produto, em busca de melhor atender as

necessidades do usuário e os requisitos de projeto. Por isso, é parte também integrante do núcleo criativo do processo.

É dividida essencialmente em quatro etapas, descritas na sequência:

4.3.1 Apresentação dos conceitos

Uma vez obtidos os primeiros conceitos do produto na fase anterior, é preciso apresentá-los aos demais membros do DTP para a coleta das avaliações iniciais.

Num primeiro momento, essa apresentação é feita pela utilização dos próprios esboços, croquis e desenhos do DA. Depois, por intermédio dos modelos virtuais, que já possibilitam uma visualização mais clara e dinâmica do produto. Os pareceres e sugestões obtidos devem ser devidamente registrados para retroalimentar a etapa da geração de conceitos da fase anterior.

Após a definição dos conceitos, passa-se à fabricação dos primeiros *mock-ups* e protótipos do DA, que possibilitam uma interação ainda mais eficaz com os demais membros do DTP, facilitando a comunicação entre os envolvidos, a consolidação das ideias e a tomada de decisões. Por meio da interação com as peças, da montagem e desmontagem, da movimentação das partes móveis (se existirem) e da visualização dos detalhes do DA, o usuário e também os representantes da área da saúde podem compreender de maneira mais clara os conceitos que estão sendo propostos para o dispositivo e, assim, apresentar as suas sugestões de melhoria e/ou modificação. Por isso, quanto mais as representações físicas se aproximarem do que foi concebido para o DA, melhor será.

Além disso, o impacto causado pela primeira materialização do DA parece favorecer o estabelecimento de um vínculo de maior interesse entre o usuário e o dispositivo, gerando motivação para a continuidade do projeto e uma maior predisposição para a realização dos testes de utilização mais adiante.

Essa apresentação contribui também para transmitir maiores informações aos usuários e representantes do domínio da saúde sobre a própria tecnologia da MA, suas características, limitações e possibilidades, na medida em que os protótipos vão sendo aperfeiçoados e ganhando em funcionalidade. Facilita-se, assim, o entendimento das restrições e dos requisitos de projeto. A percepção sobre essa

tecnologia, muitas vezes vista com admiração, é também outro fator para a criação de vínculos emocionais do usuário com o dispositivo, favorecendo a sua aceitação.

No desenvolvimento do DA apresentado no estudo de caso deste trabalho, os *mock-ups* e protótipos tiveram uma importância fundamental para readequações de projeto e para o entendimento mútuo entre os representantes da engenharia e da saúde no que se refere aos requisitos de projeto. Foram também essenciais para um maior envolvimento do usuário e para a manutenção de uma abordagem centrada em suas necessidades. O mesmo se viu no caso de Kaneko (2017). Barbosa (2016) utilizou-se de *mock-ups* em escala reduzida para apresentação dos conceitos, ao passo que os protótipos (em escala real), foram produzidos com peças de metal usinadas e outras adquiridas comercialmente.

A utilização de materiais intermediários para a elaboração de representações físicas do produto (como argila, massa de modelar, espuma, Lego, entre outros) é também uma opção interessante, a depender das características do DA a ser desenvolvido e da disponibilidade de recursos para o projeto.

4.3.2 Período de adaptação

É muito importante o acompanhamento mais próximo do usuário ao longo do período inicial de utilização do DA, que pode ser chamado período de adaptação ou aclimatação.

É nessa etapa que é preciso lidar com as maiores expectativas do usuário, que muitas vezes não encontrará resultados muito satisfatórios num primeiro momento, seja pela falta de determinados ajustes no dispositivo ou de treinamento para o seu uso. Isso pode levar ao abandono do dispositivo e à desistência da continuidade do processo de desenvolvimento.

Phillips e Zhao (1993) e Verza et al. (2006), por exemplo, identificaram taxas mais elevadas de abandono no primeiro ano de uso dos DA's, seguidas por uma redução nos anos seguintes de uso, indicando assim a criticidade desse período inicial de adaptação.

Por isso, a importância da criação do DTP e da inserção do usuário desde o início do processo se fazem sentir de maneira mais evidente nesta etapa. Na medida em que o usuário se sente envolvido, como parte integrante e ativa do processo, maiores são as chances de se sentir motivado para superar as dificuldades iniciais da adaptação.

Os vínculos emocionais estabelecidos e fortalecidos desde o início com os membros do domínio da saúde, com o próprio produto e o processo de projeto, e também com o restante da equipe de projeto, desempenham um papel muito importante de estímulo e encorajamento à continuidade do processo de adaptação. Os representantes dos domínios mais próximos do usuário, como familiares e cuidadores, têm um papel vital nesse processo de estímulo.

No estudo de caso desenvolvido, feito em boa parte a distância, a presença mais próxima e os estímulos constantes dos profissionais da saúde, bem integrados aos propósitos do projeto e ao conhecimento do DA, se mostraram fundamentais para a superação desse primeiro período de adaptação. Por outro lado, nos testes realizados a distância com outros voluntários, conforme relatado na seção 3.2.4, em que não houve um envolvimento antecipado dos usuários no projeto, nem dos familiares e terapeutas ocupacionais que os acompanhavam, os resultados não foram satisfatórios, e os DA's, logo abandonados. Mesmo no caso daqueles que contavam com acompanhamento de profissionais da saúde. São fatores que evidenciam a importância da formação do DTP para o projeto.

O treinamento adequado do usuário e dos demais domínios de interesse (familiares e cuidadores, por exemplo) para o uso correto do DA é também essencial para a continuidade do processo.

Inclusive, a depender do tipo de DA desenvolvido e do público-alvo, a busca por meios alternativos e mais envolventes de treinamento pode ser interessante. Maneiro et al. (2019), por exemplo, apresentam um processo de treinamento com base em um jogo virtual para um DA desenvolvido para crianças.

4.3.3 Testes qualitativos e quantitativos

Para garantir a funcionalidade e a qualidade final do DA e a centralidade do usuário no processo de desenvolvimento, a realização de testes de avaliação do

dispositivo são fundamentais. Esses, por sua vez, deverão alimentar a segunda fase do processo (Espiral de concepção), com o refinamento e os ajustes necessários do projeto conceitual.

Nessa etapa, é fundamental “ouvir” o usuário, o principal interessado no dispositivo. Sem esse foco, as chances de abandono do DA serão grandes. As sugestões daqueles que partilham de uma convivência mais próxima, como familiares e cuidadores são também muito importantes, especialmente nos casos em que o usuário seja uma criança ou possua alguma limitação em sua capacidade de comunicação e expressão.

Uma primeira maneira de se atingir esse objetivo se dá pelas próprias reuniões com o usuário, por meio de entrevistas (estruturadas ou não) e questionários (por exemplo, o do ANEXO B). Também pelo acompanhamento do usuário durante o uso do DA.

No estudo de caso apresentado, o retorno dessas primeiras impressões, tanto oriundas do usuário como dos terapeutas ocupacionais, foi muito útil para ajustes essenciais no DA, levando ao aperfeiçoamento dos conceitos e, por conseguinte, também dos protótipos.

Além dessas possibilidades, a utilização de ferramentas validadas para a avaliação qualitativa da TA pela perspectiva do usuário é também bastante recomendável. Dentre algumas dessas ferramentas, podem ser citadas: COPM (LAW et al., 2014), MPT e ATD PA (SCHERER; CRADDOCK, 2002), QUEST (DEMERS; WEISS-LAMBROU; SKA, 2000), QUEST 2.0 (DEMERS.; WEISS-LAMBROU; SKA, 2002), PIADS (DEMERS et al., 2002). No caso da COPM, vale mencionar que, embora utilizada no contexto da TA, não é uma ferramenta específica apenas para essa aplicação.

Algumas dessas, inclusive, já foram traduzidas e validadas para a aplicação também no contexto brasileiro: COPM (LAW et al., 2009), QUEST 2.0 (CARVALHO; GOIS JÚNIOR; SÁ, 2014), MPT e ATD PA Br (ALVES, 2017; ALVES; MATSUKURA; SCHERER, 2017).

Galway et al. (2012) indicam também alguns métodos de extração de informações dos usuários no que diz respeito à avaliação da tecnologia. Essas informações buscam inferir o quanto a tecnologia desenvolvida foi capaz de atender aos requisitos do projeto, criando também possibilidades de melhoria. Os métodos indicados, divididos por categoria e por fase do projeto, podem ser vistos na Tabela 13.

Tabela 13 – Métodos de extração das informações para a avaliação da tecnologia

Conceito		Projeto	Teste	Implementação
Adequação ao propósito		Teste em laboratório Teste de usabilidade <i>Workshop</i> usuário/desenvolvedor	Teste Beta Grupo focal Entrevista Questionário	Grupo focal Entrevista Questionário
Usabilidade		Teste em laboratório Teste de usabilidade	Métodos <i>Think-Aloud</i> Teste de usabilidade	
Satisfação			Teste Beta Entrevista Questionário Métodos Think-Aloud	
Eficácia				
Valor percebido				
Utilidade				Entrevista Questionário

Fonte: Adaptado de Galway et al. (2012).

Outra ferramenta de avaliação qualitativa muito útil se trata dos testes do tipo *single-subject* (DEITZ, 2006; PORTNEY; WALKINS, 2015), uma vez que objetiva avaliar os efeitos de uma ou mais intervenções específicas, sob condições controladas, para um determinado indivíduo, sendo, por isso mesmo, especialmente adequada para pesquisas de terapia ocupacional. Neste caso, o usuário atua como seu próprio controle.

Como relatado na seção 3.2.3, os testes *single-subject* foram utilizados no estudo de caso em combinação com a ferramenta COPM para a avaliação do DA desenvolvido, trazendo resultados relevantes.

Embora seja muito útil para avaliar os resultados no âmbito específico de um determinado usuário e contexto de uso, é preciso, no entanto, destacar as limitações desse tipo de avaliação, uma vez que o usuário em análise pode ser antes uma exceção, que uma regra, no que diz respeito ao uso de determinado DA. Por isso é

recomendável ampliar os testes de desempenho e satisfação para um maior número de indivíduos se a produção do DA em maior escala for um objetivo do projeto.

Além disso, apesar dos testes autorreportados serem fundamentais para captar a percepção do usuário acerca da TA, estão muito sujeitos também a fatores externos e contextuais que podem influenciar na avaliação, tais como fatores físicos, sociais, culturais, etc. (LAW et al., 2009). O sentimento de gratidão pela equipe, por exemplo, pode levar a uma avaliação superestimada do DA. O inverso pode se dar no caso de uma grande expectativa inicial ou devido ao humor do usuário em determinado dia ou período. A influência da medicação, quando for o caso, também não pode ser desconsiderada. Por isso, é preciso conjugar esses testes com outros de caráter mais técnico e quantitativo, de modo a verificar com mais segurança a funcionalidade do dispositivo e o atendimento das necessidades terapêuticas.

De acordo com as características do DA e de sua aplicação, a realização de testes mecânicos de resistência, fadiga, impacto, entre outros, também é recomendada. A utilização de ferramentas CAE, como, por exemplo, o método dos elementos finitos, pode ser muito útil para as adequações necessárias ao projeto.

Existem ainda testes mais específicos, voltados para a avaliação de desempenho e/ou funcionalidade associados a determinados tipos de deficiência/limitação e determinados tipos de DA's.

Alguns exemplos desses testes identificados na RBS foram: teste de função manual Jebsen Taylor, utilizado por Portnova et al. (2018) e Lee et al. (2019); teste SHAP-C, adotado por Haring et al. (2018) para medir a funcionalidade da mão em práticas clínicas; ARMS, utilizado por Schwartz et al. (2019) para avaliar o histórico do desempenho do usuário na utilização de seus medicamentos; CHEQ, que se utiliza de uma escala de classificação em quatro categorias para avaliar a funcionalidade e as limitações de usuários que sejam crianças, adotado por Manero et al. (2019); APMC, que consiste numa escala de classificação de modelo Rasch usada para detectar a mudança esperada na habilidade de uma pessoa em utilizar objetos, também adotado por Manero et al. (2019).

Enfim, cabe à equipe de projeto identificar, na literatura específica acerca do tipo de DA em desenvolvimento, os testes qualitativos e quantitativos, preferencialmente validados, que poderão ser utilizados para aferição da funcionalidade e da eficácia do produto, bem como da experiência e da satisfação do usuário.

4.3.4 Entrega e acompanhamento

Se as características do DA e da impressora 3D utilizada permitirem a geração de um produto final, é preciso identificar o momento adequado para o encerramento do ciclo de refinamento dos protótipos e a passagem para a fabricação do produto. Caso esta não seja uma possibilidade, a MA será utilizada então para o aperfeiçoamento dos conceitos e protótipos até que a equipe julgue necessário, passando-se posteriormente à fabricação do produto final pelas estratégias de manufatura mais adequadas e convenientes.

Conforme os requisitos de projeto, são diversos os fatores que devem ser levados em consideração pela equipe de projeto para o encerramento dos ciclos de reprojeção e refinamento (fase 2) e a geração de uma versão final do DA para entrega. Em todo caso, o usuário final, que está no centro do processo, é sempre o critério mais fundamental para avaliar o momento adequado da conclusão desse processo cíclico, com a entrega de um produto final customizado/personalizado conforme suas preferências.

Os estudos de caso desenvolvidos pelo IMDT encontram-se ainda em fase de avaliação e refinamento, com vistas à geração de produtos finais que possam ser entregues aos usuários.

Além do acompanhamento a curto prazo, efetuado durante o processo de avaliação e refinamento dos conceitos e protótipos, é importante também realizar um acompanhamento a mais longo prazo, após a entrega definitiva do DA. Além de possibilitar a identificação de problemas e ajustes a serem feitos, oriundos do uso continuado por um prazo maior, e de prover o suporte para a manutenção do produto e a reposição de peças, esse acompanhamento serve ainda para a sustentação dos vínculos entre os integrantes do DTP, alimentando os estímulos e a motivação do usuário.

A criação de redes de compartilhamento do projeto ou a adoção do projeto *open-source* podem ser opções muito interessantes para essa fase do pós-projeto, uma vez que possibilitam o aperfeiçoamento continuado do DA pela colaboração de outros indivíduos (profissionais, especialistas ou entusiastas) e domínios de conhecimento e também a utilização do modelo desenvolvido em outros casos e para outros usuários, com as devidas adaptações se necessário.

A elaboração de patentes é também uma opção interessante. Possibilita, por exemplo, o estabelecimento de parcerias com empresas visando o aperfeiçoamento do produto e/ou sua comercialização.

Os três projetos desenvolvidos pelo IMDT, apresentados na seção 3.1, resultaram na geração de patentes (modelos de utilidade) vinculadas à USP.

4.4 SÍNTESE

A metodologia proposta (projet8-TA) consiste, desse modo, de três fases principais: (1) Domínio transversal de projeto; (2) Espiral de concepção; (3) Avaliação e refinamento.

A primeira fase – Domínio transversal de projeto – visa a criação do arcabouço fundamental de conhecimentos, habilidades e experiências para o desenvolvimento do projeto, a partir da integração de todos os domínios de interesse. É formada pelas seguintes etapas:

- a) Identificação dos domínios de projeto: identificação, segundo as características do DA a ser desenvolvido, dos domínios de conhecimento e experiência que deverão ser agregados ao DTP por meio de seus representantes, para além do(s) usuário(s);
- b) Integração dos domínios de projeto: adoção de estratégias para aproximação das diversas partes e domínios de conhecimento e experiência envolvidos no projeto; criação de uma linguagem, tanto quanto possível, comum para o DTP; alinhamento de objetivos, metas e visões de projeto;
- c) Estudo de anterioridades: estudo do estado da arte e da técnica (patentes e produtos comerciais) referentes ao DA a ser desenvolvido; levantamento das

experiências pregressas do usuário com a TA; análise das características da deficiência/limitação do usuário e do contexto em que este está inserido;

- d) Planejamento e cronograma: estabelecimento de um cronograma básico para o projeto e suas atividades, com algumas metas e prazos propostos, de modo a nortear o processo como um todo e a integrar e estimular as partes envolvidas.

A segunda fase – Espiral de concepção – é o núcleo mais criativo do processo, na qual são elaborados e aperfeiçoados, com o auxílio de ferramentas e técnicas de projeto, os conceitos e soluções sobre o DA e na qual são fabricados, via MA, os *mock-ups*, protótipos e produtos. Envolve as seguintes etapas:

- a) Definição dos requisitos de projeto: identificação e hierarquização dos requisitos do usuário, suas expectativas e desejos; definição dos parâmetros e restrições técnicos de projeto;
- b) Geração dos conceitos: compreensão mais adequada do problema e da demanda de projeto; geração e aperfeiçoamento dos conceitos e soluções para o DA, com o auxílio de ferramentas e técnicas de projeto e dos feedbacks obtidos pelas avaliações;
- c) Criação dos modelos virtuais: criação e aprimoramento de modelos virtuais (CAD) para o DA, a partir dos primeiros esboços e croquis e dos feedbacks obtidos pelas avaliações; realização de análises CAE; escaneamento 3D de objetos ou partes do corpo, quando for o caso;
- d) Seleção dos materiais e manufatura: análise e seleção dos materiais mais adequados; fabricação de *mock-ups* e protótipos via MA; calibração dos parâmetros do processo e da impressora 3D utilizada.

Por fim, a terceira fase – Avaliação e refinamento – tem por objetivo avaliar junto ao usuário e demais membros do DTP a satisfação em relação ao DA, bem como sua funcionalidade e eficácia, de maneira a realimentar a fase anterior em busca do aperfeiçoamento do projeto. É composta das seguintes etapas:

- a) Apresentação dos conceitos: apresentação dos conceitos e soluções propostos para o DA aos demais membros do DTP pelos diversos meios disponíveis (esboços, croquis, desenhos, *mock-ups*, protótipos, etc.);

- b) Período de adaptação: acompanhamento mais próximo do usuário durante o período crítico inicial de adaptação ao DA; treinamento do usuário e dos demais domínios de interesse para a utilização do DA;
- c) Testes qualitativos e quantitativos: identificação e seleção das ferramentas mais adequadas de avaliação; utilização, de maneira conjugada, de testes qualitativos e quantitativos para aferição da satisfação do usuário com o DA, bem como de sua funcionalidade e eficácia dos pontos de vista técnico e terapêutico;
- d) Entrega e acompanhamento: quando viável, entrega do produto final ao usuário; acompanhamento a longo prazo para identificação de ajustes necessários e para suporte à manutenção e à reposição de peças; aperfeiçoamento continuado pelo projeto *open-source*, quando for o caso; elaboração de patentes, a depender das circunstâncias.

A Figura 78 e a Figura 79 a seguir apresentam, respectivamente, um esquema sintético e um fluxograma da metodologia projet8-TA, com suas fases e respectivas etapas.

Figura 78 – Visão esquemática da metodologia projet8-TA (*AT-d8sign*)

Fonte: Autor (2019).

Figura 79 – Fluxograma de aplicação da metodologia projet8-TA (AT-d8esign)

Fonte: Autor (2020).

5 CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta uma metodologia de projeto, denominada projet8-TA, para o desenvolvimento de dispositivos assistivos com abordagem centrada no usuário e o auxílio da manufatura aditiva, no contexto da TA. É composta de três fases principais, com suas respectivas etapas: (1) Domínio transversal de projeto; (2) Espiral de concepção; (3) Avaliação e refinamento.

A metodologia foi proposta com base em três elementos: uma análise de três projetos de DA's desenvolvidos pelo grupo ao qual este trabalho se vincula; um estudo de caso em continuação a um desses projetos, no desenvolvimento de um DA de auxílio à alimentação; uma revisão bibliográfica sistemática sobre o cenário atual da metodologia de projeto, com o auxílio da MA, na área da TA.

O estabelecimento de métodos estruturados para o projeto de TA, com uma abordagem centrada no usuário e o auxílio das tecnologias 3D, pode contribuir de maneira significativa para a criação de produtos de mais qualidade, que realmente atendam as necessidades terapêuticas e também subjetivas dos usuários, reduzindo assim as possibilidades de abandono. É esta uma das principais contribuições da perspectiva da engenharia para o projeto nesta área.

Embora existam determinados modelos já bem consolidados para o desenvolvimento de produtos mais tradicionais de engenharia, estes, de um modo geral, não englobam as características mais específicas do projeto de TA, como a alta interdisciplinaridade e o envolvimento mais ativo do usuário desde as etapas iniciais do processo. Surge, assim, uma demanda para a adaptação de conceitos de metodologia de projeto dos modelos mais clássicos para as particularidades do projeto no contexto da TA, o que foi uma das finalidades deste trabalho.

Na RBS realizada sobre o cenário atual da metodologia de projeto no contexto da TA, embora tenham sido identificadas algumas metodologias mais recentes já melhor estruturadas, pôde-se notar uma grande lacuna no que diz respeito à utilização de ferramentas e técnicas de projeto no processo de desenvolvimento de DA's, o que foi também uma constatação empírica após mais de

5 anos de atuação com projeto nesta área. Por esse motivo, esta se configurou como uma das principais contribuições deste trabalho, uma vez que a utilização dessas ferramentas e técnicas contribui substancialmente para a compreensão do problema a ser solucionado e para a geração de ideias e soluções úteis e inovadoras.

O desenvolvimento de um estudo de caso no projeto de um DA de auxílio à alimentação, em continuidade ao trabalho apresentado em Santos (2015), possibilitou uma visão panorâmica de praticamente todo o processo de projeto no âmbito da TA, desde o surgimento da demanda até a geração de protótipos funcionais e a realização de testes com usuários, o que foi essencial para a elaboração da metodologia apresentada. O conhecimento e a experiência acumulados pelo grupo ao qual este trabalho se vincula, acessados a partir da análise dos demais projetos desenvolvidos na área, trouxeram também contribuições imprescindíveis.

Ao longo do desenvolvimento do trabalho, pôde-se constatar a necessidade fundamental da interdisciplinaridade para o projeto de TA. A fim de que seja bem sucedido, não basta que estejam reunidos os conhecimentos e representantes de diversas áreas. É preciso também que estejam devidamente integrados e alinhados em termos de linguagem, metas, objetivos e visões de projeto. Foi o que se propôs com a fase denominada domínio transversal de projeto. Daí também a escolha pela expressão projeto interdisciplinar ao invés de multidisciplinar, de modo a transmitir com mais clareza a importância dessa integração.

O envolvimento do usuário, desde as fases mais iniciais do projeto, se mostrou também essencial. Garante-se, desse modo, uma abordagem realmente centrada no indivíduo, em suas necessidades e desejos, a qual não seja guiada puramente pela tecnologia ou pelo mercado, mas que considere também a subjetividade do usuário, suas emoções e sua semiótica. As chances de abandono do DA são, assim, significativamente reduzidas. Além disso, esse envolvimento mais ativo leva à criação de vínculos emocionais e de confiança do usuário para com a equipe de projeto e o próprio produto, estimulando-o e predispondo-o ao uso e à realização dos testes de avaliação. Essa motivação se mostrou particularmente essencial no período crítico da adaptação inicial ao uso, em que os resultados

podem não ser tão relevantes num primeiro momento, seja pela falta de ajustes necessários ou de treino e familiaridade com o produto.

A avaliação do DA desenvolvido no estudo de caso junto à equipe de engenharia, aos terapeutas ocupacionais e ao usuário, pelos diversos meios utilizados – entrevistas, discussões, questionários, observações, testes com protótipos, entre outros – se mostrou indispensável para o aperfeiçoamento dos conceitos e soluções adotados para o dispositivo. O uso da MA, por meio das representações físicas (*mock-ups* e protótipos), foi vital para esse processo de avaliação e refinamento.

Os testes do tipo *single-subject* realizados pelos terapeutas ocupacionais com o usuário para avaliação de desempenho e satisfação em relação ao dispositivo trouxeram resultados relevantes, indicando uma melhoria significativa no que se refere a essas variáveis com o uso do DA desenvolvido. Essa ferramenta se mostrou útil para a avaliação dos resultados no âmbito específico de um determinado usuário e contexto de uso, sendo preciso, no entanto, destacar as limitações para a projeção desses resultados para outros usuários e circunstâncias de uso, ainda que com condições clínicas similares. Caso a produção em maior escala do dispositivo venha a ser um objetivo de projeto, a realização de testes com outras configurações e um maior número de usuários é recomendada.

Diferentemente dos testes do tipo *single-subject*, os testes com usuários voluntários a distância não se mostraram satisfatórios, com pouco ou nenhum retorno por parte dos envolvidos, que alegaram a não adaptação com o dispositivo ou dificuldades de manipulação para a interrupção do processo. Além da possível necessidade de ajustes técnicos ao DA, alguns outros fatores podem também estar associados a esses resultados: as dificuldades de comunicação, especialmente em projetos desenvolvidos a distância, quando não se tem uma equipe já consolidada e integrada ao projeto desde o início; ainda que alguns casos tenham contado com um acompanhamento mais próximo de terapeutas ocupacionais, a falta de um envolvimento e acompanhamento desde o início do projeto, bem como de um maior conhecimento técnico sobre o DA talvez tenham comprometido a continuidade dos testes; o não envolvimento inicial dos usuários com o projeto e, por conseguinte, a

ausência de vínculos pré-estabelecidos com a equipe e o produto pode ter contribuído também para a desistência, especialmente na fase crítica da adaptação inicial; por fim, a própria falta de uma abordagem mais personalizada em relação a cada usuário, levando em consideração seus contextos e condições clínicas específicas, pode também ter concorrido para esses resultados.

Outro aspecto relevante que se pôde perceber ao longo do trabalho foi a importância da incorporação na equipe de projeto de profissionais e especialistas com expertise na fabricação via MA, que possuam um bom conhecimento dos parâmetros e materiais do processo, bem como da máquina ser utilizada. Sem isso, são grandes as chances de desperdício de recursos e de tempo, além da obtenção de objetos de baixa qualidade. Estes fatores, por sua vez, podem inclusive comprometer a continuidade do projeto, por exemplo, pela desmotivação do usuário em razão da demora ou da baixa qualidade dos objetos fabricados. O planejamento do processo, com a seleção apropriada dos materiais, a correta calibração dos parâmetros de manufatura (preenchimento, orientação, folgas, etc.) e a busca por estratégias adequadas de fabricação que visem reduzir o desperdício de recursos e o tempo e a complexidade do pós-processamento, gerando produtos de mais qualidade, é também fundamental.

Como uma das limitações desse trabalho, pode-se mencionar a ausência de um estudo econômico mais aprofundado sobre os custos envolvidos no processo de fabricação de DA's por meio da MA. As limitações dos testes do tipo *single-subject*, bem como a ausência de testes com maiores amostragens também podem ser citadas. Por fim, a falta da avaliação do DA com mais de uma cavidade preenchida com água, pela impossibilidade da continuação dos testes do tipo *single-subject* em razão de problemas de saúde do usuário, também se configura como uma das limitações deste estudo.

Embora o modelo apresentado tenha sido elaborado a partir do desenvolvimento de DA's com o auxílio de impressoras *low-cost* do tipo FFF, nada impede que seja transposto, com as adaptações consideradas necessárias, para condições distintas de projeto na área da TA ou mesmo em outras áreas, com a utilização de métodos e máquinas de MA diversos ou mesmo de outros processos de fabricação.

Enfim, por meio do atendimento dos objetivos específicos, com a análise dos casos do grupo de pesquisa, a condução de um estudo de caso e a realização de uma RBS, pôde-se alcançar o objetivo fundamental deste trabalho, com a proposição de uma metodologia voltada para o projeto de DA's, com abordagem centrada no usuário e o auxílio da MA, no contexto da TA.

6 TRABALHOS FUTUROS

Como trabalhos futuros, espera-se poder ampliar os testes com o DA de auxílio à alimentação desenvolvido ao longo deste trabalho, tanto com um maior número de cavidades preenchidas e de usuários envolvidos, como também com a realização de testes de caráter mais técnico e experimental como, por exemplo, com o auxílio da eletromiografia, de modo a verificar a eficácia e a funcionalidade do produto junto a outros usuários, condições clínicas e circunstâncias de uso.

A aplicação da metodologia proposta a novos estudos de casos, com o desenvolvimento de diferentes tipos de DA e a utilização de outros métodos e máquinas de MA, é também um objetivo futuro, com a finalidade de avaliar e validar a aplicabilidade e a eficácia da metodologia em projetos com características, restrições e contextos diferentes daqueles com base nos quais foi concebida.

O aprimoramento da metodologia, a partir do retorno obtido com a aplicação em outros estudos de caso e com a incorporação de mais ferramentas e técnicas de projeto, como, por exemplo, o projeto axiomático ou a biomimética, é ainda uma proposta a ser efetuada. Da mesma maneira, uma descrição mais ampla e detalhada das atividades mais específicas de cada etapa.

7 PUBLICAÇÕES

SANTOS, A. V. F.; LICURSI, L. A.; AMARAL, M. F.; CAVALCANTI, A.; SILVEIRA, Z. C. User-centered design of a customized assistive device to support feeding. **Procedia CIRP**, v. 84, p. 743-748, 2019.

SANTOS, A. V. F.; SILVEIRA, Z. C. AT-d8sign: methodology to support development of assistive devices focused on user-centered design and 3D technologies. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, In press, 2020.

CAVALCANTI, A.; AMARAL, M. F.; SILVA E DUTRA, F. C. M.; SANTOS, A. V. F.; LICURSI, L. A.; SILVEIRA, Z. C. Adaptive eating device: performance and satisfaction of a person with Parkinson's Disease. **Canadian Journal of Occupational Therapy**, In press, 2020.

Há ainda mais uma publicação em elaboração.

REFERÊNCIAS³

3DAPPLICATIONS. **ABS**. 2019. Disponível em: <<https://www.3dapplications.com.br/materiais-filamentos-abs/>>. Acesso em: 01 dez. 2019.

_____. **PLA**. 2019. Disponível em: <<https://www.3dapplications.com.br/materiais-filamentos-pla/>>. Acesso em: 01 dez. 2019.

3DFILA. **Guia completo para filamento Flexível TPU**. 2019. Disponível em: <<https://3dfila.com.br/guia-completo-para-filamento-flexivel-tpu/>>. Acesso em: 01 dez. 2019.

_____. **Tudo que você precisa saber sobre Impressão com PLA**. 2019. Disponível em: <<https://3dfila.com.br/tudo-que-voce-precisa-saber-sobre-impressao-com-pla/>>. Acesso em: 01 dez. 2019.

AKAO, Y. **Quality function deployment: integrating customer requirements into product design**. Translated by Glen H. Mazur. Introduction by Bob King. Portland: Productivity Press, 1990. 361 p.

ALVES, A. C. J. **Avaliação de tecnologia assistiva predisposição ao uso: ATD PA Br: versão brasileira**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2017. 34 p.

ALVES, A. C. J.; MATSUKURA, T. S.; SCHERER, M. J. Cross-cultural adaptation of the assistive technology device – Predisposition assessment (ATD PA) for use in

³ De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 6023/2002).

Brazil (ATD PA Br). **Disability and rehabilitation: assistive technology**, v. 12, n. 2, p. 160-164, 2017.

AMERICAN OCCUPATIONAL THERAPY ASSOCIATION (AOTA). Occupational therapy practice framework: domain and process. 3rd ed. **Am J Occup Ther**, v. 68 (Supplement 1), p. S1-S48, 2014.

ASIMOW, M. **Introdução ao projeto**. Tradução de José Walderley Coêlho Dias. São Paulo: Mestre Jou, 1968. 171 p.

BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri: Manole, 2008. 601 p.

BARBALHO, S. C. M.; ROZENFELD, H. Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos mecatrônicos (MRM): Validação e resultados de uso. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 1, p. 162-179, 2013.

BARBOSA, I. M. **Equipamentos de autoajuda: projeto e validação de um protótipo funcional para sustentação e movimentação de membros superiores**. 2016. 191 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

BERGER, V. M. et al. 3D-Printing of Personalized Assistive Technology. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS HELPING PEOPLE WITH SPECIAL NEEDS, 16., 2018, Linz. **Proceedings...** Cham: Springer, 2018. p. 135-142.

BERSCH, R. **Introdução à tecnologia assistiva**. 2013. 20 p. Disponível em: <http://www.assistiva.com.br/Introducao_Tecnologia_Assistiva.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2017.

BIDDISS, E. A.; CHAU, T. T. Upper limb prosthesis use and abandonment: a survey of the last 25 years. **Prosthetics and orthotics international**, v. 31, n. 3, p. 236-257, 2007.

BIDDISS, E. A.; CHAU, T. T. Upper-limb prosthetics: critical factors in device abandonment. **American journal of physical medicine & rehabilitation**, v. 86, n. 12, p. 977-987, 2007.

BORDIGNON, Francesco. **Modelo de referência para o desenvolvimento de produtos cerâmicos considerando o ciclo de vida total do produto**. 2013. 175 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

BOURELL, D. et al. Materials for additive manufacturing. **CIRP Annals**, v. 66, n. 2, p. 659-681, 2017.

BRASIL. **Lei nº 8.080**, de 19 de setembro de 1990. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências. Brasília, 19 set. 1990. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8080.htm>. Acesso em: 31 ago. 2017.

_____. Ministério da Saúde. Conselho Nacional das Secretarias Municipais de Saúde. **O SUS de A a Z: garantindo saúde nos municípios**. 3. ed. Brasília: Editora do

Ministério da Saúde, 2009. Disponível em: <<http://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2013/agosto/28/sus-3edicao-completo-190911.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2017.

_____. Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. Comitê de Ajudas Técnicas. **Tecnologia Assistiva**. Brasília: CORDE, 2009. 138 p.

_____. Ministério da Saúde. **Carta dos direitos dos usuários da saúde**. 3. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2011. 28 p.

_____. Ministério da Saúde. **Portal da Saúde**. Saúde da Pessoa com Deficiência. Direitos no SUS. Criado em 11 mar. 2014. Disponível em: <<http://portalsaude.saude.gov.br/index.php/o-ministerio/principal/secretarias/sas/saude-da-pessoa-com-deficiencia>>. Acesso em: 31 ago. 2017.

_____. Congresso. Câmara dos Deputados. Comissão Parlamentar de Inquérito (CPI) – Máfia das Órteses e Próteses no Brasil. **Relatório Final**. Brasília, 08 jul. 2015. Disponível em: <http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1358682&filename=REL+1/2015+CPIORTES+%3D%3E+RCP+7/2015>. Acesso em: 01 set. 2017.

_____. Congresso. Senado Federal. **Projeto de Lei nº 17, de 2015**. Define normas de regulação para o mercado de órteses, próteses e materiais especiais. Brasília, DF. 2015. Disponível em: <<http://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=2923047&disposition=inline>>. Acesso em: 10 mai. 2017.

BUEHLER, E.; HURST, A.; HOFMANN, M. Coming to grips: 3D printing for accessibility. In: International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility, 16., 2014, Rochester, New York, USA. **Proceedings...** New York: ACM, 2014. p. 291-292.

BUURMAN, R. D. User-centred design of smart products. **Ergonomics**, v. 40, n. 10, p. 1159-1169, 1997.

CARVALHO, C. E. B.; OKUMURA, M. L. M.; CANGIOLIERI JUNIOR, O. A engenharia simultânea aplicada ao processo de desenvolvimento de produtos especiais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXX, 2010, São Carlos, São Paulo. **Anais...** Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_sto_117_767_17456.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2019.

CARVALHO, K. E. C.; GOIS JÚNIOR, M. B.; SÁ, K. N. Tradução e validação do Quebec user evaluation of satisfaction with assistive technology (QUEST 2.0) para o idioma português do Brasil. **Revista brasileira de reumatologia**, v. 54, n. 4, p. 260-267, 2014.

CASSIM, J.; DONG, H. Interdisciplinary engagement with inclusive design – The Challenge Workshops model. **Applied ergonomics**, v. 46, p. 292-296, 2015.

CAVALCANTI, A. et al. Adaptive eating device: performance and satisfaction of a person with Parkinson's Disease. **Canadian Journal of Occupational Therapy**, In press, 2020.

CHAVARRIAGA, R. et al. Multidisciplinary design of suitable assistive technologies for motor disabilities in Colombia. In: IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), 2014. **Proceedings...** IEEE, 2014. p. 386-391.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). **Mapeamento de competências em Tecnologia Assistiva**. Relatório Final. Brasília: CGEE, 2012.

CLAUSING, D. **Total quality development**: a step-by-step guide to world-class concurrent engineering. New York: ASME Press, 1994. 506 p.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 8, 2011, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. **Anais...** Porto Alegre, 2011.

COOK, A. M.; POLGAR, J. M. **Assistive Technologies**: Principles and Practice. 3rd ed. Maryland Heights: Mosby, 2008. 592 p.

COTON, J. et al. Design for Disability: integration of human factor for the design of an electro-mechanical drum stick system. **Procedia CIRP**, v. 21, p. 111-116, 2014.

DA SILVA, L. A.; MEDOLA, F. O.; RODRIGUES, O. V.; RODRIGUES, A. C. T.; SANDNES, F. E. Interdisciplinary-based development of user-friendly customized 3D printed upper limb prosthesis. In: AHFE 2018 INTERNATIONAL CONFERENCES ON USABILITY & USER EXPERIENCE AND HUMAN FACTORS AND ASSISTIVE TECHNOLOGY, 2018, Orlando, Florida. **Proceedings...** Cham: Springer, 2018. p. 899-908.

DAY, S. J.; RILEY, S. P. Utilising three-dimensional printing techniques when providing unique assistive devices: a case report. **Prosthetics and orthotics international**, v. 42, n. 1, p. 45-49, 2018.

DE COUVREUR, L.; GOOSSENS, R. Design for (every) one: co-creation as a bridge between universal design and rehabilitation engineering. **CoDesign**, v. 7, n. 2, p. 107-121, 2011.

DEITZ, J. C. Single-subject research. In: KIELHOFNER, G. **Research in occupational therapy: methods of inquiry for enhancing practice**. Philadelphia: F. A. Davis Company, 2006. cap. 11, p. 140-154.

DEMERS, L.; WEISS-LAMBROU, R.; SKA, B. Item analysis of the Quebec user evaluation of satisfaction with assistive technology (QUEST). **Assistive Technology**, v. 12, n. 2, p. 96-105, 2000.

DEMERS, L.; WEISS-LAMBROU, R.; SKA, B. The Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology (QUEST 2.0): an overview and recent progress. **Technology and Disability**, v. 14, n. 3, p. 101-105, 2002.

DEMERS, L. et al. The Psychosocial Impact of Assistive Devices Scale (PIADS): translation and preliminary psychometric evaluation of a Canadian–French version. **Quality of life research**, v. 11, n. 6, p. 583-592, 2002.

DEMIRBILEK, O.; DEMIRKAN, H. Universal product design involving elderly users: a participatory design model. **Applied ergonomics**, v. 35, n. 4, p. 361-370, 2004.

EESC. Assessoria de comunicação da EESC. Parceria entre UFTM e EESC desenvolve colher adaptada para pessoas com dificuldades motoras. **Portal EESC**. São Carlos, 29 mai. 2017. Disponível em: <http://www.eesc.usp.br/portaleesc/index.php?option=com_content&view=article&id=3707&catid=2&Itemid=164>. Acesso em: 05 out. 2019.

FRISONI, B. C. **Ergodesign, metodologia ergonômica, “designing” para o uso humano**. 2000. 340 f. Dissertação (Mestrado em Design) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

G1. Protótipo de colher feito por pesquisadores da UFTM e USP ajuda pessoas com dificuldades motoras. **Portal G1**. Triângulo e Alto Paranaíba. MGTV. Uberaba, 16 mai. 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/minas-gerais/triangulo-mineiro/noticia/prototipo-de-colher-feito-por-pesquisadores-da-uftm-e-usp-ajuda-pessoas-com-dificuldades-motoras.ghtml>>. Acesso em: 03 out. 2019.

GALWAY, L. et al. Stakeholder involvement guidelines to improve the design process of assistive technology. **Impact Analysis of Solutions for Chronic Disease Prevention and Management**. Springer, 2012. p. 206-209.

GHERARDINI, F. et al. A co-design method for the additive manufacturing of customised assistive devices for hand pathologies. **Journal of Integrated Design and Process Science**, vol. 22, n. 1, p. 21-37, 2018.

GIBSON, I.; ROSEN, D.; STUCKER, B. **Additive manufacturing technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping and Direct Digital Manufacturing**. 2nd ed. Springer, 2015. 498 p.

GORDES, K. L.; WALLER, S. M. Novel partnerships for interprofessional education: A pilot education program in 3D technologies for human centered computing students and physical therapy students. **Journal of Interprofessional Education & Practice**, v. 15, p. 15-18, 2019.

HARING, E. et al. The development of an adaptive device for children with a hand impairment. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION, 20th, 2018, Florence. **Proceedings...** Cham: Springer, 2018. p. 612-621.

HARRIS, N. The design and development of assistive technology. **IEEE Potentials**, v. 36, n. 1, p. 24-28, 2017.

HEWER, R. L.; COOPER, R.; MORGAN, M. H. An investigation into the value of treating intention tremor by weighting the affected limb. **Brain**, v. 95, n. 3, p. 579-590, 1972.

HOEHN, M. M.; YAHR, M. D. Parkinsonism: onset, progression and mortality. **Neurology**, v. 17, n. 5, p. 427-442, 1967.

HOFMANN, M. Helping hands: Requirements for a prototyping methodology for upper-limb prosthetics users. In: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2016, San Jose, California, USA. **Proceedings...** New York: ACM, 2016. p. 1769-1780.

HÖMBERG, V. et al. Differential effects of changes in mechanical limb properties on physiological and pathological tremor. **Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry**, v. 50, n. 5, p. 568-579, 1987.

HU, S. J. Evolving paradigms of manufacturing: from mass production to mass customization and personalization. **Procedia CIRP**, v. 7, p. 3-8, 2013.

IDOGAVA et al. Multidisciplinary design: development of conceptual solution and mock-up of an assistive device. In: SIMPÓSIO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, 4., 2019, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Projeção da população do Brasil por sexo e idade 1980-2050**. Revisão 2008. Rio de Janeiro: 2008. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv41229.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2017.

INTEPROFESSIONAL EDUCATION COLLABORATIVE (IPEC). **Core competencies for interprofessional collaborative practice**: 2016 update. Washington, DC: Interprofessional Education Collaborative, 2016. Disponível em: <https://optometriceducation.org/wp-content/uploads/2017/01/IPEC-2016-Updated-Core-Competencies-Report__final_release_.pdf>. Acesso em: 20 set. 2019.

JOHNSTON, P. et al. Getting it “right”: how collaborative relationships between people with disabilities and professionals can lead to the acquisition of needed assistive technology. **Disability and Rehabilitation: Assistive Technology**, v. 9, n. 5, p. 421-431, 2014.

KANEKO, P. M. **Desenvolvimento de solução construtiva e *mock-up* de uma órtese infantil de mão e punho para auxílio em atividades diárias**. 89 p. Qualificação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

KUJALA, S. User involvement: a review of the benefits and challenges. **Behaviour & information technology**, v. 22, n. 1, p. 1-16, 2003.

LAW, M.; CARDOSO, A. A.; MAGALHÃES, L. V.; MAGALHÃES, L. C. **Medida canadense de desempenho ocupacional (COPM)**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009.

LAW, M.; BAPTISTE, S.; CARSWELL, A.; McCOLL, M. A.; POLATAJKO, H.; POLLOCK, N. **Canadian occupational performance measure manual**. 5th ed. Canada: CAOT Publications ACE, 2014. 56 p.

LEE, K. H. et al. Personalized assistive device manufactured by 3D modelling and printing techniques. **Disability and Rehabilitation: Assistive Technology**, v. 14, n. 5, p. 526-531, 2019.

LINDNER, H. Y. N.; LINACRE, J. M.; HERMANSSON, L. M. N. Assessment of capacity for myoelectric control: evaluation of construct and rating scale. **Journal of rehabilitation medicine**, v. 41, n. 6, p. 467-474, 2009.

LINDNER, H. Y. N.; ELIASSON, A. C.; HERMANSSON, L. M. N. Influence of standardized activities on validity of Assessment of Capacity for Myoelectric Control. **Journal of Rehabilitation Research & Development**, v. 50, n. 10, 2013.

LOUREIRO, I. M. **Projeto e desenvolvimento do protótipo funcional de um prato de alimentação adaptado para pessoas com distúrbios neuromotores e tremor essencial**. 2019. 102 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Materiais

e Manufatura) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

LUNSFORD, C. et al. Innovations with 3-Dimensional printing in physical medicine and rehabilitation: a review of the literature. **PM&R**, v. 8, n. 12, p. 1201-1212, 2016.

MA, H. et al. Handle size as a task constraint in spoon-use movement in patients with Parkinson's disease. **Clinical rehabilitation**, v. 22, n. 6, p. 520-528, 2008.

MA, H. et al. The effect of eating utensil weight on functional arm movement in people with Parkinson's disease: a controlled clinical trial. **Clinical rehabilitation**, v. 23, n. 12, p. 1086-1092, 2009.

MAIA, F. N.; FREITAS, S. F. Proposta de um fluxograma para o processo de desenvolvimento de produtos de Tecnologia Assistiva. **Cadernos de Terapia Ocupacional da UFSCar**, v. 22, n. 3, 2014.

MALLIN, S. S. V.; CARVALHO, H. G. Assistive technology and user-centered design: emotion as element for innovation. **Procedia Manufacturing**, v. 3, p. 5570-5578, 2015.

MANERO, A. et al. Implementation of 3D printing technology in the field of prosthetics: past, present, and future. **International journal of environmental research and public health**, v. 16, n. 9, p. 1641, 2019.

MANZINI, E. J.; SANTOS, M. C. F. Brasil. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Especial. Portal de ajudas técnicas: equipamento e material pedagógico especial para educação, capacitação e recreação da pessoa com deficiência física. **Recursos pedagógicos adaptados**. Brasília, 2002. Disponível em: <

http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/rec_adaptados.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2019.

MATTAZIO, R. R. **Relatório de conclusão de convênio acadêmico**. São Carlos: Modelworks LTDA, 2019. 4 p. Relatório técnico apresentado após a conclusão do convênio acadêmico celebrado entre a Universidade de São Paulo e a Modelworks LTDA.

MCDONALD, S. S. et al. Effectiveness of adaptive silverware on range of motion of the hand. **PeerJ**, v. 4, p. e1667, 2016.

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **Disruptive technologies**: advances that will transform life, business, and the global economy. 2013. 162 p. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/McKinsey%20Digital/Our%20Insights/Disruptive%20technologies/MGI_Disruptive_technologies_Full_report_May2013.ashx>. Acesso em: 21 nov. 2017.

MEDOLA, F. O. et al. A new design for an old concept of wheelchair pushrim. **Disability and Rehabilitation: Assistive Technology**, v. 7, n. 3, p. 234-241, 2012.

MESHACK, R. P.; NORMAN, K. E. A randomized controlled trial of the effects of weights on amplitude and frequency of postural hand tremor in people with Parkinson's disease. **Clinical rehabilitation**, v. 16, n. 5, p. 481-492, 2002.

MIHAILIDIS, A.; POLGAR, J. M. Occupational therapy and engineering: Being better together. **Canadian Journal of Occupational Therapy**, v. 83, n. 2, p. 68-69, 2016.

MORGAN, M. H.; HEWER, R. L.; COOPER, R. Application of an objective method of assessing intention tremor-a further study on the use of weights to reduce intention tremor. **Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry**, v. 38, n. 3, p. 259-264, 1975.

NGO, T. D. et al. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. **Composites Part B: Engineering**, v. 143, p. 172-196, 2018.

OKUMURA, M. L. M.; CANGIOLIERI JÚNIOR, O. Design for assistive technology: a preliminary study. In: CURRAN, R.; WOGNUM, N.; BORSATO, M.; STJEPANDIĆ, J.; VERHAGEN, W. J. C. (Ed.). **Transdisciplinary Lifecycle Analysis of Systems**. [S.l.]: IOS Press, 2015. p. 122-133. (Advances in Transdisciplinary Engineering, 2).

OLIVEIRA, L. M. B. Secretaria de Direitos Humanos da Presidência da República (SDH/PR). Secretaria Nacional de Promoção de Direitos da Pessoa com Deficiência (SNPD). Coordenação-Geral do Sistema de Informações sobre a Pessoa com Deficiência. **Cartilha do Censo 2010 – Pessoas com Deficiência**. Brasília: SDH-PR/SNPD, 2012. 32 p. Disponível em: <<http://www.pessoacomdeficiencia.gov.br/app/sites/default/files/publicacoes/cartilha-censo-2010-pessoas-com-deficiencia-reduzido.pdf>>. Acesso em: 09 mai. 2017.

OSTUZZI, F. et al. + TUO project: low cost 3D printers as helpful tool for small communities with rheumatic diseases. **Rapid Prototyping Journal**, v. 21, n. 5, p. 491-505, 2015.

PACHELLI, B. L. **Análise do desempenho ocupacional de pessoa com doença de Parkinson na tarefa de alimentação: colher convencional X colher adaptada**. 2014. 19 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Terapia Ocupacional)

– Departamento de Terapia Ocupacional, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2014.

PAHL, G. et al. **Engineering design**: a systematic approach. 3rd ed. Translation by Gerhard Pahl et al. London: Springer, 2007.

PAPE, T. L.; KIM, J.; WEINER, B. The shaping of individual meanings assigned to assistive technology: a review of personal factors. **Disability and rehabilitation**, v. 24, n. 1-3, p. 5-20, 2002.

PHILLIPS, B.; ZHAO, H. Predictors of assistive technology abandonment. **Assistive technology**, v. 5, n. 1, p. 36-45, 1993.

PLOS, O. et al. A universalist strategy for the design of assistive technology. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 42, n. 6, p. 533-541, 2012.

PORTNEY, L. G.; WATKINS, M. P. Single-subject designs. In:_____. **Foundations of clinical research**: applications to practice. 3rd. ed. Philadelphia: F. A. Davis Company, 2015. chap.12, p. 235- 275.

PORTNOVA, A. A. et al. Design of a 3D-printed, open-source wrist-driven orthosis for individuals with spinal cord injury. **PloS one**, v. 13, n. 2, p. e0193106, 2018.

POSTEMA, K. et al. Prosthesis rejection in children with a unilateral congenital arm defect. **Clinical rehabilitation**, v. 13, n. 3, p. 243-249, 1999.

POULSON, D.; RICHARDSON, S. USERfit—a framework for user centred design in assistive technology. **Technology and Disability**, v. 9, n. 3, p. 163-171, 1998.

RIEMER-REISS, M. L.; WACKER, R. R. Factors associated with assistive technology discontinuance among individuals with disabilities. **Journal of Rehabilitation**, v. 66, n. 3, 2000.

ROCHA, A. M. et al. Um método de análise de requisitos para o desenvolvimento de produtos de tecnologia assistiva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DA INOVAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS, 10., 2015, Itajubá, Minas Gerais. **Anais...** Itajubá, 2015.

RODRIGUES, A. R.; SOUZA, A. F.; BRANDÃO, L. C.; SILVEIRA, Z. C.; BRAGHINI JÚNIOR, A. **Desenho técnico mecânico: projeto e fabricação no desenvolvimento de produtos industriais**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. 473 p.

ROMEIRO FILHO, E.; FERREIRA, C. V.; MIGUEL, P. A. C.; GOUVINHAS, R. P.; NAVEIRO, R. M. **Projeto do produto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. 408 p.

ROSA, J. G. **Grande Sertão: Veredas**. Rio de Janeiro: Nova Aguilar, 1994.

ROZENFELD, H. **Gestão do desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria de processos**. São Paulo: Saraiva, 2006. 542 p.

SANDERS, E. B. N.; STAPPERS, P. J. Co-creation and the new landscapes of design. **Co-design**, v. 4, n. 1, p. 5-18, 2008.

SANTOS, A. V. F. **Estudo da melhoria de um utensílio de auxílio à alimentação para portadores da Doença de Parkinson com base na integração das metodologias QFD e TRIZ.** 2015. 173 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

SANTOS, M. A. **Desenvolvimento de dispositivo assistivo: higiene oral na paralisia cerebral.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Materiais e Manufatura) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

SCHERER, M. J.; CRADDOCK, G. Matching person & technology (MPT) assessment process. **Technology and Disability**, v. 14, n. 3, p. 125-131, 2002.

SCHWARTZ, J. K. et al. Methodology and feasibility of a 3D printed assistive technology intervention. **Disability and Rehabilitation: Assistive Technology**, 2019. doi:10.1080/17483107.2018.1539877

SILVA, G. C. **Modelo de referencia para o processo de desenvolvimento do produto automotivo e diretrizes para seleção de protótipos virtuais e físicos.** 2013. 222 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SKÖLD, A. et al. Development and evidence of validity for the Children's Hand-use Experience Questionnaire (CHEQ). **Developmental Medicine & Child Neurology**, v. 53, n. 5, p. 436-442, 2011.

SOUZA, A. C. A. **Avaliação dos dispositivos destinados ao uso de sustentação e movimentação de membros superiores e proposta da melhoria do projeto**

baseada na integração QFD e Análise Funcional. 2016. 178 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação Interunidades em Bioengenharia – EESC/FMRP/IQSC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

THOMNN, G.; MORAIS, F.; WERBA, C. How to teach interdisciplinary: case study for Product Design in Assistive Technology. In: EYNARD, B.; NIGRELLI V.; OLIVERI S. M.; PERIS-FAJARNES, G.; RIZZUTI, S. (Eds.). **Advances on mechanics, design engineering and manufacturing.** Cham: Springer, 2017. p. 931-939.

UFTM. Pesquisadores da UFTM e EESC-USP desenvolvem protótipo de talher para pessoas com dificuldades motoras. **Portal UFTM.** Últimas notícias. Pesquisa. Uberaba, 16 mai. 2017. Disponível em: <<http://fmtm.br/ultimas-noticias/554-pesquisadores-da-uftm-e-eesc-usp-desenvolvem-prototipo-de-talher-para-pessoas-com-dificuldades-motoras>>. Acesso em: 01 out. 2019.

ULLMAN, D. G. **The mechanical design process.** 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2010.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product design and development.** 6th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2015.

USA. 105th Congress. **Public Law 105-394.** Nov. 13, 1998. Disponível em: <<https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/PLAW-105publ394/pdf/PLAW-105publ394.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2017.

USA. 108th Congress. **Public Law 108-364.** Oct. 25, 2004. Disponível em: <<https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/STATUTE-118/pdf/STATUTE-118-Pg1707.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2017.

USP. Colher para pessoas com dificuldades motoras será feita no Brasil. **Jornal da USP**, São Paulo, 05 jun. 2017. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-da-saude/colher-para-pessoas-com-dificuldades-motoras-sera-feita-no-brasil/>>. Acesso em: 10 out. 2019.

VAN ROON, D.; STEENBERGEN, B. The use of ergonomic spoons by people with cerebral palsy: effects on food spilling and movement kinematics. **Developmental medicine and child neurology**, v. 48, n. 11, p. 888-891, 2006.

VERZA, R. et al. An interdisciplinary approach to evaluating the need for assistive technology reduces equipment abandonment. **Multiple Sclerosis Journal**, v. 12, n. 1, p. 88-93, 2006.

VOLPATO, N. (organizador); MUNHOZ, A. J.; COSTA, C. A.; AHRENS, C. H.; CARVALHO, J. C.; SANTOS, J. R. L.; SILVA, J. V. L.; FOGGIATTO, J. A.; LIMA, M. S. F. **Manufatura Aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: Blucher, 2017. 400 p.

WANG, C. H.; CHOU, S. Y. A systematical multi-professional collaboration approach via MEC and morphological analysis for product concept development. In: **Complex Systems Concurrent Engineering**. London: Springer, 2007. p. 275-282.

WESSELS, R. et al. Non-use of provided assistive technology devices, a literature overview. **Technology and disability**, v. 15, n. 4, p. 231-238, 2003.

WOHLERS, T. (Coord.). **Wohlers Report 2015: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry**. Fort Collins: Wohlers Associates, 2015. 314 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **World report on disability**. 2011. 24 p. Disponível em: < http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/report/en/>. Acesso em: 09 mai. 2017.

WU, F. G.; MA, M. Y.; CHANG, R. H. A new user-centered design approach: a hair washing assistive device design for users with shoulder mobility restriction. **Applied Ergonomics**, v. 40, n. 5, p. 878-886, 2009.

YUSIF, S.; SOAR, J.; HAFEEZ-BAIG, A. Older people, assistive technologies, and the barriers to adoption: A systematic review. **International journal of medical informatics**, v. 94, p. 112-116, 2016.

APÊNDICE A

UTENSÍLIO DE ALIMENTAÇÃO – MANUAL DE USO

O utensílio de alimentação é composto pelas seguintes peças: (1) cabo, no qual são acopladas as demais peças; (2) talher, para a alimentação; (3) tampa frontal, para o encaixe do talher junto ao cabo; (4) tampa traseira, para a vedação das cavidades internas do cabo e encaixe da cobertura ergonômica; (5) cobertura ergonômica, para maior conforto durante o uso; (6) correia, para melhor fixação à mão do usuário. Para a limpeza, use água e detergente.

✓ Preenchimento da(s) cavidade(s) e encaixe da tampa traseira

As cavidades são preenchidas com água, com o cabo na posição vertical. São cinco configurações possíveis de utilização: todas as cavidades vazias; 1, 2, 3 ou 4 cavidades cheias.

Inicie o uso da colher com as cavidades vazias. Use a colher por duas semanas e se perceber que está leve preencha com água uma cavidade apenas. Experimente por duas semanas e se continuar percebendo que ainda está leve preencha mais uma cavidade, novamente experimente por duas semanas e assim proceda para os demais preenchimentos. Atenção: não é obrigatório o preenchimento das cavidades.

Sempre preencha completamente cada cavidade. Após a utilização, esvazie completamente o cabo.

Para encaixar a tampa traseira, apoie o polegar da outra mão na tampa dianteira, alinhe as duas “cruzes” (na tampa e no cabo) e pressione até sentir que está bem presa.

✓ **Colocação da correia**

O uso da correia também é opcional, conforme sua necessidade. É recomendado seu uso se você tem uma dificuldade maior em agarrar e manter rotineiramente um talher seguro na mão. A correia deve ser colocada na cobertura ergonômica com o auxílio dos dois suportes em suas extremidades. Regule o aperto até que fique bem ajustada à sua mão. Se necessário, solicite ajuda de outra pessoa.

ORIENTAÇÕES GERAIS PARA A PESQUISA

- 1)** Este utensílio é um protótipo experimental. Assim, ele poderá quebrar se for utilizado de maneira inapropriada, como, por exemplo, uso com força excessiva, sofrer queda ou ser utilizado para outros fins que não a alimentação.
- 2)** Não há restrição para seu uso em qualquer tipo de alimento. Use o protótipo como se fosse o talher que você utiliza no seu dia a dia. Não troque sua rotina e não mude seus hábitos alimentares.
- 3)** Inicie a pesquisa com o registro das informações sobre o desempenho com o talher convencional utilizado no dia a dia na tabela específica enviada em anexo (Tabela A). Faça esse acompanhamento por 2 semanas, até preenchê-la completamente.
- 4)** Após essa etapa, inicie a utilização do protótipo, na seguinte ordem: sem água, 1 cavidade preenchida, 2 cavidades, 3 cavidades e 4 cavidades. Cada configuração deve ser utilizada por 2 semanas, sequencialmente, com registro de cada uma delas na tabela específica (Tabelas de 0 a 4).

- 5)** Não é preciso necessariamente testar com todas as configurações possíveis. Apenas a primeira delas – sem água – é obrigatória. As demais serão analisadas segundo sua demanda, até que encontre a configuração que melhor se adapte às suas necessidades, como descrito no item anterior.
- 6)** A partir do momento que iniciar o uso do protótipo, é necessário que você só se alimente usando ele, para que possa nos dar com maior precisão as respostas das tabelas de acompanhamento.

APÊNDICE B

TABELA DE ACOMPANHAMENTO				
Configuração de Preenchimento das Cavidades com Água				
Sem água ☐	1 cavidade ☐	2 cavidades ☐	3 cavidades ☐	4 cavidades ☐

Dia	Nº de colheradas no almoço ou jantar	Desempenho no uso da colher (nota de 1 a 10)*	Satisfação no uso da colher (nota de 1 a 10)**
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			

* Em que 10 é “se alimenta com a colher extremamente bem” e 1 “incapaz de se alimentar usando a colher”.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
 Incapaz de usar -----Capaz de usar extremamente bem

** Em que 10 é “muito satisfeito com a forma que usou a colher” e 1 “nada satisfeito com a forma que usou a colher”.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
 Nada satisfeito -----Extremamente satisfeito

TABELA DE ACOMPANHAMENTO

Talher convencional

Dia	Nº de colheradas no almoço ou jantar	Desempenho no uso da colher (nota de 1 a 10)*	Satisfação no uso da colher (nota de 1 a 10)**
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			

*** Em que 10 é “se alimenta com a colher extremamente bem” e 1 “incapaz de se alimentar usando a colher”.**

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Incapaz de usar -----Capaz de usar extremamente bem

**** Em que 10 é “muito satisfeito com a forma que usou a colher” e 1 “nada satisfeito com a forma que usou a colher”.**

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Nada satisfeito -----Extremamente satisfeito

APÊNDICE C

Neste apêndice estão relacionadas as *strings* de busca utilizadas em cada base de dados para a realização da RBS. É preciso levar em consideração as particularidades das ferramentas de busca de cada uma delas, o que deu origem às pequenas alterações e adequações entre elas, mantidas as mesmas palavras-chave.

a) PubMed

((design OR development OR user-centered OR user-centred OR UCD OR personalized OR customized OR participatory OR co-design OR inclusive OR universal OR design for OR user experience OR UX)) AND (additive manufacturing OR 3D printing OR three-dimensional printing OR rapid prototyping)) AND (assistive technology OR assistive device)

b) Scopus

TITLE-ABS-KEY(design OR development OR “user-centered” OR “user-centred” OR UCD OR personalized OR customized OR participatory OR inclusive OR universal OR “design for” OR “co-design” OR “user experience” OR UX AND “additive manufacturing” OR “3D print*” OR “three-dimensional print*” OR “rapid prototyping” AND “assistive technology” OR “assistive device*”)

c) ScienceDirect⁴

design OR development OR “user-centered” OR “user-centred” OR UCD OR personalized OR customized OR participatory OR inclusive OR universal OR “design for” OR “co-design” OR “user experience” OR UX AND “additive manufacturing” OR

⁴ Em meados de 2018, a ScienceDirect alterou seus mecanismos de busca, removendo o campo de busca avançada em que foi utilizada a *string* aqui apresentada. Esta, atualmente, não pode mais ser aplicada na ferramenta de busca nesses moldes.

“3D printing” OR “three-dimensional printing” OR “rapid prototyping” AND “assistive technology” OR “assistive device”

d) Web of Science:

TS=((design OR development OR “user-centered” OR “user-centred” OR UCD OR personalized OR customized OR participatory OR inclusive OR universal OR “design for” OR “co-design” OR “user experience” OR UX) AND (“additive manufacturing” OR “3D print*” OR “three-dimensional print*” OR “rapid prototyping”) AND (“assistive technology” OR “assistive device*”))

APÊNDICE D

A seguir, são analisadas, em ordem cronológica e de maneira sintética, cada uma das referências selecionadas na RBS, conforme apresentado na seção 3.3.2.3.3:

1) Poulson e Richardson (1998)

Os autores apresentam uma metodologia de projeto centrada no usuário, denominada *USERfit*, que visa proporcionar um *framework* de projeto e ferramentas de suporte para o desenvolvimento de produtos no âmbito da TA e também garantir que as demandas do usuário sejam devidamente consideradas ao longo do processo. Para isso, busca definir os papéis do usuário tanto no processo de desenvolvimento como de avaliação do produto, incorporando princípios de envolvimento do usuário e de usabilidade.

Além de ter por objetivo facilitar o processo de comunicação no contexto do projeto, um dos pontos principais do método é o foco em garantir que cada decisão ou consideração efetuada ao longo do processo, tanto na parte técnica como no que diz respeito ao usuário, seja tornada explícita e seja fundamentada. O entendimento do produto dentro de seu contexto operacional mais abrangente, do ponto de vista técnico e social, é também uma característica fundamental da metodologia.

É composta de quatro fases: (1) Definição do problema; (2) Especificação funcional; (3) Construção; (4) Testes. E de oito elementos principais, os quais podem ser vistos na Figura 80. As descrições de cada um desses elementos são apresentadas na Tabela 14.

Os elementos não precisam necessariamente ser aplicados apenas em um momento ao longo do processo, podendo ser utilizados de maneira flexível em etapas distintas do desenvolvimento. Para cada uma das fases, a metodologia sugere também um conjunto de técnicas e ferramentas a serem aplicadas, como, por exemplo, *brainstorming*, análise de atividades, técnicas de entrevista e avaliações dos usuários.

Apesar de existir apenas uma breve menção à utilização da prototipagem rápida (MA) no contexto da TA, em vista dos critérios de inclusão da RBS, ainda assim o estudo foi selecionado pelo estudo metodológico muito pertinente ao desenvolvimento em TA.

Figura 80 – Componentes da metodologia *USERfit*

Fonte: Adaptado de Pulson e Richardson (1998).

Como aspecto de destaque da metodologia, pode-se mencionar o fato de ser uma das primeiras identificadas que se propôs a estruturar o processo de projeto no âmbito da TA, reconhecendo a importância dessa sistematização para a geração de produtos de qualidade. Vale mencionar também a sugestão de ferramentas e técnicas específicas para as diversas fases do processo e a flexibilidade na

aplicação dos princípios elementares, sem que estejam rigidamente associados a uma fase apenas.

O carácter mais teórico, sem um estudo de caso para acompanhamento e validação da metodologia, se configura como uma das limitações do estudo. Também o pouco detalhamento sobre a fase de construção do produto (ferramentas, técnicas, métodos, etc.).

Tabela 14 – Elementos da metodologia *USERfit*

Elemento USERfit	Objetivos
Contexto do ambiente	Fornecer um sumário abrangente sobre o produto, como a justificativa para a sua criação, quais serão seus potenciais usuários, compradores, etc.
Ambiente do produto	Resumir o que se sabe sobre o ambiente de suporte para o produto, incluindo treinamento, documentação, instalação, manutenção e suporte ao usuário.
Análise do usuário	Identificar a variedade de pessoas que devem ser consideradas no desenvolvimento do produto e descrever seus atributos, como capacidades, limitações e motivações. Análise da implicações dos atributos dos usuários no projeto.
Atividades do usuário	Identificar e descrever a gama de atividades que estarão envolvidas no uso do produto e as implicações destas para o projeto.
Análise do produto	Sintetizar os aspectos funcionais do produto à medida que são compreendidos e listá-los como características operacionais.
Matriz de atributos do produto	Sintetizar a correspondência entre as especificações funcionais e os atributos do produto obtidos por meio da análise do usuário e do produto.
Sumário dos requisitos	Sintetizar as características de projeto identificadas por

Elemento USERfit	Objetivos
	intermédio da análise do usuário e do produto e seu nível de correspondência com os requisitos do usuário.
Sumário do projeto	Sintetizar de maneira mais detalhada a especificação funcional do produto e suas características operacionais.
Avaliação de usabilidade	Resumir os planejamentos para avaliação em conjunto com os objetivos, métodos e critérios a serem utilizados. Documentar o nível de correspondência entre os critérios de avaliação e os resultados da avaliação.

Fonte: Adaptado de Poulson e Richardson (1998).

2) Manzini e Santos (2002)

Os autores propõem um método para o desenvolvimento de ajudas técnicas (TA), voltado originariamente para o desenvolvimento de objetos e recursos pedagógicos que auxiliem no aprendizado de alunos com necessidades especiais, com sete fases principais, como se vê na Figura 81: (1) Entender a situação; (2) Gerar ideias; (3) Escolher alternativa; (4) Representar a ideia; (5) Construir o objeto; (6) Avaliar o uso; (7) Acompanhar o uso.

Figura 81 – Fluxograma para desenvolvimento de ajudas técnicas

Fonte: Manzini e Santos (2012).

Embora não haja a utilização da MA, de acordo com os critérios de inclusão da RBS, o modelo foi selecionado pelo estudo metodológico específico relativo à TA.

Cada uma das fases é marcada pelas seguintes atividades:

- 1) Entender a situação: escutar os desejos do usuário; identificar suas características físicas e psicomotoras específicas; observar sua dinâmica de atuação no ambiente em que exerce suas atividades; reconhecer o seu contexto social;
- 2) Gerar ideias: conversar com os usuários (final, familiares, colegas, etc.); pesquisar soluções já existentes (família, catálogos); pesquisar materiais que podem ser utilizados; buscar alternativas para a fabricação do objeto;
- 3) Escolher a alternativa: considerar os requisitos a serem atendidos; verificar a disponibilidade de recursos para a fabricação do objeto (materiais, processos, etc.);
- 4) Representar a ideia: utilizar-se de desenhos, ilustrações, modelos, etc., para apresentar a ideia; definir os materiais; definir as dimensões e demais características do produto (formas, peso, textura, cor, etc.);
- 5) Construir o objeto: experimentar em situação real de uso;
- 6) Avaliar o uso: analisar se o produto atendeu o desejo da pessoa no contexto de uso; verificar se houve melhoria da ação do usuário e do projetista;
- 7) Acompanhar o uso: verificar se há alteração da condição do usuário com o tempo; identificar se há necessidade de adaptação no projeto.

Como aspecto positivo da metodologia, embora se trate de um modelo simples, tem-se uma das primeiras propostas de estruturação do processo de desenvolvimento em TA (ao menos, no contexto brasileiro), com divisão em fases principais e atividades específicas norteadoras do processo. O envolvimento do usuário desde as etapas iniciais é também outro ponto de destaque.

Como limitações, podem ser mencionadas a descrição muito genérica, sem maiores detalhamentos quanto às ferramentas e técnicas utilizadas no processo de projeto, e a ausência de validação por meio de algum estudo de caso que permita melhor acompanhar a dinâmica de aplicação do método.

3) Demirbilek e Demirkan (2004)

Os autores propõem um modelo participatório de desenvolvimento denominado USAP (*Useability, Safety, Attractiveness Participatory Model*), o qual se baseia num sistema de desdobramento da função qualidade, em cinco fases principais, como apresentado na Figura 82: (1) Desenvolvimento do conceito; (2) Refinamento do conceito; (3) Construção do protótipo; (4) Testes com usuário; (5) Produção. O método foi parcialmente aplicado em um estudo de caso com um grupo de idosos, no desenvolvimento de portas e maçanetas mais adequados às suas necessidades.

A despeito de a MA não ser utilizada ao longo do processo, conforme previsto pelos critérios de inclusão da RBS, o modelo foi selecionado pelo interessante estudo metodológico.

Na primeira fase, Desenvolvimento do conceito, são organizadas sessões de projeto participatório com pequenos grupos do público-alvo. Entre as técnicas utilizadas nestas sessões para a geração de ideias e definição das necessidades dos usuários, podem ser destacadas: *brainstorming*, criação de cenários, escrita e esboço de ideias, entrevistas não estruturadas e questionários. O projetista atua, neste primeiro momento, apenas como um moderador imparcial, estimulando e facilitando o diálogo entre os participantes, sem, no entanto, apresentar qualquer proposta de solução. Esses diálogos são gravados para que possam ser revistos e anexados à documentação do projeto.

Num segundo momento, ainda dentro da primeira fase do método, o projetista executa uma análise do problema e, tendo em vista as propostas e necessidades dos usuários obtidas anteriormente durante o diálogo participatório, estabelece um estudo de viabilidade, com o objetivo de propor algumas soluções adequadas ao problema e um projeto preliminar. São três as fontes principais nas quais o projetista se baseia para as suas tomadas de decisão: mídia relevante, domínio relevante e comunidade relevante. A primeira delas consiste em livros, periódicos e/ou mídias visuais. A segunda, em estudos de casos anteriores e na própria experiência do projetista ou de outros especialistas. A terceira, por fim, é representada por todos os usuários, especialistas ou outras partes relacionadas ao projeto.

Figura 82 – Etapas do modelo participatório de desenvolvimento USAP

Fonte: Adaptado de Demirbilek e Demirkan (2004).

Os dados obtidos na primeira fase são, então, armazenados em uma matriz de desdobramento da função qualidade, similar à Casa da Qualidade do QFD, de modo a promover a combinação e estabelecer uma relação entre a informação recebida dos usuários e os conhecimentos técnicos do projetista.

A segunda fase do modelo, Refinamento do conceito, é caracterizada por uma segunda sessão participatória com os usuários, com o intuito de apresentar a eles as propostas desenvolvidas no projeto preliminar e obter um retorno com críticas, sugestões e possíveis alterações nos esboços. O projetista atua aqui, portanto, como um apresentador, na medida em que tem de apresentar a solução proposta, e também como um facilitador. O principal objetivo desta fase é mitigar quaisquer dúvidas ou mal-entendidos que possam ter surgido no processo de comunicação e interpretação de ambas as partes na primeira fase.

Num segundo momento desta fase, o projetista, de posse das informações obtidas da avaliação dos usuários, se dedica a desenvolver e refinar ainda mais as soluções propostas, inclusive com a consulta a outros especialistas que poderão auxiliá-lo no processo, como especialistas em ergonomia ou outros engenheiros.

A terceira fase é a da Construção do protótipo, com a geração dos desenhos técnicos detalhados e o planejamento e a fabricação de um protótipo funcional.

A quarta fase, Testes com usuário, envolve a aplicação de um formulário, a realização de testes do protótipo com o usuário e também de diálogos entre este, o projetista e outros especialistas para a discussão da funcionalidade do produto. Novamente, esses diálogos são arquivados para a posterior revisão e também para a criação de um arcabouço de conhecimento para futuros projetos.

Por fim, a quinta fase, Produção, compreende a manufatura e a logística de entrega do produto aos usuários finais.

Como pontos positivos do modelo, podem ser destacados: uma descrição mais estruturada e detalhada do processo de desenvolvimento; os conceitos de mídia, domínio e comunidade relevantes, como arcabouços de informações utilizados pelo projetista para se guiar no desenvolvimento das soluções; a utilização de uma matriz de desdobramento da qualidade para vincular o domínio subjetivo do usuário ao domínio técnico do projetista.

Em relação às limitações da metodologia, pode-se citar a realização apenas da parte conceitual do método, sem o acompanhamento e a validação da dinâmica proposta a partir de um estudo de caso mais completo, e a ausência de outras ferramentas de engenharia para melhor compreensão do problema e geração dos conceitos.

4) Wang e Chou (2007)

Os autores propõem uma abordagem sistemática para o desenvolvimento do conceito do produto com base num processo de colaboração multiprofissional – *multi-professional collaboration* (MPC) – por meio da interação e integração dos múltiplos conhecimentos envolvidos. Um estudo de caso foi desenvolvido com indivíduos com lesão na medula espinhal, no desenvolvimento de DA's para auxílio à tarefa de alimentação.

É apresentada a ideia do “desenvolvimento de DA's orientado para o usuário”, como um conceito de inovação baseado na usabilidade e com foco na compreensão e utilização das necessidades presentes e futuras dos usuários com algum tipo de incapacidade no projeto de dispositivos inovadores e/ou aperfeiçoados. Para isso, foi proposto um método sistemático para interpretar e traduzir as necessidades subjetivas e implícitas dos usuários em conceitos explícitos e objetivos acerca do produto, tendo em vista o atendimento das demandas do usuário.

O método apresentado está dividido em quatro módulos fundamentais: (1) Módulo de extração das necessidades do usuário; (2) Módulo de representação do conhecimento de projeto; (3) Módulo de conceptualização do produto; (4) Módulo da alternativa de conceito ótimo.

No primeiro módulo, Extração das necessidades do usuário, é adotada a abordagem de cadeia meios-fim (CMF) para a identificação dos requisitos, a qual visa relacionar a escolha ou a preferência por um produto com os valores de vida do indivíduo/consumidor. No caso deste módulo, busca-se ilustrar as conexões entre os atributos do produto, as consequências do seu uso e os valores pessoais dos usuários, tendo o produto por meio e os valores por fins. A partir da técnica *laddering* de entrevistas aprofundadas para a coleta de dados, é formada a estrutura da CMF,

a qual é apresentada então num mapa hierárquico de valor (MHV), como pode ser visto na Figura 83.

Figura 83 – Mapa hierárquico de valor (MHV) da estrutura da cadeia meios-fim (CMF)

Fonte: Adaptado de Wang e Chou (2007).

O módulo seguinte, Representação do conhecimento de projeto, visa integrar o número significativo de expertises envolvidas num projeto multiprofissional ou multidisciplinar e criar um ambiente de projeto favorável. O conhecimento de cada ator envolvido no projeto está relacionado às suas expertises em um ou mais domínios, situando-se na zona de intersecção entre o conhecimento aprofundado e o colaborativo. Estabelece-se, assim, no contexto de projeto, um processo de intercâmbio e popularização de conhecimentos entre os atores, com o auxílio das interfaces de comunicação proporcionadas pelos conhecimentos de cada um e também por intermédio do chamado conhecimento sinérgico, implementado para manter essas trocas e dar suporte à comunicação entre a equipe.

O terceiro módulo, de Conceptualização do produto, consiste na aplicação do QFD juntamente com a análise funcional para identificar e hierarquizar os requisitos dos usuários. Por meio de entrevistas e da análise CMF, os requisitos são definidos, ranqueados e associados aos atributos do produto na matriz de relações do QFD. Os pesos de cada atributo são calculados e então incorporados ao MHV para a

verificação dos principais componentes a serem desenvolvidos pela análise morfológica do produto.

Por fim, o quarto módulo, da Alternativa de conceito ótimo, está baseado na aplicação do método de análise morfológica ao projeto, como uma das ferramentas formais de apoio desenvolvimento colaborativo de produtos. É elaborado um quadro morfológico que possa representar visualmente a funcionalidade a ser alcançada pelo produto, bem como possíveis caminhos e combinações de alcançá-la (subsistemas, componentes, técnicas de implementação, etc.). A partir desse processo, são geradas várias combinações de soluções, dentre as quais os projetistas deverão escolher as mais relevantes ou práticas para as finalidades do projeto. Por meio de técnicas colaborativas de comunicação e de CAD, o conceito é convertido num protótipo via prototipagem rápida e submetido à verificação dos usuários.

Como ponto de destaque da metodologia, pode-se mencionar o módulo de representação do conhecimento, com a interessante proposta de facilitar a comunicação entre os membros da equipe multidisciplinar de projeto, marcada naturalmente por diferentes expertises e, por isso mesmo, por diferentes linguagens, termos técnicos e abordagens. Cria-se, assim, um ambiente de projeto integrativo e mais favorável à troca de informações, aumentando as possibilidades de sucesso no desenvolvimento do produto. Vale também mencionar a utilização de ferramentas de projeto como o QFD e a análise morfológica.

Por outro lado, o processo de geração do conceito do produto (etapas, ferramentas de concepção, etc.), bem como de fabricação e de avaliação do protótipo (detalhes da fabricação, ferramentas de teste, etc.) não estão muito bem definidos e detalhados, passando a figurar entre as limitações da metodologia. Além disso, o estudo de caso se mostrou muito simplificado, dificultando a compreensão da dinâmica de aplicação do método.

5) *Carvalho, Okumura e Canciglieri Junior (2010)*

Os autores apresentam um *framework* conceitual, conforme a Figura 84, que busca aplicar os conceitos da Engenharia Simultânea (ES) ao processo de

desenvolvimento de DA's, tendo também como referenciais o modelo de desenvolvimento de ajudas técnicas (TA) proposto por Manzini e Santos (2002), já analisado anteriormente, e o modelo de PDP proposto por Rozenfeld et al. (2006).

Apesar de a proposta não apresentar o desenvolvimento de um estudo de caso com aplicação da MA, segundo os critérios de inclusão previstos pela RBS, foi incluída pelo estudo específico da metodologia voltada para TA.

De acordo com os autores, dentre as características fundamentais da ES, podem ser listadas:

- a) Ênfase na satisfação do cliente;
- b) Equipes multidisciplinares;
- c) Autonomia das equipes;
- d) Desenvolvimento simultâneo;
- e) Liderança global do processo de desenvolvimento do produto;
- f) Padronização dos projetos;
- g) Compartilhamento de informações;
- h) Ferramentas informatizadas visando agilidade;
- i) Práticas de gerenciamento e instrumentos de garantia de qualidade.

O enfoque no usuário e o trabalho com equipes multidisciplinares, em especial, criariam desse modo um ponto de contato entre a ES e a TA, permitindo a transposição de conceitos da primeira para a última.

A proposta consiste na formação de uma equipe multidisciplinar com especialistas de diferentes áreas (segundo as especificidades do usuário e de sua deficiência, bem como da tarefa a ser executada), que permita uma troca mais adequada de informações e a execução simultânea de tarefas ao longo do processo de desenvolvimento. Com isso, espera-se a criação de um produto mais adequado às necessidades do usuário, com redução de custos e de prazos. Vale mencionar que, para uma atuação bem-sucedida da equipe, alguns elementos são listados como essenciais: comunicação clara, integração, cooperação, compartilhamento, confiança.

Para alcançar os fins delineados, são utilizados práticas e instrumentos de gerenciamento, como o TQM (*Total Quality Management*), além de recursos e

ferramentas informatizadas (CAD/CAE/CAM; DFA – *Design for Assembly*; DFM – *Design for Manufacturing*) para promover a agilidade e a automatização dos processos, a sistematização dos dados e a previsibilidade do projeto.

Figura 84 – *Framework* para desenvolvimento de produtos de TA com base nos conceitos de Engenharia Simultânea

Fonte: Carvalho, Okumura e Canciglieri Junior (2010).

Como destaque da metodologia, pode-se listar a proposta de fusão entre um modelo de desenvolvimento em TA com as ferramentas e práticas de engenharia, neste caso da ES, a fim de agilizar e sistematizar o processo em busca de melhores resultados.

Quanto às limitações, a falta de detalhamento das atividades específicas de cada fase, bem como uma melhor descrição do processo de integração entre os dois modelos podem ser citados. A ausência de uma aplicação para validação e acompanhamento do desenvolvimento do método também se enquadra entre as limitações do modelo.

6) De Couvreur e Goossens (2011)

Os autores apresentam um modelo de coprojeto (*co-design*) e coconstrução (*co-construction*) iterativo denominado *Design for (every)one* (“Projeto para todos”) que se propõe a mesclar princípios de duas abordagens de projeto para pessoas com deficiência – projeto universal e engenharia de reabilitação (TA) –, como pode ser visto na Figura 85, em busca de uma metodologia que seja realmente movida pelo usuário, e não primordialmente apenas pela tecnologia.

O modelo foi aplicado no desenvolvimento de três DA’s distintos: um para auxílio na utilização de um instrumento musical (guitarra); outro para ser utilizado em partidas de *badminton*; e outro para auxiliar numa atividade específica de alimentação.

Figura 85 – Framework do *Design for (every)one*

Fonte: Adaptado de De Couvreur e Goossens (2011).

Acompanhando o modelo, a primeira transição, de um problema genérico para um específico, visa transformar os elementos da TA em ferramentas acessíveis e mais fáceis de serem compreendidas e adotadas pelas pessoas com deficiência. Na segunda transição, de um problema específico para uma solução específica, busca-se o desenvolvimento de uma comunidade de base para o projeto, que partilhe uma linguagem comum. Para tanto, são utilizadas algumas estratégias como

a utilização de protótipos, a comunicação estigmergética, a validação de conceitos em contextos específicos e a documentação das modificações de projeto. A terceira transição consiste na passagem de uma solução específica para uma genérica, por meio da conversão de características pessoais em princípios universais nos DA's. Esta transição, por sua vez, abre espaço para a quarta e última transição, na qual esses princípios universais são tomados como referências para novas propostas de inovação no mercado.

A ideia é alcançar uma abordagem centrada, ao mesmo tempo, no usuário e na atividade a ser desempenhada, buscando uma série de adaptações incrementais que visam aproximar ao máximo as tecnologias das habilidades do usuário, de modo a traduzir seus valores em características do produto. Partindo de dois polos que definem a base da metodologia – o usuário, com sua participação ativa, e as novas técnicas de fabricação (MA), que possibilitam a manufatura personalizada – intenta-se conseguir um balanço contínuo e mais satisfatório a cada ciclo de iteração entre as duas perguntas: “O que é preciso?” e “O que pode ser feito?”.

A utilização de modelos tangíveis é a linguagem de interação entre a equipe de projeto, sendo a base para a compreensão, a concordância e a ação ao longo do processo.

Para a aplicação do método são adotadas cinco estratégias fundamentais de adaptação: (1) Desempenho; (2) Economia; (3) Conveniência; (4) Identidade; (5) Prazer. Cada uma delas aponta um conjunto de aspectos que podem ser relevantes no contexto de desenvolvimento. Com base no retorno do usuário, alguns desses aspectos são categorizados e escolhidos para a definição de uma estratégia específica que possa nortear o processo, a partir da descoberta de padrões entre eles e da elaboração de modelos descritivos de suas relações.

Nesse processo, três papéis principais são estabelecidos, conforme a Figura 86:

- a) Terapeuta ocupacional: busca manter o foco na TA, utilizando-se do seu conhecimento na área para definir as limitações e potencialidades para cada usuário. Pela sua experiência, pode também melhor descrever e explicar a

atividade a ser desenvolvida pelo usuário, facilitando a visão de novas abordagens para o desenvolvimento do produto. Pela identificação do tipo de DA do qual o usuário precisa, define um ponto de partida para o projeto iterativo, avaliando o fluxo do processo pelo retorno daquele;

- b) Usuário/cuidador: tem como expertise a sua própria experiência e se insere no processo de projeto por meio de sua expressão na criação, utilização ou adaptação dos DA's. No caso em que o usuário está de algum modo limitado em sua expressão, o cuidador tem um papel fundamental de tradutor das suas necessidades e percepções;
- c) Projetista industrial/usuário-fabricante: atua como o facilitador da tecnologia entre o usuário e o terapeuta ocupacional, buscando traduzir continuamente os valores do usuário em propriedades do produto. Seu objetivo é ampliar as habilidades do usuário por meio da tecnologia. Para isso, concebe e cria ferramentas e protótipos que possam ser utilizados pelo terapeuta para comunicar a ideia ao usuário. É ainda responsável por planejar as atividades de teste e avaliação, de modo a evitar alguma sobrecarga sobre o usuário, e também por documentar todo o processo.

Figura 86 – Triângulo entre os papéis principais e as atividades iterativas da metodologia

Fonte: Adaptado de De Couvreur e Goossens (2011).

Com o modelo, busca-se ainda a criação de uma rede horizontal de inovação, da qual participem os diversos *stakeholders* envolvidos no projeto em TA, e de “dispositivos abertos”, que possam ser modificados e utilizados por outros TO's para aplicações em contextos diferentes.

Entre os pontos interessantes da metodologia, destacam-se: a fusão entre duas abordagens para o desenvolvimento de DA's: projeto universal e engenharia de reabilitação; a proposta de coprojetos e coconstrução; a ideia de uma comunidade de base para o projeto, integrada ao contexto local; a busca pelo balanço entre o viável e ideal.

No que concerne às limitações, a falta de clareza e detalhamento na aplicação das estratégias do método para a obtenção de soluções e a ausência de ferramentas de projeto (identificação e tratamento dos requisitos do usuário, concepção e seleção, etc.) podem ser citadas.

7) CGEE (2012)

O relatório do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2012), a partir de um mapeamento de competências em TA no contexto brasileiro e de um estudo das tendências tecnológicas, propõe um modelo de concepção de produtos de TA baseado em seis fases principais, como pode ser visto na Figura 87.

As seis fases são assim caracterizadas:

- 1) Necessidades dos usuários: verificação das necessidades dos usuários com o auxílio de especialistas;
- 2) Projeto e concepção do dispositivo: escolha de mecanismos, croquis e desenho conceitual do produto;
- 3) Design do produto: adaptação do conceito adotado na etapa anterior dentro dos critérios de operacionalidade, funcionalidade, forma e conforto do produto;
- 4) Desenvolvimento do projeto: escolha de tecnologias transversais a serem aplicadas, tais como seleção de materiais, mecânica fina, gestão de projeto, entre outras, além de uma análise de custo e de mercado para o produto;
- 5) Fabricação: selecionados o material e a tecnologia, proceder à fabricação do produto, com atenção para suas características de flexibilidade, resistência, adaptabilidade e também para as normas de saúde, peso e dimensão;
- 6) Mercado: definir e implementar os centros de distribuição, manutenção e assistência técnica do produto.

Figura 87 – Modelo de concepção de um produto de TA

Fonte: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2012).

Em relação aos aspectos de destaque do modelo, pode-se elencar a proposta de adoção de tecnologias transversais, visando melhor estruturar o processo de projeto.

Como limitações da metodologia, podem ser mencionadas: o estudo apenas teórico, sem a aplicação e a validação do modelo por meio de estudos de caso e a ausência de detalhamento das atividades específicas de cada fase, com as possíveis ferramentas e técnicas a serem adotadas.

8) Medola et al. (2012)

Os autores descrevem a metodologia de desenvolvimento de um novo aro de propulsão para cadeiras de roda, com ênfase em características antropométricas e conceitos ergonômicos.

Por meio de uma pesquisa em artigos de referência, foram definidos alguns dos principais motivos de insatisfação, por parte dos usuários, em relação ao aro de propulsão. Partindo de um estudo elementar das forças atuantes sobre o aro, de uma medida de referência para a mão humana adulta e do princípio ergonômico de maximização da área de contato, o conceito do produto foi desenvolvido em CAD.

A partir do modelo virtual em CAD, foi fabricado um protótipo via impressão 3D, o qual foi posteriormente utilizado para a geração de um molde em silicone. Este, por sua vez, foi usado para a fabricação do produto final. Vale mencionar que, devido à limitação dimensional da impressora 3D utilizada, foi preciso dividir o aro em oito segmentos iguais, com o projeto de uma outra peça para conexão interna desses segmentos. O novo aro foi ainda lixado e pintado antes dos testes e, finalmente, parafusado à cadeira no lugar do aro convencional.

O dispositivo foi submetido tanto a testes quantitativos como qualitativos, com seis usuários de cadeiras de roda experientes. Primeiramente, foram feitos testes (qualitativos) preliminares de acoplamento do dispositivo com a mão do usuário, a fim de se testar variáveis como firmeza de pega, área de contato e flexão dos dedos. Posteriormente, os novos aros foram testados em uso, seguindo um circuito padronizado de atividades. Neste circuito, todos os participantes utilizaram um mesmo modelo de cadeira. Os usuários foram convidados então a responder um questionário desenvolvido pelos pesquisadores, com nove questões ao todo, visando avaliar a sua percepção da qualidade do novo dispositivo em relação ao convencional, em termos de conforto na propulsão, na frenagem e nas manobras, acoplamento com a mão, aparência e locomoção de um modo geral.

Dentre os aspectos de destaque da metodologia, vale realçar o estudo, embora simplificado, das forças em atuação no DA, o que não se verifica com frequência nos projetos de DA's. Também vale mencionar os estudos ergonômico e antropométrico e de seleção dos materiais. E ainda o planejamento prévio do produto visando a fabricação por meio da impressão 3D, com sua divisão em oito segmentos iguais e com o projeto de outra peça para a conexão interna desses segmentos. Pelo conjunto, percebe-se uma maior atenção aos aspectos de engenharia no projeto.

Como limitações da metodologia, podem ser citadas: a ausência de uma descrição mais explícita de um método de desenvolvimento, com pouco detalhamento do processo como um todo (fases, atividades, ferramentas de concepção e seleção, etc.); a pouca interação com os usuários antes da fase final de testes (a própria demanda de projeto foi identificada por outras referências, e não diretamente com os usuários) e mesmo depois, para refinamento do produto.

9) Plos et al. (2012)

Os autores propõem um método de projeto denominado EMFASIS (*Extended Modularity, Functional Accessibility, and Social Integration Strategy*), baseado no conceito de Projeto Universal (PU), que objetiva romper com algumas barreiras existentes no projeto de TA em busca de inovação, sobretudo, por meio de duas estratégias específicas: (a) removendo o obstáculo do pequeno tamanho de mercado, pela adoção do projeto universal, espera-se possibilitar às empresas que ampliem a qualidade de seus produtos, com redução de custos; (b) projetando o produto diretamente para o mercado de massa e antecipando uma forma do produto que possa ser estendida a esse público genérico, os projetistas poderiam desenvolver produtos que sejam mais facilmente aceitos, esteticamente e socialmente, removendo uma das maiores dificuldades de produtos desta área que é a estigmatização.

A ideia, portanto, é adotar uma abordagem mais abrangente para o projeto em TA, que envolva não somente os aspectos de ergonomia, necessidades funcionais, acessibilidade, aceitabilidade social, mas também preocupações quanto ao mercado e ao custo-benefício do produto.

Ainda que o modelo não apresente a utilização da MA, conforme previsto pelos critérios de inclusão da RBS, foi listado pelo estudo metodológico original e pertinente no contexto do projeto em TA.

O método foi aplicado em três estudos de caso: (I) desenvolvimento de uma mesa para refeição na cama, de modo que o produto criado não viesse a estigmatizar seus usuários, por exemplo, por uma aparência que pudesse evocar o ambiente de um hospital; (II) projeto de uma órtese motorizada (uma espécie de exoesqueleto) para membros superiores, destinada a pessoas com limitações, mas

também com algum tipo capacidade muscular residual; (III) criação de uma cadeira de rodas elétrica mais barata, efetiva e adaptativa.

Os movimentos de PU estabelecem duas abordagens principais, conforme a Figura 88: uma abordagem adaptativa do tipo *top down*, em que são projetados produtos especializados para depois expandi-los a outros tipos de usuários; e outra abordagem proativa do tipo *bottom up*, na qual são projetados produtos voltados para o máximo de usuários possível. O EMFASIS se foca na abordagem do tipo *top down*, aplicada ao contexto da TA.

Figura 88 – Abordagens *top down* e *bottom up* do PU aplicadas ao contexto da TA

Fonte: Adaptado de Plos et al. (2012).

São cinco os princípios fundamentais do modelo EMFASIS: (1) Mercado estendido; (2) Projeto modular; (3) Aceitabilidade funcional; (4) Acessibilidade; (5) Integração social. Cada um desses princípios é descrito a seguir:

- 1) Mercado estendido: o objetivo é antecipar as estratégias de extensão do mercado de um produto especializado, de modo a permitir à equipe de desenvolvimento aproveitar o potencial de crescimento do produto e garantir que alcance seu nicho de mercado satisfatoriamente. É uma das propostas centrais do modelo, embora não seja de simples aplicação, já que requer uma mudança significativa na maneira pela qual os projetistas encaram seu produto. Justamente por isso, é a etapa mais criativa dentre todas;
- 2) Projeto modular: tem-se por meta o desenvolvimento de uma gama de produtos que, apresentando uma mesma identidade estética, a fim de

se evitar uma possível estigmatização, possam atender uma variedade de necessidades. Afinal, é muito mais viável tecnicamente o desenvolvimento de um gama de produtos do que um único que seja capaz de satisfazer todos os requisitos de projeto. O projeto modular viabiliza isso de maneira mais fácil na medida em que define a estrutura de um produto em termos de subsistemas intercambiáveis, com componentes fixos e outros específicos, de modo a aumentar o número de modelos e de funções possíveis. O projeto ganha, assim, em flexibilidade e em capacidade de integrar novas tecnologias;

- 3) Aceitabilidade funcional: o produto precisar apresentar, ao mesmo tempo, usabilidade e utilidade. Como alguns usuários com deficiência tendem a diminuir suas próprias necessidades, se contentando com o que têm, nem sempre é fácil definir se esse critério está sendo de fato atendido. Por isso, recomenda-se a utilização de diversos métodos, como a observação ou entrevistas com os usuários e conversas com terapeutas e outros especialistas, para a obtenção das reais necessidades dos usuários. No primeiro estudo de caso realizado foram utilizados questionários com os usuários para avaliar seus hábitos relativos ao uso, limpeza, arrumação e problemas encontrados com produtos anteriores. Além disso, foram utilizadas também observações de campo e entrevistas. No segundo estudo de caso, além das entrevistas, foram feitas também análises cinesiológicas dos usuários durante a execução de tarefas cotidianas como alimentação, escovação de dentes, abertura de portas, etc. Por fim, no terceiro estudo de caso, em busca de acessar os requisitos de projeto foi feita uma sessão criativa com usuários e diferentes tipos de profissionais (TA, robótica, transporte, ciência da computação, etc.), além de uma pesquisa mais abrangente com usuários e seus familiares;
- 4) Acessibilidade: esse princípio visa estender a aceitabilidade estabelecida pelo princípio anterior ao máximo possível de populações, por meio do estudo das necessidades específicas de cada uma delas em conjunto com a antecipação da extensão de mercado do produto já prevista no princípio do Mercado estendido;

- 5) Integração social: para que esse princípio seja atendido, diversos métodos têm de trabalhar juntos, de modo a garantir que o produto possa realmente alcançar os seus fins e o seu espaço no mercado e na sociedade. A imagem do produto, suas características estéticas e os valores sociais que ele transmite são fundamentais para que ele consiga se integrar ao ambiente social de maneira satisfatória, evitando a estigmatização e suas consequências prejudiciais, como a rejeição do produto ou o sentimento de exclusão associado a ele e ao seu uso. Recomenda-se, inclusive, a utilização de um *stylistic designer* para isso.

Vale frisar que esses princípios ou critérios de projeto não devem ser entendidos como um processo sequencial, uma vez que, embora exista uma interdependência entre eles, devem ser idealmente desenvolvidos de maneira concomitante.

Com referência aos aspectos de destaque, pode-se citar justamente a abordagem original, baseada no PU, que busca projetar os DA's de maneira a expandir os seus mercados, a fim de remover os empecilhos significativos associados ao desenvolvimento de produtos no contexto da TA: o mercado muito específico e a estigmatização. A aplicação do modelo em três estudos de caso também enriquece o estudo metodológico.

Quanto às limitações da metodologia, podem ser enumeradas a ausência de uma descrição mais detalhada da utilização de ferramentas de projeto (concepção, seleção, etc.) e das atividades mais específicas pertinentes a cada fase/princípio.

10) Buehler, Hurst e Hofmann (2014)

Os autores desenvolveram um processo iterativo para a geração de um DA de suporte de canetas para um indivíduo com capacidade limitada para a pega de objetos e, por isso, com dificuldades para a realização de algumas atividades cotidianas, como escrever ou utilizar o iPad.

Primeiramente foi feito um levantamento junto aos TO's das soluções adotadas anteriormente que não foram bem-sucedidas, sejam elas de produtos comercialmente disponíveis ou de soluções artesanais produzidas pelos próprios terapeutas. Com base nessas experiências, buscou-se a geração de uma solução mais efetiva para a necessidade do usuário a partir do escaneamento 3D. Para tanto, foram utilizados alguns modelos da mão e da pegada do usuário feitos em argila. Os modelos virtuais (CAD) passaram por alguns ajustes superficiais, removendo as imperfeições oriundas do escaneamento da argila, e geométricos, para melhor acomodar a caneta, sendo então fabricados via impressão 3D.

Os protótipos foram então submetidos a um processo iterativo de testes com o usuário e modificações. A partir do retorno dos primeiros testes, um novo modelo foi criado em argila e novamente escaneado, editado e fabricado via impressão 3D. Este segundo modelo também foi submetido a testes, desta vez por um período maior. Mais uma vez, a partir do retorno do usuário, foi elaborado e fabricado um novo protótipo, desta vez apenas com a modificação do modelo virtual do segundo protótipo já existente, sem a criação de um novo modelo em argila.

A partir dos resultados do processo de desenvolvimento e utilizando-se de algumas medidas chave para o projeto do DA, foi elaborado ainda um software para a geração de modelos virtuais específicos do dispositivo de acordo as medidas do usuário e alguns parâmetros requeridos, eliminando a necessidade da criação de moldes em argila para cada caso e, assim, favorecendo a fabricação do produto para outros usuários com necessidades similares e também facilitando o trabalho dos TO's que porventura tenham dificuldade em utilizar o CAD.

A utilização de materiais intermediários, neste caso a argila, para a elaboração dos conceitos do produto é um dos pontos interessantes da metodologia, uma vez que facilita a compreensão da ideia a partir de sua materialização, sendo também uma boa intermediação para aqueles atores do processo que porventura tenham dificuldade de lidar somente com os modelos virtuais. Um estudo prévio junto aos TO's dos produtos e soluções adotados anteriormente, bem como de suas limitações e falhas, merece ser também realçado, assim como a ferramenta desenvolvida para a geração de DA's similares a partir de medidas paramétricas.

A falta de uma estruturação mais definida do processo de projeto como um todo, com o detalhamento suas atividades específicas pode ser elencada como uma das limitações do estudo. O pouco detalhamento dos testes de avaliação e a ausência de ferramentas técnicas de projeto (para identificação de requisitos, concepção, seleção, etc.) também.

11) Chavarriaga et al. (2014)

Os autores descrevem uma abordagem multidisciplinar, centrada no usuário, na busca por soluções assistivas tecnológicas para indivíduos com deficiências motoras. Dois estudos de caso são conduzidos na Colômbia: o primeiro com pessoas com deficiência nos membros inferiores causada por diferentes motivos e o segundo com indivíduos com deficiência nos membros superiores devido a lesões cerebrais.

Apesar de não envolver a aplicação da MA, de acordo com os critérios de inclusão da RBS, o trabalho foi selecionado pela originalidade de algumas propostas que dizem respeito ao estudo metodológico do projeto em TA.

A abordagem está dividida em três linhas de ação principais: (1) Caracterização do problema e dos aspectos socioculturais da população-alvo; (2) Pesquisa do estado da arte e desenvolvimento de soluções assistivas tecnológicas; (3) Construção de uma comunidade de projeto, por meio da interação entre os diferentes *stakeholders* (usuários finais, engenheiros, terapeutas, clínicos, etc.).

A primeira linha de ação da abordagem parte do entendimento de que o conceito de deficiência vai além apenas do problema de saúde, englobando também as características socioculturais do contexto em que o indivíduo está inserido, de modo que algumas soluções para esses problemas não se adequariam da mesma maneira para pessoas em países emergentes ou em desenvolvimento em comparação com aqueles mais desenvolvidos. Um estudo das particularidades do contexto é, assim, fundamental para a criação de produtos que possam realmente atender as necessidades dos usuários.

Na segunda linha de ação, efetua-se uma pesquisa sobre o estado da arte dos produtos a serem desenvolvidos, em busca de novas soluções tecnológicas. Uma equipe multidisciplinar (engenheiros, projetistas industriais, terapeutas ocupacionais e fisioterapeutas, psicólogo) é formada com o intuito de identificar o problema, encontrar soluções alternativas com o auxílio de técnicas e ferramentas adequadas e gerar protótipos para avaliação. Neste processo, cada parte contribui com sua expertise: os engenheiros, com a caracterização do estado da arte dos produtos no presente e no passado e uma descrição mais detalhada do sistema; os projetistas industriais, com sugestões ergonômicas para o produto; os terapeutas e o psicólogo, com uma análise sobre os aspectos da inclusão social dos usuários. Ferramentas como a TRIZ e o Projeto Axiomático, além da *Functional electrical neuro-stimulation* (FES), foram utilizadas para analisar de maneira sistemática o problema e estruturar o processo de projeto.

Para os autores, a abordagem interdisciplinar neste tipo projeto é fundamental para a obtenção de soluções funcionais, embora atualmente essa interação ainda seja pequena entre profissionais de diferentes áreas ou só ocorra nos estágios finais do desenvolvimento como, por exemplo, durante a fase de testes dos produtos. Como proposta de modificar esse quadro, surge a terceira a linha de ação: a construção de uma comunidade de interação no processo de desenvolvimento do produto, envolvendo os diferentes *stakeholders*. A meta é a criação de um espaço comum onde todos os envolvidos no processo possam se familiarizar com os desafios do projeto, a partir de diferentes perspectivas, e trabalhar juntos na busca por novas soluções. Para isso, são realizadas uma série de atividades como seminários públicos, workshops e cursos voltados para pessoas de diferentes formações e níveis de experiência.

Como pontos positivos da metodologia, destacam-se a proposta da construção de uma comunidade de projeto interdisciplinar e o estudo prévio do contexto de desenvolvimento do DA, em busca de soluções que realmente se adaptem, por exemplo, às circunstâncias de indivíduos em países emergentes ou em desenvolvimento. Vale mencionar também a utilização de ferramentas de projeto como a TRIZ o Projeto Axiomático.

Em relação às limitações, podem ser listadas a falta de um detalhamento mais claro das atividades específicas de cada fase e a ausência de protótipos para a validação e a avaliação dos conceitos.

12) Coton et al. (2014)

Os autores apresentam uma metodologia de projeto denominada *Design for Disability* (DFD), de caráter multidisciplinar e centrada no usuário, que leva em consideração no projeto, além do usuário em si, também fatores humanos e do ambiente. Um dos objetivos principais da abordagem é aperfeiçoar a usabilidade do produto como um fator de qualidade do projeto. A metodologia é avaliada por meio de um estudo de caso no desenvolvimento de um DA de auxílio à utilização de um instrumento musical.

São cinco os princípios fundamentais da proposta: (1) Conhecimento dos usuários finais; (2) Participação ativa dos usuários, por meio de suas necessidades e requisitos; (3) Divisão adequada das funções entre usuários e tecnologia; (4) Abordagem de projeto iterativa; (5) Atuação de uma equipe multidisciplinar.

O primeiro princípio, Conhecimento dos usuários finais, visa ampliar os conhecimentos acerca das atividades e do ambiente em que o usuário está inserido, por exemplo, pela observação, por parte dos projetistas, do usuário exercendo suas atividades em seu próprio ambiente, em companhia dos profissionais da área de saúde.

Em relação à Participação ativa dos usuários, segundo princípio da metodologia, esta se dá preferencialmente em cada etapa do processo de projeto e, de maneira especial, nas fases de experimentação, sempre aliada à participação dos profissionais de saúde. Seu objetivo é identificar as necessidades e requisitos do usuário.

O terceiro princípio é o da Divisão adequada entre as funções dos usuários e da tecnologia dentro do projeto, no qual a tecnologia é entendida como um recurso que possibilite ao usuário extrair o máximo de suas capacidades, sem que assuma, no entanto, um papel preponderante sobre este.

Quanto ao quarto princípio, Abordagem iterativa de projeto, trata-se da compreensão de que o produto é desenvolvido por meio de ciclos com discussões, projeto, fabricação de protótipos e testes, seguidos por novas observações e análises, modificações de projeto, etc., até que se chegue a um resultado satisfatório.

Por fim, o quinto princípio, Atuação de uma equipe multidisciplinar, se processa preferencialmente durante cada reunião ou experimentação, com a presença de ao menos um representante de cada área.

A Figura 89 apresenta o triângulo de competências relacionado ao desenvolvimento do DA proposto, ilustrando melhor a ideia do trabalho em equipe, de caráter multidisciplinar, com e para as pessoas com deficiência.

Figura 89 – Triângulo de competências para o projeto de DA na área da música

Fonte: Adaptado de Coton et al. (2014).

A abordagem centrada no usuário, com a definição de um triângulo de competências para dar suporte ao projeto (inclusive com profissionais específicos para a demanda, neste caso, da música), pode ser listada como um dos aspectos positivos da metodologia. A busca pela divisão adequada entre as funções da tecnologia e do usuário no processo também merece destaque.

Dentre as limitações, embora haja uma descrição mais detalhada do produto em si e de sua fabricação, pode-se citar a ausência de um detalhamento das

atividades específicas de cada fase, bem como das ferramentas técnicas utilizadas (para concepção, seleção, teste, etc.).

13) Maia e Freitas (2014)

A partir de entrevistas exploratórias e observações assistemáticas no campo da TA e da identificação da necessidade de sistematização do processo de desenvolvimento de recursos nesta área, os autores apresentam uma proposta metodológica de um fluxograma para o processo de desenvolvimento de produtos de TA (Figura 90), com base na proposta de Ergodesign de Frisoni (2000).

Embora não ocorra a aplicação da MA, de acordo com os critérios de inclusão da RBS, o modelo foi selecionado pelo foco específico e muito pertinente ao estudo metodológico do projeto em TA.

O modelo é constituído de nove fases principais (embora tenham sido nomeadas etapas, seguiu-se a nomenclatura adotada neste trabalho, na qual as etapas são subdivisões das fases), cada uma com suas etapas específicas, conforme se vê na Figura 90, sendo elas:

- 1) Problematização;
- 2) Levantamento de dados;
- 3) Análise dos dados;
- 4) Projetação do produto;
- 5) Avaliação e validação do produto;
- 6) Detalhamento do projeto;
- 7) Planejamento da produção;
- 8) Produção do produto;
- 9) Avaliação da usabilidade.

Ressaltam os autores que o usuário deve estar inserido ao longo de todo o processo. A partir da observação da sua relação com o produto e com o meio, bem como da identificação de suas necessidades, desejos e sugestões é que se torna possível o desenvolvimento de um produto realmente satisfatório.

Figura 90 – Fluxograma para o processo de desenvolvimento de produtos de TA

Fonte: Maia e Freitas (2014).

Como aspectos positivos da metodologia, está a definição mais ampla e estruturada das etapas pertinentes a cada fase do processo.

Por outro lado, justamente a falta de detalhamento de cada etapa, com os procedimentos e ferramentas adotados, bem como a ausência de um estudo de caso para aplicação e validação do modelo se configuram como as principais limitações da metodologia.

14) Okumura e Canciglieri Junior (2015)

Os autores apresentam um estudo preliminar de um modelo de Projeto orientado para TA (*Design for AT*). Após realizarem uma revisão bibliográfica em busca dos diferentes modelos integrados de desenvolvimento de produtos, *Integrated Product Development Process* (IPDP), puderam notar que, embora alguns termos fossem usados com frequência, a maioria dos modelos apresentava termos distintos para representar significados ou atividades similares, que estão implícitas em etapas subsequentes do processo. Por esse motivo, ressaltaram a importância de um detalhamento mais acurado do processo, sobretudo em suas diversas partes ou etapas específicas. Daí a adoção de um modelo orientado, uma vez que este tipo de modelo é elaborado justamente com o objetivo de simplificar e facilitar um processo de projeto ressaltando os aspectos principais de sua função.

O modelo propõe o estabelecimento de um moderador para o processo, cuja função é a de buscar, interpretar e direcionar características do produto à medida que são percorridas as fases do projeto. Em outras palavras, seu papel é o de gerenciar satisfatoriamente as variáveis oriundas do usuário e das diversas áreas multidisciplinares envolvidas no projeto, como pode ser visto pelo esquema da Figura 91.

O modelo conta com três fases principais, sendo elas: (1) Pré-projeto: planejamento; (2) Desenvolvimento do projeto; (3) Pós-projeto: implementação e produção.

Na primeira delas, Pré-projeto, enfoca-se na investigação das necessidades dos usuários com deficiência e na definição do escopo do projeto para a elaboração

do seu planejamento estratégico, em termos técnicos, financeiros e de recursos humanos. Quanto melhor definido o problema a ser solucionado, maior a probabilidade de se identificarem as oportunidades para o desenvolvimento do projeto.

A fase seguinte, Desenvolvimento do projeto, é caracterizada por quatro subdivisões: Projeto Informacional, Projeto Conceitual, Projeto Preliminar e Projeto Detalhado.

Figura 91 – Atuação do moderador no modelo de Projeto orientado para TA

Fonte: Adaptado de Okumura e Canciglieri Junior (2015).

No Projeto Informacional, são definidas as características do produto e a equipe técnica de projeto. Também são identificados o usuário, as barreiras e os potenciais à acessibilidade do produto, e os grupos relacionados, direta ou indiretamente, ao seu uso. Nesse sentido, a composição de uma equipe multidisciplinar é indicada para que as especificações relacionadas às características, habilidades e limitações dos usuários sejam definidas com mais clareza por especialistas de cada área de interesse.

O Projeto Conceitual, por sua vez, é marcado pelo estabelecimento de um conceito para o produto, a partir da obtenção dos requisitos de projeto. A equipe técnica busca por soluções viáveis, a partir das informações obtidas junto ao moderador, que tem a tarefa de interpretar e direcionar os requisitos do produto às áreas técnicas específicas onde poderão ser melhor aproveitadas.

No Projeto Preliminar, os diversos conceitos de componentes são reunidos e integrados, visando a geração de um protótipo. Para isso, são também selecionadas e distribuídas as técnicas e os materiais de produção de cada componente. É importante que o processo ocorra de um modo que permita a participação do usuário na avaliação do protótipo gerado.

O Projeto Detalhado se caracteriza pelo detalhamento da estrutura do produto e de seus componentes e pela avaliação dos resultados dos testes com o protótipo e pelos ajustes e melhorias adotados em decorrência destes resultados, de modo a atender os requisitos do usuário e técnicos do projeto.

A última fase, enfim, Pós-projeto, engloba a transferência do produto para a produção e monitoramento durante a implantação. Consolida-se, também, a documentação de projeto oriunda do Projeto Detalhado, que será importante fator de análise e fundamentação para futuros projetos. Além disso, por meio do monitoramento do produto desde o seu lançamento, busca-se mantê-lo atualizado a partir das informações obtidas sobre desempenho alcançado junto aos usuários e da aceitação do mercado.

Um aspecto interessante do método é a figura do moderador, com a função de agregar as informações oriundas de diferentes áreas durante o processo de projeto, integrando-as de maneira mais adequada. O conceito de projeto orientado para TA também merece uma menção.

No que diz respeito às limitações da metodologia, podem ser citadas: o estudo teórico, sem a aplicação e a validação do modelo por meio de um estudo de caso; o pouco detalhamento das etapas de cada fase, bem como dos procedimentos de integração e aplicação das ferramentas e princípios de projeto mencionados (DFM, DFX, Engenharia Simultânea, etc.).

15) Ostuzzi et al. (2015)

Os autores apresentam um estudo piloto, denominado projeto +TUO, acerca de um método de desenvolvimento de produtos em TA baseado nos conceitos de coprojetado (*co-design*) e coprodução (*co-production*), com a participação significativa dos usuários ao longo de todo o processo e com a utilização da tecnologia 3DP de baixo custo e fácil acessibilidade para a geração de protótipos. O método foi testado por meio de um estudo de caso com usuários com doenças reumáticas.

Neste tipo de projeto, os papéis principais de cada parte envolvida acabam por se misturar, sendo importante a criação de equipes multifuncionais para a obtenção de resultados satisfatórios. O modelo define, então, um time multifuncional de desenvolvimento formado por quatro agentes principais, com suas respectivas funções e contribuições:

- a) Usuário final: especialista na sua própria experiência;
- b) Projetista: tem como função dar suporte às necessidades do usuário e garantir o desdobramento do processo, por meio de ferramentas e procedimentos;
- c) Terapeuta ocupacional: atua no sentido de validar ideias e os produtos finais, com um enfoque, sobretudo, na limitação de possíveis danos;
- d) Pesquisador: tem o papel de facilitar a comunicação e a dinâmica de interação entre as demais partes.

A estrutura geral do modelo também é dividida em quatro fases principais, sendo elas: (1) Questionário; (2) Projeto de produtos de referência; (3) Estágio de ativação; (4) Sessão geradora.

A primeira fase, Questionário, é marcada pelo recrutamento dos potenciais usuários e a aplicação de um primeiro questionário, por meio do qual os pesquisadores têm acesso a informações gerais sobre suas atividades diárias, desejos e necessidades. Solicita-se aos usuários que listem os DA's já utilizados anteriormente, com os prós e contras de cada um, e também aqueles que deveriam, mas não adotaram ainda, explicando o porquê. Posteriormente, os usuários são convidados à participação mais ativa no processo de desenvolvimento do produto.

A partir das informações obtidas na primeira fase, em torno das necessidades e desejos dos usuários, torna-se possível a realização da segunda, Projeto dos produtos de referência, na qual os projetistas, também amparados por informações oriundas de produtos de outras marcas, de pesquisas online e de sua própria experiência, buscam desenvolver (em CAD) um primeiro conceito de produtos que atendam algumas das necessidades dos usuários. São dois os objetivos principais que essa fase visa cumprir: (I) os produtos nela desenvolvidos serão utilizados na fase seguinte como referenciais para apresentar aos usuários a tecnologia 3DP; (II) após a conclusão do processo, esses produtos serão comparados com os finais para uma verificação da diferença entre os produtos desenvolvidos apenas pelos projetistas e aqueles pelos times multidisciplinares.

Na terceira fase, denominada Estágio de ativação, todos os *stakeholders* do projeto se encontram pela primeira vez em uma reunião, cujos objetivos principais são: (a) criar um senso de comunidade entre o grupo; (b) engajar os usuários finais no projeto e em atividades sociais; (c) promover uma maior consciência em torno da doença ou incapacidade a partir da comparação com outros indivíduos; (d) esclarecer o funcionamento da tecnologia 3DP e os seus prós e contras.

São formados grupos menores, em que se garante a presença de pelo menos um representante dos quatro agentes definidos para o time multifuncional: usuário final, projetista, terapeuta ocupacional e pesquisador. Essa composição é fundamental porque permite e estimula a comunicação entre os diversos membros e o compartilhamento de ideias e informações, já que cada um deles é especialista em determinada área de conhecimento e, ao mesmo tempo, principiante em outras.

Em cada um desses grupos são apresentados os produtos de referência desenvolvidos pelos projetistas na fase anterior e, então, cada participante é solicitado a efetuar modificações (geométricas, dimensionais, estéticas) no produto, de modo a torná-lo mais funcional e personalizado. Após isso, um novo produto é gerado, com o objetivo de atender as funções definidas para os produtos de referência: proporcionar a comparação entre o modelo gerado pelos projetistas e o gerado pelo grupo; esclarecer o funcionamento da tecnologia 3DP a todos os agentes do time.

Todas essas três primeiras fases são como que preparatórias para a fase final, Sessão geradora, que é o núcleo central de todo o processo e a fase na qual efetivamente serão desenvolvidos os produtos de maior necessidade para os usuários finais. É basicamente dividida em duas etapas principais, coprojeto e coprodução, e seu esquema geral pode ser visto na Figura 92.

O coprojeto é um processo iterativo, que tem por objetivo determinar os aspectos funcionais do produto, como geometria, dimensões, proporções, etc. São três os momentos principais que o compõem, na seguinte ordem de ocorrência: ideação, protótipo e teste. Estes poderão ser repetidos quantas vezes forem necessárias, até a obtenção de resultados satisfatórios na perspectiva de todos os envolvidos, sobretudo para os usuários finais. A seguir, são dados mais detalhes de cada um desses momentos:

- a) Ideação: são identificados os desejos e demandas dos usuários, bem como os limites estabelecidos pela patologia e pela própria tecnologia 3DP. Para a geração e discussão de ideias e soluções viáveis são utilizadas ferramentas como *brainstorming* e a realização de esboços em papel ou *tablet*;
- b) Protótipo: as soluções são geradas via 3DP de baixo-custo;
- c) Teste: os protótipos são testados pelos usuários finais sob a orientação dos terapeutas ocupacionais, de modo a evitar quaisquer possíveis danos.

A segunda etapa, coprodução, se inicia após a conclusão do coprojeto e é marcada pelo ajuste dos aspectos estéticos do produto. Aliás, é essa, para os autores, a diferença entre “protótipo”, gerado na fase de coprojeto, e “produto”, gerado nesta fase: a otimização da estética (cor, textura, decorações, etc.) pelo usuário final e das características de impressão (velocidade, espessura de camada, etc.) pelo projetista.

Como aspectos de destaque da metodologia, podem ser mencionados: os procedimentos para estabelecimento de uma equipe multifuncional de projeto, em que cada participante do processo contribui com uma determinada expertise; a figura do pesquisador na equipe multifuncional, enquanto facilitador da dinâmica e da interação entre as demais partes; a proposta do Estágio de ativação, que funciona como uma espécie de treinamento e integração para a equipe, visando o desenvolvimento satisfatório dos DA's na fase seguinte; a estrutura dinâmica e

iterativa da Sessão geradora, com a diferenciação entre coprojetado e coprodução, protótipo e produto.

Quanto às limitações, podem ser elencadas: a descrição pouco detalhada do processo de tratamento dos requisitos dos usuários e sua conversão em parâmetros de projeto; a falta de testes de avaliação e acompanhamento do produto a mais longo prazo.

Figura 92 – Esquema geral da Sessão geradora projeto +TUO

Fonte: Adaptado de Ostuzzi et al. (2015).

16) Hofmann et al. (2016)

Os autores se propõem a identificar os requisitos de um processo de projeto, de caráter iterativo e participatório, que possibilite engajar o usuário de TA na prototipagem rápida de dispositivos que atendam necessidades geralmente não identificadas pelos dispositivos tradicionais. Foram realizados estudos de caso com o desenvolvimento de DA's para indivíduos com próteses dos membros superiores, em três tarefas distintas: tocar um violoncelo, operar uma bicicleta manual, usar uma faca de mesa.

O modelo destaca três características como importantes para o projeto nesse contexto: modularidade, engajamento da comunidade e materiais intermediários de prototipagem que permitam uma maior interação (argila, espuma, Lego, etc.).

Num primeiro momento, foram coletadas informações relativas ao projeto por meio de entrevistas, da interação com participantes e da análise de dispositivos já existentes. Durante as entrevistas iniciais, foram discutidas com cada participante sua patologia e as limitações ocasionadas às atividades que desenvolviam.

Posteriormente foram realizadas as entrevistas de projeto, que envolviam também sessões de prototipagem e teste, em que usuários e projetistas trabalharam conjuntamente para o desenvolvimento dos DA's. Nestas sessões, os usuários atuaram com a geração de ideias, auxiliando na definição dos parâmetros de seus dispositivos e também com a prototipagem por meio materiais diversos (cola quente, Lego, espuma, argila, laços zip, etc.). Tais materiais foram adotados por sua praticidade e por seu caráter lúdico, tendo como finalidade encorajar uma maior participação e envolvimento dos usuários por meio de modificações diretas nos protótipos. Aos projetistas, coube a elaboração dos modelos em 3D (CAD), de modo a garantir a modularidade do produto, com a subsequente impressão 3D no período entre as entrevistas.

Por intermédio de testes iterativos, os usuários puderam modificar diversos parâmetros em busca do “ajuste natural”, identificando as relações entre os diversos parâmetros e o conforto e a funcionalidade do produto. A utilização dos materiais alternativos para prototipagem favoreceu o ajuste desses parâmetros e reduziu o tempo de projeto de um modo geral, com a necessidade de menos sessões de projeto.

Todos os testes foram efetuados em ambiente de laboratório e, embora o usuário pudesse levar os dispositivos para casa após a conclusão do projeto, não foram coletados dados de acompanhamento.

A criação de redes de suporte para o projeto – presenciais ou virtuais –, contando com amigos, familiares, professores, trabalhadores, médicos e outros projetistas, com diferentes níveis de experiência, foi também apresentada como um recurso de sucesso.

Entre os pontos interessantes da metodologia, destacam-se a utilização dos materiais intermediários para ajuste de parâmetros e auxílio da compreensão e materialização dos conceitos de produto, a proposta da criação de redes de suporte (presenciais ou virtuais) para o projeto e a abordagem de projeto modular.

A falta de uma estruturação mais detalhada e explícita do processo de desenvolvimento como um todo, bem como da utilização de ferramentas de projeto (identificação de requisitos, concepção, seleção) figuram entre as limitações da proposta. Também a ausência de testes de acompanhamento a mais longo prazo.

17) Thomnn, Morais e Werba (2017)

Os autores afirmam que o trabalho colaborativo no desenvolvimento de produtos dedicados e bastante específicos no campo médico e da TA, com o envolvimento de múltiplas competências e do usuário final, demanda uma reflexão sobre o método de projeto para que seja bem-sucedido. É preciso a criação de um ambiente de projeto favorável, capaz de integrar múltiplas competências e parâmetros. Desse modo, desenvolvem uma prática experimental de ensino interdisciplinar, focado na prototipagem rápida, com alunos e representantes de diversos departamentos de uma universidade para melhor compreender esse tipo de projeto e aperfeiçoá-lo.

Segundo os autores, a colaboração entre os diversos atores envolvidos no processo de projeto pode ser facilitada pela utilização de ferramentas e estratégias de gerenciamento específicas. Não basta simplesmente uma sobreposição dos conhecimentos técnicos, mas sim uma integração real das partes envolvidas. Para isso, o uso de representações e o estabelecimento de um contexto compartilhado de ideias são essenciais, além da utilização de objetos intermediários, como os protótipos. A manutenção da motivação desses atores, ao longo do projeto, é também muito importante.

Por meio de uma abordagem centrada no usuário e da utilização dos protótipos, os usuários podem interagir com as ideias e conceitos relacionados ao produto muito antes de sua conclusão, reduzindo assim os possíveis erros ou inadequações de projeto, possibilitando a realização de ajustes, modificações e

adequações de maneira mais ágil e, por fim, aumentando as possibilidades de adesão ao dispositivo.

Foram estabelecidos cinco grupos distintos de projeto (Tabela 15), cada um deles formado por professores e alunos (graduandos e pós-graduandos) de diferentes departamentos, a fim de se configurar um time multidisciplinar. Essa configuração diversificada ocasionou a adoção de metodologias também diferenciadas, segundo as características predominantes de cada grupo. De um modo geral, no entanto, a abordagem metodológica foi uma combinação de PCU, projeto iterativo, projeto baseado em cenários e ferramentas de ergonomia, como a análise ativa.

Inicialmente, foram realizados workshops por profissionais de diferentes áreas para a apresentação de conceitos e assuntos importantes na área da TA, com a finalidade de nivelar os conhecimentos básicos dos diversos atores envolvidos. Após isso, cada grupo passou a definir o gerenciamento do seu tempo e do projeto de um modo geral, com suas fases e intervenções específicas.

Foi possível notar que os projetos dos grupos com mais representantes técnicos (engenheiros e projetistas) adotaram estágios mais específicos e detalhados para o processo, com marcos de decisão mais bem definidos, e tiveram um progresso mais linear que os demais grupos.

A restrição de tempo dos atores envolvidos e a dependência em relação aos usuários – do tempo livre destes, por exemplo – foram alguns dos fatores que mais atravancaram a marcha do projeto.

A Tabela 15 apresenta um resumo dos estudos de caso desenvolvidos, com os métodos e técnicas utilizados em cada caso e os principais problemas identificados.

O cuidado com a formação e a integração da equipe multifuncional de projeto, com técnicas e procedimentos próprios para isso, e a análise das modificações metodológicas no processo de desenvolvimento segundo as configurações das equipes são aspectos de destaque do estudo.

Por outro lado, a ausência de uma descrição mais detalhada do processo de desenvolvimento de cada produto (procedimentos, ferramentas, etc.) e a falta, na

maioria dos estudos de caso, de um acompanhamento para testes, avaliação e aperfeiçoamento do projeto se configuram como as limitações do estudo.

Tabela 15 – Quadro resumo dos estudos de caso desenvolvidos

Produto e objetivo principal	Métodos e técnicas utilizados	Problemas encontrados
Criação de um dispositivo que realiza a medição da pressão externa do balonete em usuário submetido a traqueostomia	Análise ativa Observações diretas dos usuários Prototipagem com materiais alternativos	Difícil compreensão das necessidades pelos profissionais da tecnologia. Necessidade de estudo prévio sobre traqueostomia pelos engenheiros e projetistas.
Criação de um suporte para <i>tablets</i> para indivíduos sem coordenação dos membros superiores e usuários de cadeiras de rodas	Análise ativa Observações diretas dos usuários Modelagem virtual (CAD) Prototipagem rápida	Ausência de engenheiro mecânico. A percepção de um engenheiro de projeto poderia auxiliar na criação de outros conceitos.
Projeto de um dispositivo para limpeza individual e independente após a realização das necessidades fisiológicas	Análise ativa Modelagem virtual (CAD) Prototipagem (materiais alternativos e ABS)	Difícil observação dos usuários durante a execução da tarefa. Tempo muito curto para a prototipagem e os testes.
Projeto de um abridor de embalagens para pessoas com deficiências nos membros superiores	Análise ativa Modelagem virtual (CAD) Confecção de esboços	Impossibilidade na fabricação de protótipos funcionais pela ausência dos elementos mecânicos construtivos.

Produto e objetivo principal	Métodos e técnicas utilizados	Problemas encontrados
Desenvolvimento de um brinquedo que permita que crianças com paralisia cerebral possam brincar	Análise ativa Pesquisa com usuários Teste de usabilidade com protótipo funcional	Grande diversidade entre as características de pessoas com paralisia cerebral. Limitações do software de controle <i>Sphero</i> .

Fonte: Adaptado de Thomnn, Morais e Werba (2017).

18) Harris (2017)

O autor propõe um modelo de desenvolvimento para produtos de TA, caracterizado por cinco fases principais, cada uma com uma lista de atividades a serem desempenhadas, sendo elas: (1) Viabilidade; (2) Desenvolvimento do conceito; (3) Prototipagem e testes; (4) Desenvolvimento; (5) Comercialização. Ao final de cada fase, é realizado um encontro (*stage-gate*) para a avaliação e documentação dos resultados obtidos e das atividades realizadas e para a tomada conjunta de decisões com relação aos próximos passos do projeto.

A primeira dessas fases, Viabilidade, é destinada ao recolhimento de todas as informações que possam vir a ser úteis para o projeto, como, por exemplo: informações de mercado e de produtos existentes, opiniões e contribuições de profissionais e especialistas, dados de projetos e/ou testes anteriores, material publicado, entre outras. Tudo isso irá contribuir na determinação da continuidade ou não do desenvolvimento do produto idealizado.

Nesta fase, a equipe de projeto e a equipe clínica trabalham conjuntamente de modo a descortinar os requisitos para o produto. São também realizados esboços, estudos de viabilidade técnica de algumas soluções propostas e estimativas superficiais dos custos. Por fim, engenharia e marketing buscam delinear conjuntamente os benefícios do produto, o seu potencial de mercado, as estratégias de distribuição e os possíveis parceiros. Como resultado final dessa fase, é elaborado um relatório que reúna as diferentes opções estratégicas e as

características resumidas do projeto. Esse relatório será sistematicamente atualizado à medida que o projeto vai sendo desenvolvido.

A segunda fase é a do Desenvolvimento do conceito, onde mais propriamente será realizado o processo de ideação. Para que este seja bem-sucedido, aconselha-se a realização de uma pesquisa anterior em busca de inspiração tanto visual como funcional e tecnológica, nos mais diversos campos possíveis. É útil o estabelecimento de um time multidisciplinar, com os *stakeholders*, usuários primários e secundários, a fim de melhor se processar o delineamento dos requisitos do projeto. Os conceitos obtidos deverão ser contrapostos aos critérios já estabelecidos para o projeto, tais como usabilidade, custo, facilidade de fabricação, entre outros. Nesse sentido, é interessante a utilização de ferramentas de metodologia como, por exemplo, a Casa da Qualidade, por facilitarem o entendimento dos pontos fortes e fracos de cada conceito e por ajudarem na identificação dos *tradeoffs* do projeto.

O passo seguinte é a geração de ilustrações e *mock-ups* dos conceitos, em busca do feedback dos usuários e *stakeholders* e, por conseguinte, de uma melhor compreensão das vantagens e desvantagens de cada conceito. Grupos focais com os usuários primários e secundários são também uma excelente alternativa em busca dessas informações. Entrevistas pessoais com esses usuários, embora tomem mais tempo, são também uma opção viável para aprofundar as informações acerca dos conceitos apresentados. Todas as informações devem ser reunidas em um relatório e em uma lista de requisitos para o projeto. A recomendação de um ou mais conceitos (não mais que três) para serem prototipados na fase seguinte é o resultado final desta fase.

Na terceira fase, Prototipagem e testes, são gerados protótipos do produto, de preferência com a maior funcionalidade e qualidade de aparência possíveis. Com esses protótipos em mãos, são realizados os testes com os usuários, com dois enfoques principais: usabilidade e desempenho. Uma análise de riscos deve também ser conduzida, antes dos testes com os usuários, de modo a identificar os componentes críticos e desenvolver os meios adequados de controle. O feedback dos testes pelos usuários pode consistir de entrevistas estruturadas, observação e/ou de alguma medida obtida durante de utilização dos protótipos.

A partir dos resultados dos testes, torna-se possível definir se mudanças serão necessárias no projeto e se os protótipos receberão investimento para o desenvolvimento posterior nas etapas seguintes do processo. Os resultados finais desta fase consistem, além dos resultados dos testes, nos desenhos técnicos e nos protótipos que serão utilizados para apresentação e avaliação do produto.

A quarta fase é denominada Desenvolvimento, sendo caracterizado pelo desenvolvimento do projeto, à luz das informações obtidas na fase anterior, tanto aquelas relativas ao desempenho técnico como aquelas relacionadas às opiniões dos usuários. Essa fase comporta uma certa mudança nas características do produto, especialmente na estética e na linguagem visual, mas não ao ponto de serem necessários novos testes. É realizado o levantamento dos materiais e componentes a serem utilizados na fabricação (*Design for Manufacturing and Assembly – DFMA*), de maneira a se ter uma estimativa mais real do custo de manufatura do produto, também com a verificação das possíveis oportunidades de redução de custos de fabricação. Além disso, são efetuados os cálculos de esforços envolvidos na utilização do produto e uma Análise de Modos de Falha e Efeitos – *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA).

De posse dessas análises, cálculos e informações, um novo protótipo é gerado, que busque incorporar todas as mudanças de projeto adotadas nesta fase. O objetivo é que esse protótipo se pareça o máximo possível com o produto final. Novos testes funcionais e de desempenho são conduzidos para a certificação do produto. A documentação e as instruções de operação são revisadas, bem como as estratégias de marca e embalagem. Os relatórios de validação com os usuários e arquivos de projeto devem conter todas as informações necessárias para serem apresentados a um possível parceiro comercial. Um dossiê final detalhando os materiais, acabamentos, componentes, dimensões, referências, resultados dos testes, regulamentações e todas as demais informações acerca do projeto é o resultado final desta fase.

Finalmente, a quinta fase, Comercialização, é frequentemente a mais difícil delas. A equipe de desenvolvimento deve estar disposta a seguir acompanhando a companhia que assumiu o produto para uma possível aprovação regulatória ou para a concretização de melhorias de projeto e manufatura, de modo a garantir que o

produto siga atendendo às necessidades de seus usuários. No caso de um produto novo ou marcadamente inovador, formar uma companhia ou *spinout* para fabricá-lo e distribuí-lo talvez seja a melhor estratégia. De qualquer modo, a gestão da marca e a conquista do mercado são fatores determinantes para o sucesso do produto.

No que diz respeito aos pontos de destaque a metodologia, pode-se enumerar: a maior estruturação do processo como um todo, com as atividades, ferramentas e saídas de cada fase; um maior detalhamento técnico do processo; uma visão mais abrangente de projeto, para além apenas da concepção e fabricação, analisando também as estratégias de inserção no mercado.

A abordagem apenas teórica, no entanto, sem o acompanhamento de um estudo de caso para melhor detalhamento da aplicação e validação do método proposto se apresenta como uma das limitações.

19) Berger et al. (2018)

Os autores exibem um método de projeto participatório no desenvolvimento de bastões de boca e de estojos de mouse personalizados destinados a pessoas sem a funcionalidade das mãos e dos braços ou com funcionalidade reduzida.

O projeto dos bastões se deu com uma abordagem participatória, com a utilização de questionários, workshops e grupos focais, além de uma ferramenta desenvolvida na web para que os usuários pudessem projetar parametricamente seus bastões de maneira personalizada. Ao longo do desenvolvimento, usuários e terapeutas ocupacionais foram integrados no processo como especialistas na seleção dos materiais. Os DA's foram testados com grupos focais.

Em relação ao projeto dos estojos, foram adotadas duas abordagens: a primeira baseada no método de análise morfológica e a segunda seguindo os princípios de projeto participatório. Neste segundo caso, foram desenvolvidos tanto projetos de novos estojos como também projetos de estojos para serem adaptados a mouses já existentes.

Na abordagem baseada no método de análise morfológica, ao início do processo, é elaborada uma tabela com as funções necessárias para o produto na

vertical, acompanhadas, cada uma delas, de uma série de possíveis soluções na horizontal. Torna-se possível, assim, a utilização de diversas combinações possíveis de soluções para projeto conceitual do produto. Cada um destes conceitos é então avaliado pela atribuição de pontuações a diversas características, como peso, custos, usabilidade, funcionalidade, facilidade de montagem, entre outras. Aqueles de maior pontuação são fabricados (via impressão 3D) e testados pelo usuário, sem um teste especificamente estruturado.

No segundo caso, com uma abordagem do tipo participatória, são colhidos os requisitos do usuário para o produto por meio de uma entrevista simples. A partir daí é feita uma série de iterações no projeto conceitual do DA, com o acompanhamento do usuário, até uma solução satisfatória. Os resultados com essa abordagem se mostraram mais satisfatórios com os testes preliminares.

O projeto paramétrico e a ferramenta desenvolvida na web para personalização dos dispositivos são aspectos que merecem ser realçados. A utilização concomitante de duas abordagens de projeto (análise morfológica e participatória) para o desenvolvimento de um mesmo DA é também um ponto interessante.

A simplicidade descritiva, bem como a falta de uma estruturação mais bem definida do método de projeto são algumas das limitações do estudo.

20) Da Silva et al. (2018)

Os autores apresentam um método de projeto colaborativo interdisciplinar que busca combinar diversas áreas como projeto de produto, reabilitação, prototipagem rápida e ergonomia. A aplicação se dá no desenvolvimento de uma prótese customizada de membro superior para uma criança com amputação bilateral transradial.

É composto basicamente por seis fases principais, como se vê na Figura 93: (1) Exploração; (2) Briefing; (3) Projeto conceitual; (4) Prototipagem; (5) Testes; (6) Provisão.

Figura 93 – Método de projeto colaborativo interdisciplinar

Fonte: Adaptado de Da Silva et al. (2018).

A primeira fase, Exploração, além da identificação da oportunidade de desenvolvimento é também caracterizada pela busca do conhecimento das necessidades e expectativas do usuário, bem como de suas experiências anteriores com outros DA's. Para isso, é conduzida uma entrevista em que se registram suas principais dificuldades nas atividades diárias (sem a utilização de um DA ou com um modelo anterior), suas habilidades e seus anseios em relação ao novo produto.

Na segunda fase, Briefing, é feito um estudo acerca das tecnologias disponíveis e das condições do usuário (sua patologia, restrições, etc.), de modo a se ter uma primeira ideia sobre o tipo de DA a ser desenvolvido. O projeto é então dividido em três aspectos principais – técnico, ergonômico e estético –, a fim de facilitar o processo de tomada de decisões. No caso do primeiro aspecto, alguns fatores importantes considerados são: fácil manutenção, baixo custo, simplicidade das peças a serem manufaturadas, entre outros. Em relação ao segundo, podem ser citados: leveza, facilidade de higienização e de colocação. Por fim, quanto ao terceiro aspecto, destacam-se: a customização das cores e efeitos pelo usuário, uma aparência que possa amenizar a estigmatização.

A terceira fase, Projeto conceitual, visou num primeiro momento a busca por modelos de prótese já disponíveis (*open-source*), que melhor se adaptassem aos requisitos de projeto. Foi escolhido um modelo do site *Thingiverse*. Após a fabricação e os testes (fases seguintes) com esse primeiro conceito, retorna-se a esta fase para adequação do projeto. Várias partes da prótese foram reprojatadas de modo a customizá-la com as preferências do usuário e a inserir novos detalhes funcionais. Foi inclusive realizado um molde do toco do usuário, o qual foi

posteriormente escaneado tridimensionalmente para a obtenção de parâmetros mais adequados para o ajuste da prótese ao indivíduo.

Na fase seguinte, Prototipagem, foi primeiramente fabricado, em PLA, o modelo *open-source* via impressão 3D, tendo sido montado a partir das orientações apresentadas na página da prótese no site. Vale ressaltar que foi necessária a tomada de algumas medidas do usuário para a fabricação da prótese, as quais foram inseridas num software específico que permite efetuar modificações no modelo digital original. Após o reprojetado da prótese, durante o processo iterativo de adequação do projeto conceitual, foi fabricada uma segunda versão, feita em PLA, mas também com peças em TPU (poliuretano termoplástico) para a obtenção de certa flexibilidade em determinadas peças.

Finamente, na última fase, Provisão, foram conduzidos testes finais desta segunda versão do DA com o usuário, na presença de um protético e de um terapeuta ocupacional. Não foram utilizados testes específicos ou validados, mas sim algumas tarefas básicas como escrita, movimentação de objetos, etc., durante as quais foram colhidas as impressões do usuário. Após os testes, o produto é finalmente entregue.

Entre os pontos de destaque do modelo, a abordagem que parte de um modelo obtido via projeto *open-source* para alternativas de adaptação (inclusive com a utilização do escaneamento 3D para melhor ajuste) merece ser listada. Vale também mencionar a divisão do projeto em frentes distintas (técnica, ergonômica e estética).

A ausência de ferramentas técnicas (de identificação de requisitos, concepção, seleção, etc.) pode ser enumerada como uma das limitações da metodologia. A falta de um acompanhamento a mais longo prazo para testes também.

21) Day e Riley (2018)

Os autores descrevem um processo de desenvolvimento centrado no usuário, com um estudo de caso na fabricação de um DA para um indivíduo com amputação parcial de mão, destinado a auxiliá-lo a tocar um instrumento musical (trompa).

Antes do projeto do produto, o indivíduo foi submetido a uma entrevista em que pôde relatar sua experiência com dispositivos anteriores e os motivos pelos quais não foram bem-sucedidos. Foram também colhidos os requisitos de projeto na perspectiva do usuário, como, por exemplo, a necessidade de que o DA seja leve e possa ser transportado na própria caixa do instrumento, a exigência de que nenhuma modificação seja necessária no instrumento musical para adaptação ao uso do dispositivo, entre outras.

A partir desses requisitos, foi elaborado primeiramente um protótipo com a utilização de termoplástico de baixa temperatura para verificação do conceito. Depois, a forma do DA foi obtida a partir de um molde de alginato da mão do usuário, preenchido com gesso, sendo posteriormente convertida para uma imagem digital com o auxílio de um software de fotogrametria. O protótipo foi modelado virtualmente por intermédio de outro software específico e então fabricado por impressão 3D, em PLA.

O protótipo foi submetido a uma avaliação com o usuário para ajustes e verificação do encaixe, passando por um reprojeção em que duas novas configurações foram desenvolvidas. Foi feita também uma avaliação de satisfação, com o preenchimento de um formulário no qual o usuário avaliava cada protótipo do DA em termos de ajuste, conforto, funcionalidade, etc. As respostas foram inseridas numa matriz de Pugh, ou matriz de decisão, para comparação com as respostas dadas em relação ao primeiro protótipo, feito em termoplástico, que foi adotado como linha de base.

Além do critério de satisfação do usuário, o projeto como um todo também foi avaliado por intermédio de uma análise estrutural por elementos finitos, bem como pelo seu custo.

Um fluxograma esquemático do processo pode ser visto na Figura 94.

Figura 94 – Fluxograma esquemático do método desenvolvido

Fonte: Adaptado de Day e Riley (2018).

A utilização do método de elementos finitos e da matriz de Pugh para avaliação do produto podem ser destacados como pontos interessantes da metodologia apresentada. A utilização do molde de alginato para captura da forma e da fotogrametria também.

Por outro lado, a falta de uma estruturação do processo de projeto em si, para além da descrição da sequência de atividades desenvolvidas, e a ausência ou limitada descrição de ferramentas técnicas (coleta e tratamento de requisitos, concepção, seleção, etc.), podem ser vistas como limitações da metodologia.

22) Gherardini et al. (2018)

Os autores apresentam um método sistemático e centrado no usuário para o coprojetado de DA's customizados com o auxílio da MA, visando envolver diretamente os usuários no processo e garantir a produção de dispositivos que realmente atendam as necessidades do usuário, inclusive aquelas emocionais e psicológicas, de modo a evitar o abandono dos produtos. Para isso, focam nos casos de indivíduos com desordens que comprometam a funcionalidade das mãos e realizam um estudo de caso no desenvolvimento de um abridor de latas.

Foi composta para o desenvolvimento do projeto uma unidade interdisciplinar de pesquisa, formada por reumatologistas, médicos de reabilitação e terapeutas ocupacionais, além dos engenheiros de projeto e dos próprios usuários.

O método traz uma abordagem sistemática com processos iterativos e de validação, caracterizado pelas seguintes fases principais: (1) Mapeamento das necessidades terapêuticas do usuário; (2) Coprojetado do DA customizado; (3) Modelagem paramétrica do DA; (4) Validação preliminar, treinamento e entrega do DA, com posterior acompanhamento; (5) Implementação de modificações e documentação. Cada uma dessas fases é primordialmente realizada por um conjunto de atores específicos, como pode ser visto na Figura 95.

Figura 95 – Método sistemático de coprojetado

Fonte: Adaptado de Gherardini et al. (2018).

A primeira fase, Mapeamento das necessidades terapêuticas do usuário, é realizada em conjunto por este e pelo TO, buscando fazer uma análise do histórico do usuário, dos dispositivos já utilizados, abandonados, etc., e das estratégias pessoais de solução e compensação adotadas anteriormente. O resultado dessa fase é uma lista de demandas em relação ao desenvolvimento de novos DA's.

A fase seguinte, Coprojeto do DA, é a etapa central do método, no qual o usuário, o TO e o engenheiro de projeto se envolvem diretamente no processo de elaboração de soluções conceituais e definição das variáveis funcionais, morfológicas e dimensionais do produto. É caracterizada pelas seguintes etapas:

- a) Definição das necessidades do usuário e conversão destas em requisitos funcionais e especificações para o coprojeto. Para isso são utilizadas ferramentas específicas, como a *USERfit Product Analysis* (POULSON; RICHARDSON, 1998), que consiste numa matriz para a extração das perspectivas do usuário em relação ao DA (suas expectativas, entendimento, necessidades, atividades que espera realizar) e a associação dessas perspectivas às características do produto e às ações de projeto necessárias. Por fim, os resultados dessa etapa são inseridos no QFD ou em alguma outra ferramenta do tipo para auxiliar a equipe de projeto a definir prioridades, requisitos técnicos e características do produto;
- b) Sessão de desenvolvimento, na qual são elaboradas as soluções conceituais viáveis para atender as demandas de projeto, mesmo aquelas que não tenham vindo diretamente do usuário. Por meio de entrevistas pessoais ou outras ferramentas de avaliação da experiência pessoal (por exemplo, *storytelling*) busca-se conhecer seus desejos, expectativas e dificuldades em relação a uma determinada tarefa ou ao uso de um determinado DA;
- c) Etapa criativa, em que o usuário, com o auxílio da equipe de projeto, é chamado a definir as soluções conceituais. Para facilitar a comunicação entre os envolvidos e a avaliação das soluções, são utilizadas algumas ferramentas, como: modelagem 3D (CAD); aproveitamento de geometrias 3D já existentes (oriundas de uma biblioteca física ou virtual de DA's); prototipagem manual, com a utilização de materiais maleáveis, feita diretamente pelo usuário ou por algum outro membro da equipe com base nas

instruções daquele; escaneamento a laser de geometrias com base na anatomia do usuário ou adaptadas a ela;

- d) Compilação das informações obtidas para o projeto, com a análise de cada uma das soluções conceituais das perspectivas funcional, ocupacional, ergonômica, psicológica e emocional em busca dos pontos mais sensíveis. A saída desta etapa consiste nas soluções conceituais, nas variáveis de funcionalidade, dimensão e morfologia, bem como nos requisitos de parametrização.

Como terceira fase, conduzida primordialmente pelo engenheiro de projeto, tem-se a Modelagem paramétrica do DA em um software 3D CAD e a sua fabricação (ou a de um protótipo de avaliação) via MA. Vale frisar que é feito um estudo dos parâmetros do processo, com base em princípios de Design for Additive Manufacturing (DFAM), para garantir a melhor qualidade do produto e o menor trabalho de pós-processamento.

A quarta fase consiste de uma Validação preliminar do DA, caracterizada também pelo treinamento para o uso adequado, a entrega do dispositivo e o acompanhamento. A validação preliminar se efetua por meio de sessões individuais com o usuário, a fim de verificar o andamento da utilização do DA. Essas sessões são também aproveitadas para o treinamento em relação ao uso adequado do dispositivo, sendo sucedidas pela entrega. É feito ainda um acompanhamento durante seis meses após a entrega, de maneira a avaliar o uso do dispositivo e as percepções do usuário em relação à qualidade do produto e ao atendimento de suas necessidades.

Tanto na etapa de validação preliminar como de acompanhamento, foram utilizadas duas ferramentas de avaliação do DA: PIADS (Psychosocial Impact of Assistive Devices Scale), que avalia o grau de familiaridade e competência que o usuário adquiriu em relação ao uso do DA (DEMERS et al., 2002); e QUEST (Québec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology), a qual visa estimar a satisfação do usuário quanto ao DA e ao serviço de fornecimento (DEMERS; WEISS-LAMBROU; SKA, 2000).

Por fim, a quinta e última fase, Finalização da modelagem e documentação, tem como função implementar modificações no DA a partir dos retornos obtidos da fase anterior (validação e acompanhamento), além de completar o processo de documentação do projeto.

Como pontos de destaque da metodologia, podem ser citados: a boa estruturação e detalhamento do processo, com suas fases e etapas específicas; o foco no estabelecimento de um método realmente sistemático para o projeto em TA; a definição dos atores mais propriamente envolvidos em cada fase; a abordagem paramétrica de projeto; a adoção de princípios de DFAM e o estudo dos parâmetros do projeto e fabricação; o acompanhamento a mais longo prazo (6 meses) após a entrega do produto.

23) Haring et al. (2018)

Os autores exibem o processo de desenvolvimento de um DA, com a utilização do escaneamento e da impressão 3D, voltado para crianças entre 6 e 12 anos com simbraquidactilia branda, sem qualquer forma de dedo apontador e com um polegar parcial.

O processo consiste de três fases ou sessões principais. Durante a primeira sessão, é feito um molde da mão comprometida do usuário. Este, por sua vez, é utilizado para o escaneamento 3D, gerando um modelo virtual do DA. O modelo é ajustado por meio de um software CAD e, então, fabricado via impressão 3D, como esquematizado nos passos de A a E da Figura 96.

Vale ressaltar que, no caso deste trabalho, o conceito do dispositivo partiu de um trabalho anterior de mestrado acerca da mesma condição, o que trouxe importantes informações para o desenvolvimento do projeto. Além disso, um sucinto estudo da patologia, das limitações que esta ocasiona e de que como o dispositivo irá atuar para saná-las foi também realizado. A cor do dispositivo e sua forma interna puderam ainda ser customizadas segundo os desejos do usuário e uma discussão foi conduzida com os pais e as crianças sobre a importância desse tipo de personalização para a superação do estigma e para a autoestima do usuário.

Figura 96 – Processo de geração do dispositivo

Fonte: Haring et al. (2018).

Na segunda sessão, o ajuste físico do dispositivo é avaliado, bem como o desempenho do usuário com e sem o DA por meio do teste SHAP (*Southampton Hand Assessment Procedure*), desenvolvido para medir a funcionalidade da mão em práticas clínicas a partir dos chamados índices de função, que são pontuações baseadas nos registros de tempos. O teste consiste na movimentação de objetos de diferentes tamanhos e texturas de um local a outro, buscando representar atividades cotidianas. No caso deste trabalho, como os usuários eram crianças e os objetos do teste direcionados para adultos, foi adotada uma adaptação do teste para crianças, denominada SHAP-C.

Após a segunda sessão, as crianças e seus pais foram inseridos numa tarefa de treinamento por um período de duas a três semanas com o objetivo de familiarizá-los com o dispositivo e também para encorajar as crianças a utilizarem o DA em suas tarefas cotidianas. O programa de treinamento consistia numa série de breves tarefas que as crianças deveriam realizar com o dispositivo. Depois deste período de treinamento, na terceira sessão, o desempenho com e sem o DA foi novamente avaliado com o teste SHAP-C.

A partir dos resultados dos testes, modificações (ergonômicas ou de aplicabilidade) foram pensadas para novas versões do dispositivo.

O processo de treinamento com o usuário e os familiares e a aplicação recorrente dos testes de avaliação são pontos positivos do estudo.

A ausência de uma estruturação metodológica mais formal e detalhada, bem como a falta de técnicas e ferramentas de projeto (identificação e tratamento dos requisitos, concepção, seleção, etc.) podem ser citadas como limitações.

24) Portnova et al. (2018)

Os autores apresentam uma abordagem centrada no usuário para aperfeiçoar o projeto de DA's (órteses) destinados a indivíduos com lesão na medula espinhal, por meio do desenvolvimento e da quantificação destas melhorias na fabricação, com o uso de CAD e impressão 3D, e também por intermédio de testes iterativos com os usuários.

O projeto foi desenvolvido por uma equipe multifuncional, constituída de engenheiros, ortesistas e um cinesilogista. Em reunião, a equipe definiu uma lista de requisitos de projeto para o produto que foi tomada como base para a elaboração de um primeiro modelo virtual (CAD). O modelo foi desenvolvido de maneira parametrizada, com algumas dimensões fixas e outras facilmente modificáveis para permitir a adaptação a diferentes usuários. Esse modelo foi sendo alterado ao longo do projeto de acordo com o retorno de outros ortesistas e dos usuários.

Um manual com as orientações para a tomada das medidas do usuário e também de fabricação e montagem, para posterior replicação, foi elaborado, sendo atualizado à medida que o projeto foi sendo modificado.

Também foi realizado um estudo acerca da orientação de fabricação das peças na impressora 3D, de modo a reduzir ao máximo a utilização de material de suporte, e, assim, facilitar o pós-processamento e obter um melhor acabamento superficial.

Primeiramente, foi efetuada uma rodada de testes – denominada teste de fabricação – com ortesistas para que avaliassem a fabricação do DA e opinassem sobre suas características (facilidade de fabricação, conforto, estética, funcionalidade) e possíveis melhorias. A partir do modelo virtual e do manual elaborados, foram convidados a fabricar e montar o dispositivo, sob a observação e com o eventual auxílio da equipe multifuncional. O tempo gasto por cada um foi registrado e, ao final, preencheram um formulário, com a atribuição de notas de 1 a

10 (sendo 10 o melhor resultado) para as características mencionadas anteriormente e com a indicação de possíveis melhorias.

O produto foi submetido, então, a uma segunda rodada de testes, desta vez com os usuários finais, a fim de avaliar seu desempenho e usabilidade. Três usuários participaram dos testes. Numa primeira visita, foram tomadas as medidas de cada usuário para a impressão do dispositivo e, na segunda, o produto já ajustado a essas medidas foi fornecido a cada um. A primeira avaliação foi relativa à facilidade em colocar e retirar o DA. Foram medidos os tempos que cada usuário gastou no processo, além de terem sido coletados comentários qualitativos. Posteriormente, os níveis de dor e motivação de cada usuário foram registrados por intermédio de uma escala autorrelatada de 1 a 10.

Após um breve período de aclimação com o DA, os usuários foram submetidos a três testes clínicos, já padronizados e comumente utilizados para avaliação funcional: teste caixa e blocos (*Box and Blocks test*), teste de função manual Jebsen Taylor (*Jebsen Taylor Hand Function test*) e dinamômetro de dedo (*pinch dynamometer*). A ordem dos testes para cada participante não foi formalmente randomizada, mas variou entre eles.

Os usuários foram ainda convidados a atribuir notas ao produto, numa escala de 1 (pior) a 10 (melhor), em relação às seguintes características: funcionalidade, estética, facilidade de colocação, conforto, adequação às suas necessidades. Também foram questionados quanto às suas experiências com DA's anteriores e sobre possíveis melhorias para o dispositivo testado. Essas modificações foram incorporadas ao projeto para futuros testes.

A adoção de uma equipe multifuncional, com a presença inclusive de um especialista em cinesiologia, é um dos pontos de destaque da metodologia. A realização de um projeto parametrizado, com a elaboração de um manual para tomada de medidas é outro aspecto interessante. A adoção de diversas etapas de teste do produto, com os especialistas num primeiro momento e com os usuários depois, além da utilização de testes já validados em conjunto com outros mais simples também merece destaque.

Em relação às limitações da metodologia, podem ser destacadas: a falta de uma estruturação mais explícita do método, com uma descrição mais detalhada das fases e atividades específicas de cada uma; e a ausência de ferramentas de projeto (coleta e tratamento de requisitos, concepção, seleção, etc.).

25) Gordes e Waller (2019)

Os autores apresentam um programa piloto de colaboração interprofissional no desenvolvimento e fabricação de dispositivos adaptativos, envolvendo doutorandos em fisioterapia e computação, juntamente com alunos em uma empresa de serviços de impressão 3D. Contou-se também com a colaboração de professores da faculdade de ambas as áreas mencionadas. Foram formados vários grupos e desenvolvidos dispositivos para usuários com diagnósticos variados, como acidente vascular cerebral, diabetes, patologias neuromusculares, entre outros.

Embora se trate de um programa piloto educacional, o trabalho foi selecionado devido à descrição metodológica do processo de formação das equipes interprofissionais e do desenvolvimento dos dispositivos, estando assim inserido no contexto mais amplo da metodologia de desenvolvimento em TA.

O objetivo primordial era desenvolver competências para o trabalho colaborativo em equipes interprofissionais, com base nas competências centrais propostas pelo *Interprofessional Education Collaborative*® (IPEC), as quais são divididas em quatro domínios principais (IPEC, 2016): (I) Valores e Ética, por meio dos quais os representantes de cada área se conscientizam quanto ao respeito devido à contribuição de cada parte envolvida; (II) Papéis e Responsabilidades, em que os representantes de cada área compreendem como suas capacidades e conhecimentos podem se complementar de modo a melhor atender às demandas dos usuários em reabilitação; (III) Comunicação Interprofissional, em que os representantes de cada área podem efetivamente compartilhar informações por intermédio de terminologia adequada e compreensível e de avaliações respeitadas e construtivas; (IV) Times e Trabalho em equipe, no qual os usuários podem identificar os benefícios da abordagem de uma equipe interprofissional na solução de suas necessidades terapêuticas.

O programa foi dividido em seis sessões, como apresentado no esquema da Figura 97, cada uma com uma finalidade específica.

A primeira sessão é basicamente introdutória, em que por meio de palestras e discussões abertas são apresentadas informações e características acerca da utilização da impressão 3D no campo da TA, do papel da fisioterapia no desenvolvimento de DA's, etc.

As sessões de 2 a 4 representam um cenário simulado para o desenvolvimento de um DA, como uma espécie de treinamento para a equipe.

Na segunda sessão, é gerado um molde de uma massa de brincar para adaptar um DA para o cenário de um usuário simulado. Os membros da equipe pertencentes à área da saúde (doutorandos em fisioterapia e professores) se utilizam de seus conhecimentos sobre anatomia, movimento e biomecânica, enquanto aqueles da área técnica (doutorando em computação e professores, alunos da empresa de impressão 3D) contribuem com seus conhecimentos em modelagem virtual e impressão 3D. Aspectos como os padrões de movimento funcionais, as vantagens e desvantagens de cada material e seu impacto na funcionalidade do produto são debatidos. No trabalho em questão, foram formadas ao todo cinco equipes, cada uma com um cenário simulado distinto e um tipo de DA a ser desenvolvido.

Entre as sessões 2 e 3, a partir do molde gerado e de uma folha de orientações preenchida pelos representantes da área de saúde, uma primeira versão do DA é fabricada via impressão 3D pelos representantes da área técnica. Na terceira sessão, o dispositivo é apresentado por um representante da área da saúde, que busca destacar seus aspectos positivos e negativos, com recomendações para melhorias do ponto de vista clínico. Os representantes da área técnica, por sua vez, discutem os desafios para a fabricação do dispositivo e as recomendações para modificações da perspectiva da impressão 3D. Como resultado desta sessão, é gerada uma nova folha de orientações para produção do DA.

Figura 97 – Desenho esquemático do programa piloto

Fonte: Adaptado de Gordes e Waller (2019).

Novamente, entre as sessões 3 e 4, uma nova versão do DA é fabricada, refletindo as modificações sugeridas na sessão 3. Na sessão 4, outra apresentação é feita com a transição do produto inicial para o final, realçando-se mais uma vez os pontos positivos e negativos do ponto de vista clínico e técnico.

As sessões 5 e 6 tratam de um caso real para o desenvolvimento de um DA.

Na quinta sessão, a equipe interprofissional trabalha colaborativamente para a criação de um molde de argila de um DA que venha a atender as necessidades do usuário. No trabalho em questão foram formadas ao todo doze equipes, cada uma voltada para o atendimento a um usuário e suas necessidades.

Entre as sessões 5 e 6, os representantes da área técnica geram um dispositivo impresso em 3D a partir do molde de argila, o qual é analisado pelos demais membros da equipe em busca de possíveis modificações ou melhorias antes da entrega do produto ao usuário. Após as modificações, uma nova versão do DA é gerada.

Finalmente, na sessão 6, o produto é apresentado ao usuário, com a realização de modificações em tempo real, quando possível, de modo a aperfeiçoar o ajuste e a funcionalidade do DA junto ao usuário. Cada membro da equipe, bem como o usuário, expõem então suas perspectivas para o restante do grupo quanto ao produto desenvolvido.

Pesquisas online são utilizadas para acompanhar a experiência e as percepções dos membros da equipe de desenvolvimento após cada sessão. Pesquisas por escrito são também distribuídas para os usuários, de maneira a avaliar o seu nível de satisfação com a abordagem do projeto. São feitas ainda entrevistas com os membros da equipe e o usuário após cada sessão, a fim de coletar informações sobre suas experiências e perspectivas após cada fase.

Como pontos positivos da metodologia, podem ser listados o foco em competências para formação e integração de uma equipe interdisciplinar e a proposta de treinamento da equipe em cenários simulados.

No que diz respeito às limitações, menciona-se a falta de uma estruturação mais técnica, com a descrição das ferramentas e procedimentos adotados, sobretudo para a identificação dos requisitos junto ao usuário, a concepção do produto e a seleção dos conceitos viáveis.

26) Lee et al. (2019)

Os autores propõem um método de desenvolvimento de um DA (órtese) customizado com a utilização do escaneamento e da impressão 3D, a partir do estudo de caso de um indivíduo com hemiparesia direita. A órtese é equipada com um suporte para canetas e um conector que permite o acoplamento de outros dispositivos de auxílio a atividades diárias (talher, dispositivo para digitação, etc.).

Antes do início do projeto do DA, foi realizado um estudo da patologia do indivíduo, com testes de força de muscular, de preensão e de flexão de punho, a fim de se identificar as limitações e as necessidades do indivíduo. Este também foi entrevistado, com o objetivo de registrar suas expectativas em relação ao uso DA.

Para o escaneamento, foi utilizada a mão esquerda do usuário, colocada em posições específicas como, por exemplo, executando as tarefas de alimentação e escrita. A imagem escaneada foi então espelhada para o projeto da órtese da mão direita, ajustada virtualmente, com a inserção do suporte para canetas e do mecanismo de fixação do conector e, finalmente, fabricada por meio da impressão 3D. Paralelamente, foi também desenvolvido o conector para acoplamento de outros dispositivos, o qual pode ser fixado no corpo da órtese por meio de uma peça de engrenamento com o auxílio de ímãs. O produto foi ainda equipado com uma alça e Velcro para fixação à mão do usuário. Todas as etapas desse processo podem ser visualizadas na Figura 98.

Para avaliação do DA foram aplicados os seguintes testes: teste de função manual Jebsen Taylor (*Jebsen Taylor Hand Function test*), nas tarefas de escrita e alimentação; teste de velocidade de digitação com o software *Hancom Office*; teste de satisfação com o auxílio do questionário QUEST.

Figura 98 – Etapas do processo de projeto do DA (órtese)

Fonte: Adaptado de Lee et al. (2019).

Com relação aos aspectos interessantes da metodologia, podem ser enumerados: o estudo prévio da patologia do usuário, com a realização de testes de

força, preensão e flexão; a utilização de diferentes testes de avaliação (tarefas específicas e satisfação).

A falta de uma descrição mais detalhada do processo de desenvolvimento e, especialmente, a ausência de ferramentas técnicas de projeto (identificação e tratamento dos requisitos, concepção e seleção de conceitos) podem ser citadas como limitações da metodologia.

27) Manero et al. (2019)

Os autores propõem um novo modelo de projeto participatório, de caráter interdisciplinar, denominado expressão cooperativa, aplicado no desenvolvimento de membros superiores biônicos para crianças. O método visa integrar o usuário final do início ao final do processo, permitindo que interaja com o DA antes mesmo da produção ou do ajuste, de modo a estabelecer vínculos emocionais com o produto e favorecer sua adoção.

O método conta com quatro fases principais, conforme se vê na Figura 99, sendo elas: (1) Projeto central; (2) Participação; (3) Integração de Engenharia; (4) Fabricação Interdisciplinar.

Na primeira fase, Projeto central, são projetados os componentes estruturais e mecânicos do DA de maneira padronizada, a fim de criar uma interface 3D com uma superfície que poderá ser customizada artisticamente pelo usuário.

Na fase seguinte, Participação, o usuário pode customizar as cores, os efeitos e as regiões da superfície do DA por intermédio de um portal interativo da web criado especificamente para isso.

A terceira fase, Integração de Engenharia, é caracterizada por iterações nos ajustes da interface do DA de maneira a alcançar a integração homem-máquina adequada e a devida preparação para a produção.

Por fim, na última fase, Fabricação Interdisciplinar, adota-se um processo de produção de caráter interdisciplinar, que inclui as seguintes etapas: (a) impressão 3D; (b) preparação de superfície e escovamento; (c) técnicas de acabamento automotivo; (d) pintura. Esta última etapa, em particular, conta com a atuação de

artistas que realçam os efeitos visuais das cores e efeitos escolhidos pelo usuário na segunda fase. O DA é então validado e preparado para ser ajustado para o usuário.

Figura 99 – Método de projeto participatório

Fonte: Adaptado de Manero et al. (2019).

Com o objetivo de capacitar os usuários para a utilização mais eficiente do DA, o método propõe ainda um processo de treinamento baseado em um jogo, desenvolvido para treinar o usuário num ambiente desprovido de riscos. Segundo os autores, ao mesmo tempo em que o jogo é divertido e acessível, permite um significativo processo de treinamento por meio da simulação, possibilitando o aprendizado de múltiplos e complexos movimentos. Além disso, cria um ambiente de avaliação e identificação de falhas do produto seguro e sem pressão para o usuário.

Para aperfeiçoar o estado da arte do produto e avaliar seu impacto e eficiência, um estudo clínico foi também realizado, dividido basicamente em duas partes de avaliação: influência na qualidade de vida e controle mioelétrico. Para tanto, foram usadas ferramentas específicas de avaliação. No primeiro caso, foram adotadas a CHEQ (*Children's Hand-Use Experience Questionnaire*), que se utiliza de uma escala de classificação em quatro categorias para avaliar a funcionalidade e as limitações de usuários que sejam crianças (SKÖLD et al., 2011); e a PedsQL, que consiste numa pesquisa com 31 questões tanto para a criança quanto para os pais acerca de vários aspectos da qualidade de vida no último mês, traduzindo posteriormente essas respostas em pontuações. Já no segundo caso, foi utilizada a ferramenta APMC (*Assessment of Capacity of Myoelectric Control*), que consiste numa escala de classificação de modelo Rasch usada para detectar a mudança esperada na habilidade de uma pessoa em utilizar objetos (LINDNER; LINACRE; HERMANSSON, 2009; LINDNER; ELIASSON; HERMANSSON, 2013).

Todo esse processo de avaliação foi acompanhado pelo time de terapeutas ocupacionais da equipe e os resultados foram devidamente documentados e utilizados para a melhoria da metodologia de projeto.

Como aspectos positivos da metodologia, podem ser mencionados: a utilização de um portal interativo na web para personalização do produto (inclusive com a participação de artistas); adoção de um processo de projeto em duas fases: primeiramente o projeto dos componentes básicos (Projeto central), seguido posteriormente pelas iterações para ajustes dos demais componentes e da interação com o usuário (Integração de Engenharia); proposta de treinamento com auxílio de um jogo; utilização de testes validados para avaliação.

Quanto às limitações, cita-se a ausência de ferramentas de projeto ou sua descrição (identificação e tratamento dos requisitos, concepção e seleção de conceitos, etc.).

28) Schwartz et al. (2019)

Os autores apresentam um modelo sistematizado de intervenção com o auxílio da impressão 3D na TA, com a aplicação em um estudo de caso no

desenvolvimento de porta comprimidos para 14 usuários. O objetivo é justamente fornecer uma espécie de guia para o projeto e a pesquisa com o auxílio da impressão 3D nesta área.

Foi inspirado no modelo HAAT (*Human, Activity, Assistive Technology*), que sugere que a TA deve contemplar o indivíduo em seu contexto diário a fim de ser mais bem-sucedida (COOK; POLGAR, 2008). E também no *Occupational Therapy Practice Framework*, que define o processo terapêutico como colaborativo, entre o usuário e o profissional, consistindo das seguintes fases: triagem, avaliação, intervenção e análise de resultados (AOTA, 2014).

O método foi aplicado por uma equipe formada de alunos de pós-graduação em TO, os quais haviam completado um treinamento de mais de 40 horas na utilização de uma impressora 3D e de um software CAD, com o acompanhamento de um TO especializado no desenvolvimento de intervenções e tecnologias. Consiste basicamente de quatro fases, como pode ser visto na Figura 100: (1) Hábitos e rotina; (2) Preferências de TA; (3) Projeto e fabricação do DA; (4) Treinamento com o DA.

Na primeira fase, são conduzidas entrevistas semiestruturadas com o usuário para identificar o seu perfil ocupacional, isto é, seus hábitos e rotinas em um dia normal, especialmente aqueles ligados à sua saúde. Posteriormente, é aplicada uma versão adaptada do chamado MedMaIDE (*Medication Management Instrument for Deficiencies in the Elderly*), que visa, no caso deste trabalho, descrever como, quando e onde as medicações são armazenadas e consumidas, ou seja, quais as demandas do usuário.

A segunda fase é caracterizada pela identificação das preferências do usuário em relação à TA. Num primeiro momento, por intermédio do QUEST 2.0 (DEMERS; WEISS-LAMBROU; SKA, 2002), são identificados junto ao usuário os aspectos positivos e negativos de seu atual porta comprimidos. É também aplicada a ferramenta ARMS (*Adherence to Refills and Medication Scale*), cujo objetivo é avaliar o histórico do desempenho do usuário na utilização de seus medicamentos. Por fim, essa fase é concluída com uma série de questões abertas ao usuário acerca de suas preferências em relação ao DA.

Figura 100 – Processo de intervenção em reabilitação com impressão 3D de TA

Fonte: Adaptado de Schwartz et al. (2019).

Na fase seguinte as informações sobre os hábitos, rotinas e preferências do usuário são sintetizadas a fim de serem utilizadas no projeto e fabricação do DA. O projeto pode se dar de duas formas distintas: pela modificação de um objeto existente em repositórios online (*Thingiverse*, por exemplo) ou pela criação de um projeto inteiramente novo com o auxílio de um software CAD. O dispositivo é então fabricado via impressão 3D.

Por fim, na quarta fase, o participante é treinado para a utilização do dispositivo. Primeiramente, são descritas as características e o modo de funcionamento do DA pela equipe de projeto. Após isso, o usuário é convidado a fazer um teste prático de utilização, a fim de verificar a compreensão das informações transmitidas. Uma semana após a entrega do DA, o usuário é convidado para checar se houve alguma questão ou modificação em relação à sua saúde ou à aderência à medicação. De 2 a 8 semanas depois, um novo encontro é feito para acompanhamento e coleta de dados, com a aplicação dos testes QUEST 2.0 e ARMS agora em relação ao novo dispositivo. Esses testes são então

comparados, por intermédio da medida *Cohen's D*, com aqueles feitos com o antigo dispositivo.

Entre os aspectos positivos da metodologia, destacam-se: o próprio objetivo do trabalho, de estruturação e sistematização do processo de intervenção com o auxílio da impressão 3D na TA; a descrição das fases (esquemática inclusive) do processo e das atividades específicas; a avaliação da utilização do DA anterior; o acompanhamento a longo prazo, com a realização de destes após um período de adaptação.

Enquanto limitação, pode-se mencionar a ausência da utilização ou da descrição de ferramentas de projeto (identificação e tratamento dos requisitos, concepção, seleção, etc.). Vale citar também o fato de não mencionar uma equipe de caráter multidisciplinar.

ANEXO A

TERMO DE ESCLARECIMENTO

TÍTULO DA PESQUISA: ADAPTAÇÃO PARA TALHER (COLHER, GARFO OU FACA)

Você está sendo convidado(a) a participar do estudo “***Adaptação para talher (colher, garfo ou faca)***” que tem como objetivo “avaliar o desempenho ocupacional de um indivíduo com deficiência em sua tarefa de alimentação com talher (colher, garfo ou faca) convencional e com talher adaptado”. Você está sendo convidado por ter se apresentado como um potencial usuário da tecnologia desenvolvida, na parceria entre os grupos de pesquisa do IMDT-NUMA Escola de Engenharia de São Carlos, USP (EESC-SP) e do LITA da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM). Sua participação é muito importante, pois os avanços na área da saúde e de desenvolvimento de produtos ocorre através de estudo como este.

Caso você aceite participar da pesquisa, um protótipo funcional do talher adaptado desenvolvido pelos pesquisadores da UFTM e da EESC-SP será disponibilizado para você pela EESC-USP. Após recebê-lo, você deverá utilizá-lo em suas refeições rotineiras e quando se sentir familiarizado com o protótipo deverá fazer uma avaliação sobre ele nos contando sobre sua usabilidade e utilidade. Essa avaliação será enviada a você na formatação de um questionário com perguntas sobre o protótipo e sobre o quanto você conseguiu usar nosso talher para alimentar em relação a quando você usava o seu talher convencional. Os resultados serão discutidos entre os grupos de pesquisa e a empresa ModelWorks (www.modelworks.com.br) localizada na cidade de São Carlos-SP, para propor o aprimoramento da solução técnica para os itens identificados por você. Não será feito nenhum procedimento que lhe traga qualquer desconforto ou risco à sua vida.

Espera-se que de sua participação na pesquisa o protótipo possa melhorar seu desempenho durante a alimentação; assim como se tornar uma solução

possível para a realização desta atividade, auxiliando-o(a) a se manter independente para a tarefa. Se por meio dos resultados desta pesquisa, um produto for de fato comercializado, você receberá uma unidade gratuitamente da versão final.

Você poderá obter todas as informações que quiser e poderá não participar da pesquisa ou retirar seu consentimento a qualquer momento, sem qualquer prejuízo. *Pela sua participação no estudo, você não receberá qualquer valor em dinheiro.* Seu nome não aparecerá em qualquer momento do estudo, pois você será identificado com um número.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE, APÓS ESCLARECIMENTO

TÍTULO DA PESQUISA: ADAPTAÇÃO PARA TALHER (COLHER, GARFO OU FACA)

Eu, _____, li e/ou ouvi o esclarecimento acima e compreendi para que serve o estudo e a quais procedimentos serei submetido. A explicação que recebi esclarece os riscos e benefícios do estudo. Eu entendi que sou livre para interromper minha participação a qualquer momento, sem justificar minha decisão e que isso não afetará a relação com os envolvidos. Sei que meu nome não será divulgado, que não terei despesas e não receberei dinheiro para participar do estudo. Concordo em participar do estudo, ADAPTAÇÃO PARA TALHER (COLHER, GARFO OU FACA) e receberei uma via assinada deste documento.

São Carlos,//.....

Assinatura do voluntário

Assinatura do pesquisador responsável

Assinatura do pesquisador assistente

Telefone de contato dos pesquisadores:

Profa. Zilda de Castro Silveira – (16), (16)

Profa Alessandra Cavalcanti - (34), (34)

Em caso de dúvida em relação a esse documento, favor entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, pelo telefone (34) 3700-6776, ou no endereço Rua Madre Maria José, 122, Bairro Nossa Senhora da Abadia – Uberaba – MG – de segunda a sexta-feira, das 08:00 às 11:30 e das 13:00 às 17:30. Os Comitês de Ética em Pesquisa são colegiados criados para defender os interesses dos participantes de pesquisas, quanto a sua integridade e dignidade, e contribuir no desenvolvimento das pesquisas dentro dos padrões éticos.

IMPORTANTÍSSIMO: SEGUNDO DETERMINAÇÃO DA COMISSÃO NACIONAL DE ÉTICA EM PESQUISA, OS PESQUISADORES E OS SUJEITOS DA PESQUISA DEVERÃO RUBRICAR TODAS AS PÁGINAS DO TERMO (APÓS A COLETA DE DADOS). UMA VIA DO TERMO DEVERÁ SER ENTREGUE AOS SUJEITOS.

ANEXO B

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de São Carlos

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO
Laboratório Integrado de Tecnologia Assistiva

QUESTIONÁRIO

Nome do participante: _____ **Data:** _____.

Data de nascimento: _____ / _____ anos. **Classificação Econômica:** _____.

Gênero: F () M () **Usuário:** Sim () Não () **Cuidador:** Sim () Não ()

Estado civil: Solteiro (a) ()

Casado (a) ou com companheiro (a) ()

Separado (a) ou divorciado (a) ()

Víuvo (a) ()

Diagnóstico Clínico: _____.

Há quantos anos com o diagnóstico: _____.

Alimenta-se sozinho: Sim () Não ()

Se não, por quê? _____

Usa qual talher: Colher () Garfo () Indiferente ()

O talher que usa é adaptado? Sim () Não () Marca / modelo? _____

Tem dificuldade de usar talheres para alimentação: Sim () Não ()

Se sim, qual: _____.

Quem realiza a limpeza do talher utilizado? _____

É acompanhado por terapeuta ocupacional: Sim () Não () Se sim, há quanto tempo: _____.

- **Se o usuário se alimenta sozinho:**

1. Quais as principais dificuldades encontradas durante o processo de alimentação?
2. O alimento cai do talher com frequência? Como você se sentiu / qual foi sua reação?

Sobre o uso do nosso utensilio (talher adaptado):

1. Quantas colheradas aproximadamente, você consegue obter com nosso talher?
2. A cor do talher te agrada, porque?
3. O que você mudaria no nosso talher? Por quê?
4. Você consegue montar /desmontar /limpar o talher sozinho? Sim () Não (). Comente.
5. Com relação às cavidades no cabo:
 - Você notou alterações/melhorias ou não com o preenchimento de agua nas cavidades? Se sim: qual das 5 configurações foi a melhor (**totalmente vazia (sem nenhuma cavidade preenchida com água, 1 cheia, 2 cheias, 3 cheias, 4 cheias)**).
6. Após o uso do talher adaptado, por favor responda, por meio de uma nota, descritas a seguir: Não consegue utilizar: 1; Usa com muita dificuldade: 2; Utiliza, mas não se sente confortável: 3; Utiliza e consegue se alimentar: 4; Utiliza de forma confortável e se alimenta satisfatoriamente: 5.
 - 6.1 Senti as mesmas dificuldades do que com o talher, que normalmente uso :
() 1 () 2 () 3 () 4 () 5
 - 6.2 Foi indiferente para mim:
() 1 () 2 () 3 () 4 () 5
 - 6.3 Que nota você atribuiria para a qualidade da alimentação:
() 1 () 2 () 3 () 4 () 5
 - 6.4 Qual nota você atribuiria para o nosso talher, em termo de satisfação como um produto?
() 1 () 2 () 3 () 4 () 5

7. Você compraria esse talher? Por que?

- a) Não
- b) Talvez
- c) Sim

8. Você indicaria o uso desse talher a algum conhecido com as mesmas dificuldades suas?

- a) Não indicaria
- b) Talvez indicaria
- c) Indicaria com certeza