ANAIS do V Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologia Assistiva - CBTA 2025 e do *First International Congress on Research and Development in Assistive Technology - 1st ICRDAT*

Inovação e a Inclusão em **Tecnologia Assistiva**

VOLUME 3

Órteses, Próteses e Cuidado Clínico Individualizado

canal6 editora

ANAIS do V Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologia Assistiva - CBTA 2025 e do *First International Congress on Research and Development in Assistive Technology - 1st ICRDAT*

Inovação e a Inclusão em **Tecnologia Assistiva**

VOLUME 3
Órteses, Próteses e Cuidado Clínico Individualizado

Organizadores

Maria Lúcia Leite Ribeiro Okimoto
Anderson Roges Teixeira Góes
Flávio Issao Kubota
Mari Inês Piekas
Heliza Colaço Góes
Ângela Maria dos Santos
Vanessa Teixeira
Álvaro Ricardo Ferreira Bento Júnior
Vinícius Luiz Lisboa Miguel

canal6 editora

1ª EDIÇÃO 2026

canal6 editora
Rua Noé Onofre Teixeira, 4-13
Jd. Dona Lili | CEP 17032-500 | Bauru, SP
www.canal6editora.com.br

ABEC BRASIL
Associação Brasileira de Editores Científicos

ASSOCIADO CBL Câmara Brasileira do Livro

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(BENITEZ Catalogação Ass. Editorial, MS, Brasil)

I58 Inovação e a inclusão em tecnologia assistiva : órteses, próteses e cuidado
1.ed. clínico individualizado. – 1.ed. – Bauru, SP : Canal 6 Editora, 2026.
424 p.; 16 x 23 cm. -- (Inovação e a inclusão em tecnologia assistiva ; v. 3)

Vários autores.
Vários organizadores.
Bibliografia.
ISBN 978-85-7917-714-9
DOI 10.52050/9788579177149

1. Acessibilidade. 2. Educação inclusiva. 3. Inclusão escolar. 3. Inovações educacionais. 4. Pesquisa científica. 5. Tecnologia assistiva. I. Série.

07-2026/130 CDD 371.904334

Índice para catálogo sistemático:
1. Inclusão social : Inovações : Tecnologia assistiva : Educação 371.904334

Aline Graziele Benitez – Bibliotecária – CRB-1/3129

COMITÊ ORGANIZADOR - V CBTA - 1st ICRDAT
Incluindo Membros da ABPTA e NAPI-TA

Maria Lúcia Leite Ribeiro Okimoto - UFPR - Presidente
José Aguiomar Foggiatto - UTFPR - Vice-presidente

A Equipe de Apoio ao Comitê Organizador é constituída por Membros fundadores da Associação Brasileira de Pesquisadores em Tecnologia Assistiva (ABPTA) e do Comitê gestor do NAPI-TA, e as demais atividades estão divididas em comissões:

Membros fundadores da ABPTA:
Anderson Roges Teixeira Góes - UFPR
Flávio Issao Kubota - UFPR
Eugenio Andrés Diaz Merino - UFSC
Giselle Schmidt Alves Díaz Merino - UDESC
José Aguiomar Foggiatto - UTFPR
Fausto Orsi Medola - UNESP-FAAC
Luís Carlos Pasquarella - UNESP-FAAC
Marcelo Gitirana Gomes Ferreira - UDESC
Maria Lúcia Leite Ribeiro Okimoto - UFPR
Susana Cristina Domenech - UDESC

Comitê gestor do NAPI-TA
Anderson Roges Teixeira Góes - UFPR
Angela Maria dos Santos - IFPR
Débora Ribeiro Carvalho - UFPR
Fátima Aparecida da Cruz Padoan - Coordenadora UENP
José Marcelino - UENP - Vice-coordenadora UENP
Guilherme Nogueira - PUC-Pr
Heliza Colaço Góes - Coordenadora - IFPR
Jones Schaefer - PUC-Pr
José Aguiomar Foggiatto - UTFPR - Coordenador UTFPR
Luciano Zart Olanyk - Coordenador UTFPR
Maria Lúcia Leite Ribeiro Okimoto - UFPR - Coordenador Geral
Osiris Canciglieri - PUC-PR
Percy Nohama - Coordenador PUC-PR
Quelen Coden - Representante SEDEF-PR
Roberta Targa Stramandinoli Zanicotti - HT

COMISSÃO ORGANIZADORA DO V CBTA - 1st ICRDAT (todos os integrantes)

Titulação	Nome	Curso/ Instituição
MSc	Amaury Dudcoschi Junior	Doutorando PPGMEC UFPR
Dr.	Anderson Roges Teixeira Góes	UFPR
MSc	André Luís de Oliveira Lima	Doutorando PPGDesign UFPR
Graduada	Caroline Revay Franciosi	Mestranda PPGDesign
Dr.	Deborah Ribeiro Carvalho	UFPR
Dr.	Eugenio Andrés Díaz Merino	UFSC
Dr.	Fausto Orsi Medola	UNESP
Dr.	Flávio Issao Kubota	UFPR
Dr.	Giselle Schmidt Alves Díaz Merino	UDESC
Graduada	Isabela Inês Nunes Cabreira	Mestranda PPGE UFPR
Dr.	Jones Luís Schaefer	PUC-PR
Dr.	José Aguiomar Foggiatto	UTFPR
Especialista	José Osmar Klein	Técnico Adm. UFPR
Dr.	Kelli Cristine Assis Silva Smythe	UFPR
Dr.	Luis Carlos Pasquarella	UNESP- Bauru
Dr.	Marcelo Gitirana Gomes Ferreira	UDESC
Ensino Medio	Maria Eduarda Rosa de Souza	Discente Expressão Gráfica UFPR
Dr.	Maria Lílian de Araújo Barbosa	UFPR
Dr.	Maria Lúcia Leite Ribeiro Okimoto	UFPR
Dr.	Osiris Canciglieri Junior	PUC-PR
Graduado	Paulo Alexandre Correia de Jesus	Mestrando PPGEPS - PUC-PR
Dr.	Percy Nohama	PUC-PR
Dr.	Roberta Targa Stramandinoli Zanicotti	UTFPR
Dr.	Susana Cristina Domenech	UDESC
Ensino Médio	Vanessa Teixeira	Discente Engenharia Mecânica -UFPR
Ensino Médio	Vinicius Luiz Lisboa Miguel	Discente Engenharia Mecânica -UFPR

COMISSÃO DE COMUNICAÇÃO E REGISTRO

Isabela Cabreira - Mestranda PPGEM-UFPR

MSc. André Luís Oliveira de Lima - doutorando PPGdesign

Carolina Revay Franciosi - Mestranda PPGDesign

Vinicius Luiz Lisboa Miguel - Bolsista de Apoio Técnico - Fundação Araucária - Graduação em Engenharia Mecânica - UFPR

Prof. Anderson Roges Teixeira Góes - UFPR

MSc. Helen Cristina Nogueira - Doutoranda PPGDesign-UFPR

Paulo Alexandre Correia - Mestrando PPGTS-PUC-PR

Prof. Kelli Cristine Assis Silva Smythe - Departamento de Design-UFPR

MSc. Amaury Dudcoschi Júnior - Doutorando PGMec-UFPR

COMISSÃO DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA

Profª. Maria Lúcia Leite Ribeiro Okimoto - UFPR

Profª. Fátima Aparecida da Cruz Padoan - UENP

MSc. Quelen Coden - SEDEF

Prof. Anderson Roges Teixeira Góes - UFPR

Vinicius Luiz Lisboa Miguel - Bolsista de Apoio Técnico - Fundação Araucária - Graduação em Engenharia Mecânica - UFPR

José Osmar Klein Junior - Técnico Administrativo - DEMEC-UFPR

COMISSÃO DE GESTÃO FINANCEIRA

Prof. Maria Lúcia Leite Ribeiro Okimoto - UFPR

Prof. Percy Nohama - PUC-PR

Prof. Anderson Roges Teixeira Góes - UFPR

Prof. Flávio Issao Kubota - UFPR

APOIO TÉCNICO

MSc. Amaury Dudcoschi Júnior - Doutorando PGMec-UFPR

MSc. André Luís Oliveira de Lima - Doutorando PPGDesign-UFPR

José Osmar Klein Junior - Técnico Administrativo - DEMEC-UFPR

MSc. Thiago Lobo - Doutorando PPGDesign-UFPR

Dra Maria Lílian de Araujo Barbosa - Estágio Pós-doutoral - PGMec-UFPR

Isabela Cabreira - Mestranda PPGEM-UFPR

Maria Eduarda Rosa de Souza - Graduação em Expressão Gráfica - UFPR

Vanessa Teixeira - Bolsista de Apoio Técnico - Fundação Araucária - Graduação em Engenharia Mecânica - UFPR

Vinicius Luiz Lisboa Miguel - Bolsista de Apoio Técnico - Fundação Araucária - Graduação em Engenharia Mecânica - UFPR

Alvaro Ricardo Ferreira Bento Júnior - Bolsista de Iniciação Científica - Graduação em Engenharia Mecânica - UFPR

Piter Pauvelz Cusatis - Bolsista de Iniciação Científica - Graduação em Engenharia Mecânica - UFPR

Daniel Carvalho Micol - Bolsista de Iniciação Científica - Graduação em Engenharia Mecânica - UFPR

Kenzo Piekas Fukushima - Bolsista de Iniciação Científica - Graduação em Engenharia Mecânica - UFPR

COMISSÃO DE ACESSIBILIDADE

MSc. Amaury Dudcoschi - Implementação Digital - Doutorando PGMec-UFPR

Profa Kelli Cristine Assis Silva Smythe - Departamento de Design-UFPR

Dra Mari Inês Piekas - Estágio pós-doutoral - PPGDesign-UFPR

COMISSÃO DE GESTÃO DA PLATAFORMA DE SUBMISSÃO DE ARTIGOS

Drª Maria Lílian de Araujo Barbosa - Estágio Pós-doutoral UFPR

Prof. Flávio Issao Kubota - UFPR

Prof. José Aguiomar Foggiatto - UTFPR

MSc. Amaury Dudcoschi - Implementação Digital - Doutorando PGMec-UFPR

Profa Deborah Ribeiro Carvalho - UFPR

COMISSÃO DE GESTÃO DA CONFECÇÃO DOS ANAIS

Prof. Maria Lúcia Leite Ribeiro Okimoto - UFPR

Prof. Anderson Roges Teixeira Góes - UFPR

Profa Heliza Colaço Góes - IFPR

Profa Angela Maria dos Santos - IFPR

Prof. Flávio Issao Kubota - UFPR

Prof. José Aguiomar Foggiatto - UTFPR

Vanessa Teixeira - Bolsista de Apoio Técnico - Fundação Araucária - Graduação em Engenharia Mecânica - UFPR

Alvaro Ricardo Ferreira Bento Júnior - Bolsista de Iniciação Científica - Graduação em Engenharia Mecânica - UFPR

Vinicius Luiz Lisboa Miguel - Bolsista de Apoio Técnico - Fundação Araucária - Graduação em Engenharia Mecânica - UFPR

COMISSÃO DE CLASSIFICAÇÃO DE ARTIGOS CIENTÍFICOS

Prof. Anderson Roges Teixeira Góes - UFPR

Profa Heliza Colaço Góes - IFPR

Profa Angela Maria dos Santos - IFPR

COMITÊ CIENTÍFICO - V CBTA & 1st ICRDAT

Titulação	Membros do Comitê Científico	Instituição
Dr.	Alison Alfred klein	UFPR/ KINEBOT
Dr.	Anderson Roges Teixeira Góes	UFPR
Drª.	Angela Maria dos Santos	IFPR
Dr.	Antônio Verguetz Silva	UTFPR
Drª.	Arabella Natal Galvão da Silva	UFPR
Drª.	Bruna Brogin	Empresa
Dr.	Carlos Alberto da Costa	UCS
Dr.	Carlos Felipe Urquizar Rojas	UNIVILLE / UFPR
Drª.	Caroline Paganan	UEMG
Dr.	Cleyton Fernandes Ferrarini	UFSCAR
Dr.	Danilo Corrêa Silva	UNIVILLE
Drª.	Deborah Ribeiro Carvalho	UFPR
Drª.	Dominique Adam	Empresa
Dr.	Edson Teixeira	IFSC
Dr.	Elton Moura Nickel	UDESC
Drª.	Emília Christie Picelli Sanches	UFPR
Dr.	Eugênio Andres Diaz Merino	UFSC
Drª.	Fátima Aparecida da Cruz Padoan	UENP
Dr.	Fausto Orsi Medola	UNESP
Dr.	Flávio Issao Kubota	UFPR
Dr.	Gabriel Rosenmann	UFPR
Drª.	Gabriela Cordeiro Correa do Nascimento	UFPR

Titulação	Membros do Comitê Científico	Instituição
Drª.	Giselle Schmidt Alves Díaz Merino	UDESC
Dr.	Guilherme Nogueira	PUC-PR
Drª.	Heliza Colaço Góes	IFPR
Drª.	Isabella de Souza Sierra	UFPR
Dr.	Jones Luís Schaefer	PUC-PR
Dr.	José Aguiomar Foggiatto	UTFPR
Dr.	José Guilherme Santa Rosa	UFRN
Drª.	Juliana Bueno	UFPR
Drª.	Kelli Cristine Assis Silva Smythe	UFPR
Drª.	Lizandra Lupi Vergara	UNESP
Dr.	Lucas José Garcia	UFPE
Dr.	Luciano Zart Olanyk	UTFPR
Dr.	Luís Carlos Paschoarelli	UNESP
Dr.	Marcelo Gitirana	UDESC
Dr.	Marcelo Henrique Stoppa	UFCAT
Drª.	Mari Inês Piekas	UFPR
Drª.	Maria Lilian de Araujo Barbosa	UFPR
Drª.	Maria Lúcia Leite Ribeiro Okimoto	UFPR
Dr.	Miguel Ángel Aires Borrás	UFSCAR
Dr.	Milton José Cinelli	UDESC
Drª.	Nelma de Cássia Silva Sandes Galvão	UFRB
Dr.	Osiris Canciglieri	PUC-PR
Drª.	Paloma Poier Hohmann	UFPR
Dr.	Paulo Eduardo Capel Cardoso	USP
Dr.	Percy Nohama	PUC-PR
Drª.	Roberta Targa Stramandinoli Zanicotti	HT
Drª.	Rosimeri Franck Pichler	UFPE
Drª.	Sandra Regina Marchi	Empresa
Dr.	Sérgio Fernando Lajarin	UFPR
Drª.	Susana Cristina Domenech	UDESC
Dr.	Teófilo Alves Galvão Filho	UFRB
Dr.	Yago Weschenfelder Rodrigues	UDESC

V Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologia Assistiva
(V CBTA 2025) e o *First International Congress on Research and Development in Assistive Technology (1st ICRDAT)*

Local: Universidade Federal do Paraná - Campus Rebouças
Período: 30 de setembro a 03 de outubro de 2026.
Av. Sete de Setembro, 2645 - Rebouças, Curitiba - PR, 80230-085
https://abpta.com.br/cbta/

Sumário

12 Prefácio

EIXO TEMÁTICO | Órteses e Próteses

ARTIGOS COMPLETOS

18 Atuação de equipe interprofissional no diagnóstico de ações para a inclusão de um servidor com deficiência: um estudo de caso no TRT-13
Merino, Eugenio Andrés Díaz; Cabral, Ana Karina Pessoa da Silva; Merino, Giselle Schmidt Alves Díaz; Andrade, Thiago de Oliveira; Athayde, Joanna Mayr de; Rosa, Carolina Schütz; Goulart, Felipe Indalêncio; Costa, Diogo Pontes da

31 Comparação entre os métodos de produção tradicionais e a prototipagem rápida de Órteses Suropodálica (AFO's) para crianças com Paralisia Cerebral
Lima, Sofia Maria Mecenas Areias; Gonçalves, Pedro Henrique

45 Desenvolvimento de órtese para tratamento da síndrome do túnel do carpo utilizando impressão 3D
Dantas, Laura Sousa; De Oliveira, Vitória Souza; Sousa, Reges Washington Magalhães; Gonçalves, Pedro Henrique

55 Desenvolvimento de algoritmo para detecção de movimentos por EMG e comparação com técnica do Operador de Energia de Teager-Kaiser
Lima, Gabriel da Rocha Adamoski; Mendes Junior, José Jair Alves; Campos, Daniel Prado

66 Desenvolvimento de sistema de atuação de luva robótica pneumática para fins de reabilitação de pacientes pós-AVC
Melo, Gabriel Merlini de; Itturriet, Fábio Pires; Inafuco, Augusto Tetsuo Prado; Machoski, Pablo; Mendes Junior, José Jair Alves

77 Manufatura Aditiva na fabricação de moldes para próteses auriculares: influência dos parâmetros de processo
Barduco, Henrique Schrann; Pasko, Camila Fernanda; Foggiatto, José Aguiomar

90 Manufatura de órtese de punho por impressora 3D e análise por simulação com elementos finitos
Santos, Paulo Victor Ferreira; Silva, Jonas Leonardo Medeiros Gomes; Silva, Nadège Sophie Bouchonneau; Merino, Eugenio Andrés Díaz; Costa, Diogo; Giracca, Cesar Nunes; Merino, Giselle Schmidt Alves Díaz; Cabral, Ana Karina Pessoa da Silva

102 Produção de órtese craniana de baixo custo para o tratamento de plagiocefalia posicional por meio da manufatura aditiva
Oliveira, Vitória Souza; Dantas, Laura Sousa; Tebas, Maria Luísa Lopes; Gonçalves, Pedro Henrique

112 Protótipo de prótese de mão robótica impressa em 3D com sistema de detecção tátil
Naves, Mariana Pedroso; Campos, Daniel Prado

123 Reabilitação do amputado de membro superior usuário de prótese 3D: uma revisão integrativa
Bião, Menilde Araújo Silva; Santos Filho, Eudaldo Francisco; Santos, Leandro Brito; Monteiro, Roberto Luiz Souza; Pereira, Hernane Borges de Barros

133 Uma Análise do Fluxo de Produção de Órteses por Manufatura Aditiva: Uma Revisão na Literatura
Morona, Álvaro Cacciatori; Figueiredo, Luiz Fernando Gonçalves

EIXO TEMÁTICO | Órteses e Próteses

RELATOS TÉCNICOS

147 Alternativa para a confecção de órteses no tratamento conservador da rizartrose utilizando impressão 3D
Percival, Diane Bernardes; Castro, João Henrique Dayrell; Damião, Leísa Silva; Stoppa, Marcelo Henrique

157 Capacitação em design digital para promoção da autonomia profissional na produção de tecnologia assistiva
Sierra, Isabella de Souza; Figueiredo, Luiz Fernando Gonçalves

167 Clinical and user perspectives in 3D-printed distal radius fracture orthosis: innovating through iterative Design
Rorato, Eduardo Keller; Ganga, Thabata Alcantara Ferreira; Tacza, Yeni Varillas; Kunkel, Maria Elizete

177 Confecção de uma prótese estética de baixo custo para membro superior
Leite, William Bezerra; Santos, Vivian Cerqueira; Santos, Pablio Cerqueira; Mota, Renata de Souza; Souza, Nilmar

183 Desenvolvimento de prótese de mão de baixo custo como estratégia didática para o ensino em órtese e prótese
Alexandrino, Taís dos Santos; Bonfim, Amanda Maria; Bião, Menilde Araújo Silva

188 Desenvolvimento de prótese endoesquelética transtibial de baixo custo: relato de experiência na formação técnica em órtese e prótese
Alexandrino, Taís dos Santos; Souza, Fernanda Santana; Bonfim, Amanda Maria; Bião, Menilde Araújo Silva

194 Desenvolvimento de protótipo de prótese oculopalpebral com cinesia palpebral
Santos, Ana Julia Turko; Stoppa, Marcelo Henrique; Foggiatto, José Aguiomar

203 Desenvolvimento de um protocolo de treinamento de controle de prótese transradial mioelétrica
Avellar, Natália Batista Castilho; Moraes, Maria Rosália de Faria; Van Petten, Adriana M. Valladão Novais

211 Desenvolvimento de um módulo de acionamento de protótipo de prótese para hand grasping
Petrikic, Djovana; Ribas, Kaike Reichardt; Hasegawa, Leticia; Gaiotto, Marcelo do Carmo Camargo; Nohama, Percy; Nogueira Neto, Guilherme Nunes

221 Desenvolvimento de um simulador para avaliação funcional de próteses de membro superior impressas em 3D
Tobaro, Erica Tiemi; Sparkman, John; Manero, Albert; Baleotti, Luciana Ramos; Medola, Fausto Orsi

230 Desenvolvimento de um sistema mecatrônico miniaturizado para simulação fisiológica do piscar em próteses oculares
Cardoso, Heitor Lara; Ferreira, João Manoel Nascimento; Stoppa, Marcelo Henrique

239 Implantação de laboratório de fabricação digital em uma unidade de cuidados prolongados
Rosário, Bárbara de Lima; Stresser, Thamirys Zen; Kuchnir, Tiago de Oliveira

247 Manufatura aditiva e modelagem digital na reabilitação facial: desenvolvimento de próteses nasais personalizadas
Pasko, Camila Fernanda; Bartoszyk, Gabriele; Barduco, Gabriela Schrann; Muniz, Laura Pardinho; Barczyszyn, Karin, Foggiatto, José Aguiomar

256 Desenvolvimento e estrutura de um instrumento multidimensional para diagnóstico de serviços de órteses na saúde pública
Girardi, Enrico Oliveira Lazzari; Sagawa, Yoshimasa; Lajarin, Sérgio Fernando; Soares, Antonio Vinicius; Okimoto, Maria Lucia; Catecati, Tiago; Domenech, Susana Cristina

266 Prótese de mão fabricada por impressão 3D: resultados preliminares
Santos, Giovanna Zarpelon; Muniz, Laura Pardinho; Stoppa, Marcelo Henrique; Foggiatto, José Aguiomar

275 Uso de planejamento digital e impressão 3D na confecção de prótese auricular adesiva: Relato de caso clínico
Stramandinoli-Zanicotti, Roberta Targa, Sade, Maria Clara Abdala Vasques; Borges, Mariana Ortelan; Foggiatto, José Aguiomar

283 Tecnologia que abraça: impressão 3D de prótese infantil personalizada para inclusão e autonomia
Muniz, Laura Pardinho; De Sá, Letícia Caroline Kaspchak; Dos Santos, Giovanna Zarpelon; Barduco, Gabriela Schrann; Stramandinoli-Zanicotti, Roberta Targa Foggiatto, José Aguiomar

EIXO TEMÁTICO | Órteses e Próteses

RESUMOS

292 Métodos para readequação postural em produtos de tecnologia assistiva utilizando modelagem 3D
Sierra, Isabella de Souza; Figueiredo, Luiz Fernando Gonçalves

293 Ergonomia na imobilização ortopédica: comparação entre o método tradicional (gesso) e a impressão 3D sob a perspectiva física e cognitiva
Santos, Bárbara Tatiele; Brendler, Clariana Fischer

295 Desenvolvimento de órteses tornozelo-pé por modelagem 3D: requisitos de projeto e implicações dos materiais nos parâmetros de fabricação aditiva
Gonçalves, Karyne; Gonçalves, Pedro Henrique

297 Cartilha educativa como ferramenta de tecnologia assistiva para pessoas amputadas: um recurso para familiares e cuidadores
Alexandrino, Taís do Santos; Bonfim, Amanda Maria; Santos, Leandro Brito; Bião, Menilde Araújo Silva

299 Comparative analysis between different photogrammetry tools
Magalhães de Oliveira, Ruan Myller; Stoppa, Marcelo H.

300 Aplicação de bibliotecas de modelos anatômicos de orelhas e narizes em manufatura aditiva para apoio na confecção de próteses faciais
Barduco, Gabriela Schrann; Muniz, Laura Pardinho; Foggiatto, José Aguiomar

302 O efeito de um protótipo de joelho monocêntrico em aço inoxidável e polipropileno na funcionalidade da marcha no idoso amputado tranfemoral: relato de caso
Alves, Marcelo; Eleutério, Guilherme; Oliveira, Rafael; Paccola, Karina; Ribeiro, Nise; Grandini, Carlos

304 Integração de técnicas convencionais e impressão 3D na confecção de próteses bucomaxilofaciais: uma abordagem híbrida para otimização do processo protético
Bartoszyk, Gabriele; Muniz, Laura Pardinho; Stramandinoli-Zanicotti, Roberta Targa; Foggiatto, José Aguiomar

306 Trajetória de extensão universitária na produção de tecnologia assistiva de baixo custo para a população
Zanette, João Vitor Malacarne; Dias Júnior, Cezar Lourenço; Moreira, Clara Reis; Bastos, Develyn Izaura Da Silva; Sime, Mariana Midori; Gomes, Raphaele Cristina Julião dos Santos

EIXO TEMÁTICO | Tratamento Clínico Individual

ARTIGOS COMPLETOS

309 Avaliação funcional de um usuário com epidermólise bolhosa
Oliveira, Amanda Leão de; Mota, Renata de Sousa; Silva, Laissa Soares; Santos, Alice Bispo dos; Costa, Andressa Borges; Machado, Kedma Nunes; Reis, Lucas Santos

322 Development of a serious game for ankle dorsiflexion rehabilitation
Mazuquini, Gustavo; Irigon Pereira, Fabio Gomes Sartori, Larissa; Prado Campos, Daniel; Nieves Vázquez, José Angel; Alves Mendes Junior, José Jair

334 Desenvolvimento de um sistema de aquisição de sinais com sensores resistivos flexíveis para reabilitação e fisioterapia
Souza, Guilherme Antônio Ribeiro; Itturriet, Fábio Pires; Mendes Junior, José Jair Alves,

347 Estratégias e recursos de Tecnologia Assistiva como facilitadores para as atividades de vida diária em crianças com transtorno do espectro autista
Ferreira, Kétlin C; Martinez, Rodrigo A; Agnelli Martinez, Luciana B

358 Guia de análise e orientação das necessidades para o uso de tecnologia assistiva
Reis, Lucas Santos; Batista, Mariane de Jesus; Souza, Nilmar de; Brito, Leandro Santos; Galvão, Nelma de Cássia Silva Sandes, Mota, Renata Sousa

372 Papel do terapeuta ocupacional na tecnologia assistiva: survey com terapeutas ocupacionais de Curitiba e região metropolitana
Alves, Patrícia Aparecida Dreher; Nascimento, Gabriela Cordeiro Correa; Poier, Paloma Hohmann

384 Usabilidade de produto assistivo impresso em 3D para pacientes com doenças reumatológicas: Função manual e experiência do usuário
Amaral, Daniela; Oliveira, Giovana; Paz, Tainá; Souza, Klara; Carneiro, Danielle; Dantas, Andréa; Merino, Eugenio

EIXO TEMÁTICO | Tratamento Clínico Individual

RELATOS TÉCNICOS

398 Desenvolvimento de arco flexível de apoio para aparelho auditivo retroauricular em pessoas com alterações anatômicas na orelha
Santos, Giovanna Zarpelon; Muniz, Laura Pardinho; Foggiatto, José Aguiomar

407 Jogo Mar das Emoções: dispositivo de tecnologia assistiva para crianças com autismo
Ferreira, Giovana, Costa, Diogo Pontes

415 GuiaTATO como ferramenta de apoio à prática extensionista em Tecnologia Assistiva: relato técnico
Amaral, Daniela Salgado; De Santana, Alaiza Adalia Silva, Coêlho, Anne Beatriz Araújo; De Oliveira, João Pedro Barbosa Ferreira; Santos, Rafaela Do Nascimento; Cabral, Ana Karina Pessoa da Silva; Merino, Giselle Schmidt Alves Diaz.

Prefácio

É uma honra apresentar os anais do **V Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologia Assistiva-CBTA 2025: "Inovação e a Inclusão", e o *First International Congress on Research and Development in Assistive Technology* – 1st ICRDAT,** resultantes de eventos que se consolidam como o principal fórum de debate, inovação e partilha de conhecimento técnico-científico no campo da acessibilidade e inclusão no Brasil.

Esta edição é fruto de uma construção coletiva, promovida pela **Associação Brasileira de Pesquisadores em Tecnologia Assistiva (ABPTA)** e pelo **Novo Arranjo de Pesquisa e Inovação em Tecnologia Assistiva (NAPI-TA) da Fundação Araucária**. E olhar para o presente exige reconhecer as nossas raízes, e a trajetória do CBTA deve-se à **Rede de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologia Assistiva (RPDTA)** iniciada em 2015 por um grupo de professores de distintas instituições, cujo legado de integração entre a academia e a sociedade permanece ativo e atuante neste ideal.

Desta forma foi a partir da "RPDTA - Rede de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologia Assistiva: ações integradas entre Engenharia Mecânica e Design" entre um dos objetivos específicos, o de fomentar e disseminar a pesquisa em Tecnologia Assistiva. Este objetivo foi articulado com pesquisadores vinculados à UFPR – Universidade Federal do Paraná, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, UNESP – Universidade Estadual Paulista, UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná e UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina, e nesta década de atuação expande-se e se amplia em seus objetivos, constituindo-se em uma **Associação Brasileira de Pesquisadores em Tecnologia Assistiva (ABPTA)** no ano de 2025. E novos projetos de redes surgem, entre eles o **Novo Arranjo de Pesquisa e Inovação em Tecnologia Assistiva (NAPI-TA) da Fundação Araucária** no ano de 2023, com uma gestão de pesquisadores da UFPR, UTFPR, IFPR, UENP, Hospital do Trabalhador e SEDEF-PR (Secretaria do Desenvolvimento Social e Família do Governo do Paraná). Assim esta 5ª. edição bianual do CBTA, foi organizada pelos Pesquisadores do NAPI-TA conjuntamente com a ABPTA, sediando o V CBTA 2025 & 1*st ICRDAT* em Curitiba, que foi realizado no Campus Rebouças na Universidade Federal do Paraná no período de 30 de setembro a 3 de outubro de 2025.

O Contexto da Quinta Edição

O V CBTA 2025 & 1st ICRDAT ocorre em um momento de profundas transformações na sociedade, decorrentes da rápida evolução de áreas como a manufatura aditiva, a Inteligência Artificial e a Internet das Coisas (IoT), dos sistemas digitais de comunicação muito mais econômicos, entre outros fatores, têm aberto fronteiras inéditas para o desenvolvimento de soluções personalizadas e de baixo custo de Tecnologia Assistiva. Desta forma, abre-se oportunidades de pesquisa e o desenvolvimento de Tecnologia Assistiva, percebida não apenas como um simples produto, mas como um processo interdisciplinar que envolve conhecimentos das diversas áreas, englobando tais como: a saúde, educação, engenharia, design, ciência da computação, entre outras áreas.

Assim, neste contexto, o comitê gestor do CBTA propõe um contínuo pensar e refletir crítico sobre os problemas que afetam as Pessoas com Deficiências (PcD) em busca de soluções nas suas necessidades básicas de alimentação, ensino, transporte, qualidade de vida, entre tantas outras inúmeras necessidades. Assim, a cada nova edição deste evento somam-se os esforços, frutos de pesquisa, para o avanço do conhecimento visando a inclusão das PcD. Entretanto, sabemos que há imensos desafios ainda a vencer, para que tenhamos a igualdade de condições e de oportunidades para uma efetiva inclusão das PcD.

Nesta edição, tem-se como temática "Inovação e inclusão" com o evento dedicado ao campo da Tecnologia Assistiva. E nessa jornada de inovação e inclusão, reunimos os jovens e experientes pesquisadores, profissionais e entusiastas nacionais e internacionais para divulgar seus estudos e insights inovadores.

O V CBTA 2025 & 1st ICRDAT 2025: "Inovação e a Inclusão", e o 1st ICRDAT, eventos com cunho científico, tecnológico e social, nesta dupla edição, objetivou o diálogo e a troca de saberes, e a promoção da divulgação científica relacionada à pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias voltadas à melhoria da qualidade de vida de pessoas com deficiência, incapacidade e mobilidade reduzida, favorecendo ou ampliando a sua comunicação, mobilidade, controle do ambiente, habilidades de seu aprendizado, trabalho e inclusão junto à família, amigos e sociedade.

> A Tecnologia Assistiva é compreendida como: produtos, equipamentos, dispositivos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que tenham como objetivo promover a funcionalidade, relacionada à atividade e à participação da pessoa com deficiência

ou com mobilidade reduzida, visando à sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social. (Brasil, 2015)[1].

Destaques dos Anais

Os artigos e relatos de experiência reunidos neste volume refletem o estado da arte da pesquisa brasileira. Os leitores encontrarão investigações que cruzam as fronteiras da Engenharia, do Design, da Saúde e da Educação, abordando desde a reabilitação física e sensorial até o suporte à longevidade ativa e à educação inclusiva.

A diversidade dos trabalhos aqui apresentados demonstram a força da cooperação nacional e internacional. As parcerias estratégicas entre universidades, centros de saúde e o setor produtivo nos permite transformar a pesquisa científica em ferramentas reais de mudança social. Para o V CBTA 2025 & 1*st ICRDAT* foram submetidos 210 artigos.

Salientamos, que os textos de todos os capítulos deste volume foram submetidos ao V CBTA 2025 & 1*st ICRDAT* 2025, foram avaliados em sistema *peer-review* (revisão por pares) com uso de critérios qualitativos e quantitativos; e aprovados por um comitê científico composto por 55 (cinquenta e cinco) Professores e Pesquisadores com o Titulação de Doutor, vinculados às importantes universidades brasileiras e algumas organizações internacionais. Foram submetidos ao evento, 210 (duzentos e dez) artigos, tendo sido aprovados 190 (cento e noventa) artigos para a apresentação oral e para a publicação. Os 20 (vinte) melhores artigos foram selecionados e encaminhados em sua versão completa para a sua publicação na Revista Human Factors in Design, e se encontram apenas os resumos nos volumes dos anais do V CBTA 2025 -1*st ICRDAT*. E na área da educação inclusiva foram selecionados os melhores autores, os quais foram convidados a submeter um novo artigo para as seguintes revistas: " [2]Revista *Benjamin* Constant, [3]Revista Diálogos e Perspectivas em Educação Especial (RDPEE, e [4]Revista Saber Incluir (RSI).

---

1 BRASIL, 2015, Lei n. 13.146, de 6 de jul. de 2015. Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13146.htm; acesso em: 10 Jan 2025.

2 Revista Benjamin Constant, https://revista.ibc.gov.br/index.php/BC/about.

3 Revista Diálogos e Perspectivas em Educação Especial (RDPEE), https://revistas.marilia.unesp.br/index.php/dialogoseperspectivas/about

4 Revista Saber Incluir (RSI), https://portaldeperiodicos.ufopa.edu.br/index.php/revistasaberincluir/about

A série de livros "**Inovação e Inclusão | Tecnologia Assistiva**" - Anais do V CBTA 2025 & 1st *ICRDAT*, é composta dos seguintes conteúdos:

- **Volume 1 - Produtos de Apoio para a Autonomia e Inclusão -** Neste volume inclui as seguintes categorias: Ajudas para Mobilidade Pessoal, Comunicação, Informação e Sinalização e Cuidados Domésticos e Escolares;
- **Volume 2 - Participação, Ambiente e Inovação -** Este volume destacamos as seguintes categorias**:** Cuidados e Proteção Individual, Esporte, Recreação e Lazer, Melhoria Ambientais, Ferramentas e Máquinas, e Tecnologia Assistiva emergentes e com IA (inteligência artificial);
- **Volume 3 - Órteses, Próteses e Cuidado Clínico Individualizado.** Apresentamos neste volume as categorias e Órteses e Próteses; e Tratamento Clínico Individual;
- **Volume 4 - Da Autonomia no Espaço ao Suporte no Aprender.** Este volume aborda as seguintes temáticas: Treino de Capacidades; Mobiliários e Adaptações para Residências, Escolas e Outros Imóveis; e Recursos Pedagógicos Escolares.

Em cada um dos volumes estão reunidos uma coletânea de artigos, versando sobre as temáticas das categorias inseridas no V CBTA & 1st *ICRDAT*.

Apesar do extenso trabalho de avaliação, seleção e edição dos capítulos dos volumes que compõem os anais do do V CBTA 2025 & 1st *ICRDAT*, os propósitos e o conteúdo de cada capítulo são exclusivamente de responsabilidade de seus autores e não expressam a opinião dos revisores e /ou organizadores da obra.

Agradecimentos

Expressamos nossa profunda gratidão aos autores, cujas pesquisas dão vida a estas páginas, e aos revisores, pelo rigor que qualifica este registro histórico. A Fundação Araucária e o CNPq, patrocinadores deste evento. Um agradecimento especial às equipes do NAPI-TA e da ABPTA, que mantêm viva a chama da RPDTA, unindo pesquisadores de todas as regiões do país em prol de uma sociedade mais equânime. Agradecemos aos nossos apoiadores a UNILEHU, Instituto Paranaense de Cegos- IPC, o Complexo de Saúde Pequeno Cotolengo, a UNIMED, Hospital INC, TECHSOLUTION, que nos proporcionaram um evento de repleto de experiências e oportunidades de convivências sociais.

Convidamos todos à leitura atenta destes anais, certos de que as ideias aqui compartilhadas servirão de semente para novas inovações que permitam promover à participação social, cultural, educacional e de empregabilidade das PcD.

Comissão Organizadora
V *Congresso Brasileiro de Tecnologia Assistiva*

Maria Lúcia Leite Ribeiro Okimoto,
Presidente da ABPTA
Coordenadora do NAPI-TA da Fundação Araucária
Professora Titular do Departamento de Engenharia Mecânica e do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica e do Programa de Pós Graduação em Design da Universidade Federal do Paraná

EIXO TEMÁTICO | Órteses e Próteses

ARTIGOS COMPLETOS

Atuação de equipe interprofissional no diagnóstico de ações para a inclusão de um servidor com deficiência: um estudo de caso no TRT-13

Merino, Eugenio Andrés Díaz[*1]; Cabral, Ana Karina Pessoa da Silva[2]; Merino, Giselle Schmidt Alves Díaz[3]; Andrade, Thiago de Oliveira[4]; Athayde, Joanna Mayr de[5]; Rosa, Carolina Schütz[6]; Goulart, Felipe Indalêncio[7]; Costa, Diogo Pontes da[8]

1 – Programa de Pós-Graduação em Design e Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, eugenio.merino@ufsc.br

2 – Departamento de Terapia Ocupacional, UFPE, anakarina.cabral@ufpe.br

3 – Programa de Pós-Graduação em Design, UDESC; UFSC, giselle.merino@udesc.br

4 – Tribunal Regional do Trabalho da 13ª Região, TRT-13, toandrade@trt13.jus.br

5 – Programa de Pós-Graduação em Design, UFSC, joanna.athayde@gmail.com

6 – Programa de Pós-Graduação em Design, UFSC, carol.s.rosaa@gmail.com

7 – Programa de Pós-Graduação em Design, UFSC, felipeigoulart@hotmail.com

8 – Departamento de Desenho Industrial, UFRJ; Programa de Pós-Graduação em Design, UFSC, diogopontes@eba.ufrj.br

* – Correspondência: Campus Universitário Trindade, Sala 113 anexo A - Trindade, Florianópolis - SC, 88040-900.

DOI 10.52050/9788579177149-01

RESUMO

Embora o direito ao trabalho das Pessoas com Deficiência seja garantido por lei, sua inclusão no mercado enfrenta obstáculos. A interprofissionalidade é fundamental para adaptar o ambiente corporativo, promovendo práticas mais colaborativas. O objetivo deste artigo foi propor recomendações para um servidor com deficiência física, além de requisitos para o desenvolvimento de uma órtese, visando promover sua inclusão, bem-estar e qualidade de vida no ambiente de trabalho. A pesquisa empregou observação, entrevistas, pesquisa documental, registros fotográficos, protocolos e tecnologia. Como resultado, elaborou-se um diagnóstico com orientações para adaptar o posto de trabalho e a necessidade de uma órtese personalizada.

Palavras-chave: Design, Inclusão Laboral, Órtese.

ABSTRACT

Although the right to work for persons with disabilities is legally guaranteed, their inclusion in the labor market faces challenges. Interprofessionality is essential to adapt the corporate environment, promoting more collaborative practices. The objective of this article was to propose recommendations for a server with a physical disability, in addition to requirements for the development of an orthosis, aiming to promote their inclusion, well-being and quality of life in the workplace. The research used observation, interviews, documentary research, photographic records, protocols and technology. The findings resulted in a diagnostic report outlining workplace adaptation strategies and the identified need for an individualized orthotic solution.
Keywords: *Design, Workplace Inclusion, Orthosis.*

1. INTRODUÇÃO

A experiência da deficiência, seja temporária ou permanente, é uma possibilidade real para todas as pessoas em algum momento da vida. Com o envelhecimento populacional e o aumento de condições crônicas, o número de Pessoas com Deficiência (PcD) vem crescendo significativamente. Segundo a Organização Mundial da Saúde - OMS (2025), cerca de 1,3 bilhão de pessoas – ou 16% da população global – vivem com alguma forma de deficiência. Esse cenário desafia governos e instituições a adotarem políticas públicas mais inclusivas, enfrentando estigmas e barreiras que limitam o acesso à educação, ao trabalho e à participação social.

No Brasil, dados da PNAD Contínua (IBGE, 2022) indicam que 18,6 milhões de pessoas têm algum tipo de deficiência, representando 8,9% da população. O Nordeste é a região com o maior percentual (10,3%) (Ministério da Saúde, 2023). A desigualdade é evidente no mercado de trabalho: enquanto 80% das PcDs estão em idade ativa, apenas 26,6% estão ocupadas – menos da metade da taxa das pessoas sem deficiência (60,7%) (IBGE, 2023). Para garantir direitos e combater desigualdades, o país instituiu a Lei Brasileira de Inclusão (Lei nº 13.146/2015), alinhada à Convenção da ONU sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência (Brasil, 2024).

Embora o acesso ao trabalho no Brasil seja um direito garantido a todos, respaldado por leis, independentemente se a pessoa tem algum tipo de deficiência ou grau de comprometimento funcional, ingressar no mercado de trabalho ainda é um desafio (Brasil, 1988; Brasil, 2009; Brasil, 2015). Pessoas com Deficiência também possuem habilidades para o trabalho, porém se deparam

com barreiras que dificultam o exercício total de sua capacidade de contribuir igualmente com a sociedade (OIT, 2021).

Para que o trabalhador com deficiência possa desempenhar as atividades direcionadas a ele no ambiente laboral, faz-se necessário considerar suas capacidades e habilidades. Além disso, é importante, também, incentivar o uso e desenvolvimento de adaptações ergonômicas e de Tecnologia Assistiva que contribuem para compensar as limitações desses trabalhadores e promover maior funcionalidade (Cabral, 2019).

Nesse sentido, as órteses são dispositivos externos aplicados ao corpo humano visando prevenir ou corrigir deformidades, promover alinhamento e estabilização articular, além de auxiliar na função motora comprometida. Esses dispositivos são amplamente utilizados na reabilitação física, especialmente em casos de lesões, como na tetraplegia, contribuindo para a melhora da funcionalidade e da qualidade de vida dos usuários (Brasil, 2014; Ferreira et al., 2015; Lindemayer et al., 2004). Conforme o Ministério da Saúde, órteses são classificadas como Tecnologias Assistivas que compensam limitações funcionais ou previnem deformidades progressivas em membros, ou segmentos corporais afetados (Brasil, 2014).

O Design desempenha um papel essencial nesse contexto. A *World Design Organization* - WDO (2025) enfatiza o Design como um processo estratégico e colaborativo, capaz de transformar desafios em soluções inovadoras.

O Design Inclusivo, nesse sentido, propõe a criação de produtos, serviços e ambientes que atendam a todas as pessoas, considerando limitações físicas, cognitivas e sensoriais (Munari & Peres, 2019). Isso envolve desde adaptações arquitetônicas e Tecnologias Assistivas (TA's) até o desenvolvimento de interfaces acessíveis e a promoção de ambientes organizacionais equitativos.

Como exemplo prático, destaca-se o projeto "Inclusão de Pessoas com Deficiência no TRT-13", realizado entre 2023 e 2024 pelo Tribunal Regional do Trabalho da Paraíba, em parceria com universidades e profissionais de Terapia Ocupacional, Engenharia e Design. A iniciativa buscou desenvolver diagnósticos e ações estratégicas de inclusão institucional, valorizando as capacidades individuais dos colaboradores (TRT-13, 2023; TRT-13, 2024). Alinhado à Lei Brasileira de Inclusão e à Agenda 2030 da ONU, o projeto evidencia como o Design Inclusivo e a gestão estratégica podem promover ambientes de trabalho mais acessíveis e justos.

Este artigo, tem como objetivo propor recomendações para um servidor com deficiência física, além de requisitos para o desenvolvimento de uma órtese, visando promover sua inclusão, bem-estar e qualidade de vida no ambiente de trabalho.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

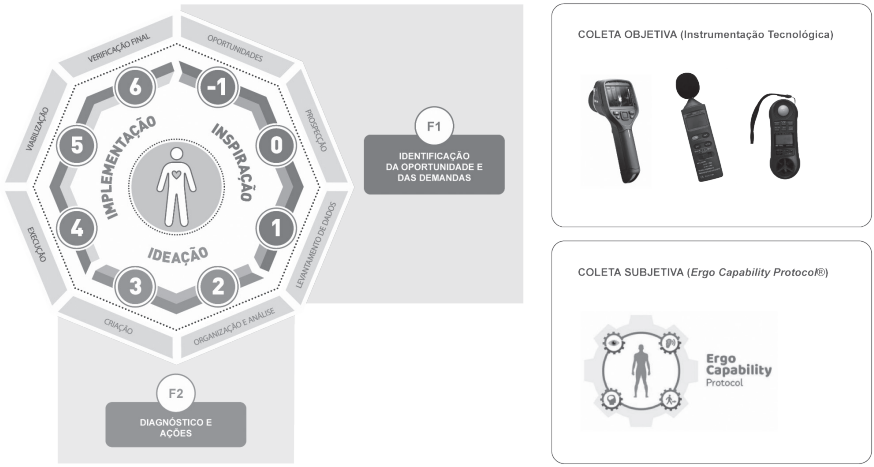
Essa é uma pesquisa de natureza aplicada, já que objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, com o propósito de solucionar problemas específicos (Prodanov e Freitas, 2013). Quanto à abordagem do problema, possui caráter qualitativo, ao considerar uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito (Silva e Menezes, 2005). Para os objetivos, o estudo caracteriza-se como exploratório, buscando proporcionar uma maior familiaridade com o problema, com o intuito de torná-lo explícito (Gil, 2002). Em relação aos procedimentos técnicos, foram empregados: observação, entrevistas, pesquisa documental, registros fotográficos, uso de protocolos e instrumentação tecnológica (câmera infravermelha, eletromiografia de superfície, medidor de pressão sonora - decibelímetro - e termo-higro anemômetro).

A apresentação dos resultados será exposta por meio de um estudo de caso que visa a coleta e análise de dados referentes a um indivíduo, grupo ou comunidade específica, com o propósito de compreender diferentes aspectos da realidade, conforme a temática pesquisada (Prodanov & Freitas, 2013). Para tanto, utilizou-se como referência a abordagem de Design Centrado no Usuário denominada Guia de Orientação para o Desenvolvimento de Projetos - GODP (Merino, 2016). O processo orienta-se de maneira cíclica, considerando o projeto desde a fundamentação até a sua devida execução (Merino, 2016), sendo dividido por três grandes momentos (Inspiração, Ideação e Implementação), segmentados por oito etapas: (i) Momento Inspiração: -1 Oportunidades, 0 Prospecção, 1 Levantamento de Dados; (ii) Momento Ideação: 2 Organização e análise de dados, 3 Criação; (iii) Momento Implementação: 4 Execução; 5 Viabilização; 6 Verificação final.

A delimitação do artigo envolve o caso específico de um servidor com deficiência física, identificado no artigo como servidor A, e está dividida em duas Fases (1 e 2), sendo: Fase 1 (F1) - Identificação da Oportunidade e das Demandas; e Fase 2 (F2) - Diagnóstico e Ações (Figura 1). Em vista disso, a Fase 1 aborda o Momento Inspiração do GODP (etapas -1, 0 e 1) e a Fase 2, o Momento Ideação (etapas 2 e 3).

A abordagem GODP englobou dois tipos de coletas, sendo a coleta objetiva realizada com o auxílio da instrumentação tecnológica - câmera infravermelha, medidor de pressão sonora (decibelímetro) e termo-higro anemômetro. Ademais, a coleta subjetiva foi desenvolvida por meio da aplicação do protocolo *Ergo Capability Protocol*®, o qual objetiva mapear as capacidades e potencialidades de pessoas com deficiência no âmbito laboral, envolvendo a comparação entre as capacidades do colaborador e as tarefas exigidas pelo contexto laboral (Cabral, 2019).

Figura 01 - Metodologia GODP com destaque para as etapas realizadas: coleta objetiva (Instrumentação Tecnológica) e coleta subjetiva (Ergo Capability Protocol®)



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

3. RESULTADOS

3.1 Fase 1 (F1) - Identificação da Oportunidade e das Demandas

O **Momento Inspiração** é o primeiro momento do GODP, no qual ocorre a imersão profunda no projeto, visando a coleta de informações em diferentes fontes, referentes ao contexto, aos usuários e suas interações. Esse momento compreende a Etapa -1 Oportunidade, Etapa 0 Prospecção e Etapa 1 Levantamento de Dados.

Na **Etapa -1** foi identificada a **Oportunidade** de projeto que surgiu da iniciativa e do entendimento da equipe gestora do TRT-13, no momento, sobre a importância do fator humano na organização, em especial as PcDs, cujas capacidades, competências e habilidades podem ter grande contribuição, desde que não existam barreiras de nenhuma natureza.

Em seguida, iniciou-se a **Etapa 0 Prospecção**, na qual se realizou o mapeamento das demandas que orientaram as avaliações dos colaboradores (servidores e aprendizes) com deficiência, assim como, seus respectivos postos de trabalho. Além disso, nessa etapa o projeto foi formalizado no diário, realizaram-se visitas *in loco*, fez-se um levantamento preliminar a partir da lista de colaboradores e organizou-se o cronograma do projeto.

A partir disso, foi possível visualizar a quantidade de colaboradores envolvidos no projeto e quais são as deficiências presentes, dentre elas, física, visual, auditiva, intelectual e Transtorno do Espectro Autista - TEA. Este artigo, se aprofunda no

caso do servidor identificado como A (visando proteger sua identidade), com deficiência física, devido lesão medular e tetraplegia.

Já na **Etapa 1 Levantamento de Dados** foi realizado o levantamento *in loco* com o servidor, incluindo a avaliação funcional e a avaliação ergonômica do posto e ambiente de trabalho. Ressalta-se que o servidor A, por meio de assinatura de autorização do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), mostrou-se ciente do teor do projeto, bem como, sua participação nas atividades.

O servidor A é analista judiciário e realiza teletrabalho em tempo integral. Desta forma, a primeira visita à residência do servidor ocorreu no dia 28 de novembro de 2023, em que foi realizada entrevista, levantamento e registros audiovisuais do contexto do trabalho. Foram feitos levantamentos ambientais, dimensionais, detalhamentos das tarefas, dentre outros, complementados pelas análises e avaliações das Terapeutas Ocupacionais, com atenção especial aos membros superiores e postura do servidor A.

Em relação à **coleta objetiva**, realizada com o uso de instrumentação tecnológica, foi possível realizar imagens termográficas por infravermelho e levantamentos ambientais. Em relação à avaliação do ruído, foi registrado um Nível de Pressão Sonora (ruído) de 59 min / 74 dB máx., que por mais que esteja abaixo das recomendações da norma, ainda pode ser revisto, e caso necessário, atenuado.

Quanto à iluminação, foi verificado 162 lux no teclado e 53 lux no monitor (reflexo). Estes níveis precisam de atenção, sendo desejável aumentá-los visando um maior conforto visual. Para esta finalidade pode ser usada a estratégia de uma lâmpada Led.

Outros aspectos considerados na coleta, dizem respeito à própria cadeira de rodas e áreas de contato: o assento, que poderia dispor de um material mais confortável, que oportunize a alternância postural minimamente e o encosto da cadeira que poderia ser revisto, objetivando maior conforto e respirabilidade. Além da cadeira de rodas, a superfície de apoio do teclado do computador (possui duas em diferentes tamanhos), poderia ser avaliada, com o intuito de ter um dimensionamento (área de uso, altura e superfície) que atenda de melhor forma os pontos de contato, em especial o cotovelo, antebraço e punho/mão.

A **coleta subjetiva** se deu por meio da aplicação do *Ergo Capability Protocol*® pelas Terapeutas Ocupacionais (avaliação funcional), bem como a avaliação dos membros superiores do servidor A, como pode ser visto na Figura 2, a fim de identificar oportunidades de melhorar a realização das atividades durante o uso do computador, em especial com o teclado e mouse.

Figura 02 - Coleta subjetiva com a avaliação dos membros superiores do servidor A



Fonte: Acervo do projeto (2025).

Por meio dessa avaliação concluiu-se ser possível desenvolver uma órtese de termoplástico, para a mão direita, oportunizando uma melhora nas atividades. Além disso, o servidor A demonstrou muito interesse em voltar a escrever. Essa atividade pode ser viabilizada por meio da órtese supracitada, e o desenvolvimento de um dispositivo acoplado à mesma, tendo em vista que os dedos polegar e indicador preservam boa parte da funcionalidade exigida para esta atividade, sendo esta uma ação que poderá ser materializada. Atualmente ele possui um dispositivo assistivo para esta finalidade, porém não atende da forma desejada.

3.2 Fase 2 (F2) - Diagnóstico e Ações

O **Momento Ideação** é o segundo momento do GODP, no qual as principais informações levantadas são transformadas em sínteses visuais a fim de evidenciar as potencialidades e fragilidades da questão em estudo. Esse momento compreende a Etapa 2 Organização e Análise dos Dados e Etapa 3 Criação.

A **Etapa 2 Organização e Análise dos Dados** teve como resultado o diagnóstico do servidor em questão, com a organização e a análise dos dados coletados. Para isso, analisou-se a adequação do posto de trabalho às capacidades do servidor com deficiência, identificando as fragilidades e oportunidades de melhorias do ambiente, equipamentos e mobiliários dos postos de trabalho. Apresenta-se na Figura 3, a ficha síntese com o diagnóstico do servidor A.

Figura 03 - Ficha síntese com o diagnóstico do servidor A



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Já a **Etapa 3 Criação** teve como resultado a **proposição de ações**, em que foram propostas ações de adequações ergonômicas e recomendações de produtos de Tecnologia Assistiva. A ideia dessas recomendações foi apresentar oportunidades de melhorias, a partir de facilitadores ambientais, e mediante as barreiras e fragilidades identificadas no processo de inclusão.

As ações e recomendações propostas para o servidor A foram: (1) Órtese para mão e dispositivo de assistência para escrita; (2) Ponteira para digitação; (3) Adequação postural na cadeira de rodas; (4) Redimensionamento do posto de trabalho; (5) Fone de ouvido/ microfone; (6) Pausas.

A partir da proposição de ações, deu-se início a criação da órtese para o servidor A. A equipe de projeto, ao analisar as informações coletadas, definiu que a solução apropriada seria o desenvolvimento de uma órtese de estabilização (ventral) do tipo *cock up*, para a mão direita. Visando, desta forma, facilitar o desempenho do servidor A nas atividades laborais desempenhadas por ele, bem como, possibilitar a escrita por meio de um dispositivo acoplado (ponteira).

Assim, foi desenvolvida uma órtese preliminar em termoplástico (Figura 4), pelos profissionais da Terapia Ocupacional, moldada desde o antebraço até a mão do servidor A. O peso total do produto era de 145g e teve bons feedbacks com o usuário, o qual estabeleceu alguns requisitos para a posterior criação do modelo final pela equipe de Design e Engenharia, sendo eles: (1) utilizar um material mais leve; (2) adaptar o produto com suporte para caneta; (3) ajustar ângulo da ponteira para otimizar a visualização; (4) maior estabilidade; (5) facilitar o apoio do polegar no suporte da órtese.

Figura 04 - Órtese preliminar em termoplástico moldada na mão e punho do servidor A



Fonte: Acervo do projeto (2025).

Em seguida, por meio desse contato do usuário com a órtese em termoplástico, foram identificadas algumas oportunidades de melhoria para serem implementados no dispositivo final. Dessa forma, algumas necessidades do usuário foram transformadas em requisitos de projeto, listados no quadro a seguir:

Quadro 01 - Relação entre necessidades do usuário e requisitos do projeto, para a confecção de uma nova órtese

Necessidades do usuário	Requisitos de projeto
Diminuir o peso do produto	Confecção em manufatura aditiva e áreas com furos para utilização de menos material
Permitir o acoplamento de mais ponteiras para demais Atividades da Vida Diária (Pintura, desenho, escrita)	Projetar o encaixe de diversas ponteiras na órtese
Reduzir o calor e aumentar o conforto no uso prolongado	Incluir furos na órtese para otimizar a perspiração
Diminuir o tamanho do produto	Formato com estabilização apenas de mão e punho

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

4. DISCUSSÃO

A efetiva inclusão laboral da Pessoa com Deficiência enfrenta inúmeras barreiras, apresentando desafios multifatoriais que podem requerer a avaliação individual do colaborador, para aproveitar a totalidade das suas capacidades e promover um ambiente o qual potencialize o seu desenvolvimento enquanto profissional e minimize o impacto de suas limitações. Nesse contexto, a abordagem interprofissional (Saúde, Design e Engenharia) oportuniza óticas diferentes relacionadas a uma mesma problemática, em busca da resolução de um problema comum, centrado nas necessidades do usuário (Parsell; Bligh, 1998)

— com a Terapia Ocupacional analisando as capacidades funcionais e atividades desempenhadas pelo servidor com deficiência física estudado, bem como o Design e a Engenharia interpolando essa questão com a área de produto (órtese) e a adequação do posto de trabalho (redimensionamento). Equipes compostas por profissionais de diferentes áreas são, cada vez mais, vistas como importantes na descoberta de possibilidades criativas para inovação (Best, 2012).

Essa integração, unida à participação ativa do servidor durante todo o processo, permitiu uma identificação de barreiras (ou fragilidades) mais assertiva e empática, além da elaboração de recomendações (ou facilitadores) as quais condizem com o esperado pelo servidor e favorecem as atividades laborais desenvolvidas no contexto diário e promovem uma maior qualidade de vida e bem-estar. De acordo com Polgar (2010), a coleta de dados com a participação do usuário no contexto de uso do produto, é necessária no desenvolvimento de projetos de TA. Além disso, a PcD possui conhecimento sobre suas necessidades, sendo importante considerar sua opinião quanto ao produto, a fim de diminuir riscos de abandono ou não adaptação do usuário à TA (Polgar, 2010).

Por meio dessa avaliação, foi possível identificar uma oportunidade de adequação ao posto de trabalho, uma postura desfavorável na cadeira de rodas e propor o desenvolvimento de uma órtese que, além de auxiliar na digitação no computador, proporciona o desejo pessoal do indivíduo de retornar a escrever no papel. Por conta do trabalho ser realizado em domicílio (teletrabalho), o projeto permitiu esse contato individualizado com recomendações específicas para as dificuldades enfrentadas pelo colaborador, identificadas por meio de visitas *in loco*. Essas recomendações foram elaboradas por meio de um quadro, o qual trouxe os feedbacks do usuário - conciliados com os requisitos a serem seguidos para o desenvolvimento da órtese final.

5. CONCLUSÕES

A inclusão de Pessoas com Deficiência no mercado de trabalho impacta positivamente, contribuindo diretamente com a qualidade de vida das pessoas envolvidas, e com a construção de uma sociedade mais justa.

O projeto apresentado propõe atividades de pesquisa científica, tecnológica e de inovação relacionadas à inclusão de Pessoas com Deficiência no ambiente laboral, a fim de promover melhoria da condição de trabalho de um servidor com deficiência física no TRT-13.

Ao se utilizar de técnicas e ferramentas científicas, foi possível obter um diagnóstico preciso e confiável do perfil do servidor, que auxiliará o gestor na tomada de decisão para otimizar os sistemas organizacionais. Destaca-se a atuação da equipe interprofissional durante todo o projeto, composta por

Terapeutas Ocupacionais, Designers e Engenheiros, cujos conhecimentos se complementam para obtenção dos resultados alcançados.

A partir do diagnóstico do servidor A, com a identificação das barreiras e fragilidades, e das recomendações indicadas, foi possível mapear oportunidades de melhorias, propondo adequações no posto de trabalho do servidor, bem como, recomendações de TA's (como a órtese) almejando aprimorar sua qualidade de vida e desempenho profissional.

Como futuros estudos, pretende-se acompanhar o caso desse servidor, avaliando as recomendações realizadas, bem como, implementar as ações de melhorias no ambiente, com o desenvolvimento da órtese e de adequações ambientais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Tribunal Regional do Trabalho da 13ª Região (TRT-13), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), à Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), à Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), à Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco (FADE-UFPE), ao Laboratório de Tecnologia Assistiva e Terapia Ocupacional & Núcleo de Tecnologia Assistiva (LabTATO/NTA), ao Núcleo de Gestão de Design e Laboratório de Design e Usabilidade (NGD-LDU). O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES-PROEX) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

BEST, Kathryn. *Fundamentos de Gestão do Design*. Porto Alegre: Bookman, 2012. 208 p. Tradução: André de Godoy Vieira.

BLUM, Arina. *Gestão de Design na prevenção do erro de medicação:* Ações para uma farmácia hospitalar. 2018. 325 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

BRASIL. Presidência da República. *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em 09 jul. 2024.

BRASIL. Presidência da República. *Decreto Nº 6.949*, de 25 de agosto de 2009. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6949.htm. Acesso em 09 jul. 2024.

BRASIL. Lei n.º 13.146, de 6 de julho de 2015. *Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência).* Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 7 jul. 2015. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm. Acesso em: 25 mar. 2025.

BRASIL. *Relatório nacional voluntário sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável* – Agenda 2030. Brasília, DF: Ipea, 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Técnico em órteses e próteses: livro-texto. Brasília: Ministério da Saúde*, 2014. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/tecnico_orteses_proteses_livro_texto.pdf. Acesso em: 30 abr. 2025.

BROWN, Tim. *Design thinking:* uma metodologia poderosa para decretar o fim das velhas ideias. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

CABRAL, Ana Karina Pessoa da Silva. Ergo Capability Protocol: *Protocolo de Avaliação Direcionado à Inserção de Pessoas com Deficiência no Trabalho.* Tese (Doutorado em Design) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

FERREIRA, T. C. P. G. A., Rodrigues, R. M., Cruz, P. M., Ribeiro M. F. M., Prudente, C. O. M. *Relação entre qualidade de vida e capacidade funcional de pacientes com lesão medular após 6 meses de reabilitação.* Anais do 5º Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Estadual de Goiás; 2015, out. 20-22; Pirenópolis. Anápolis: UEG; 2015.

GIL, A.C. (2002). *Como elaborar projetos de pesquisa.* 7 ed. [3 reimp.], Barueri [SP]: Atlas. 208p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pessoas com deficiência têm menor acesso à educação, ao trabalho e à renda.* 2023. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37317-pessoas-com-deficiencia-tem-menor-acesso-a-educacao-ao-trabalho-e-a-renda. Acesso em: 18 jan. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua* (PNAD Contínua), 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/17270-pnad-continua.html. Acesso em: 25 mar. 2025.

LINDEMAYER, R. et al. *Modelos de órteses para membros superiores*: uma revisão da literatura. Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional, São Carlos, v. 12, n. 2, p. 95–102, 2004. Disponível em: https://www.scielo.br/j/cadbto/a/vkj8kYFmhDjCrv7Yzrx5pCx/. Acesso em: 30 abr. 2025.

MERINO, Giselle Schmidt Alves Díaz. (2016). *GODP – Guia de Orientação para Desenvolvimento de Projetos: Uma metodologia de Design Centrado no Usuário.* Florianópolis: Ngd/Ufsc. Disponível em: www.ngd.ufsc.br. Acesso em: 12 jan. 2025.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (Brasil). *Boletim epidemiológico: pessoas com deficiência no Brasil* – perfil sociodemográfico e acesso à saúde. Brasília, DF, 2023.

MUNARI, Caroline; PERES, Fabio. *Design inclusivo:* princípios, práticas e aplicações. São Paulo: Blucher, 2019.

MOZOTA, Brigitte Borja de; KLÖPSCH, Cássia; COSTA, Filipe Campelo Xavier da. *Gestão do Design:* Usando o design para construir valor de marca e inovação corporativa. Porto Alegre: Bookman, 2011. 343 p. Tradução de: Lene Belon Ribeiro.

NEVES-SILVA, P.; PRAIS, F.G.; SILVEIRA, A. M. Inclusão da pessoa com deficiência no mercado de trabalho em Belo Horizonte, Brasil: cenário e perspectiva. *Ciência & Saúde Coletiva*, vol. 20, n. 8, p. 2549-2558, 2015.

NORMAN, Donald. *O design do dia a dia*. 2. ed. Rio de Janeiro: Rocco, 2018.

OIT - ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO. *Tornando inclusivo o futuro do trabalho das pessoas com deficiência.* São Paulo: Santa Causa Boas Ideias & Projetos, 2021. Uma publicação conjunta da Fundação ONCE com a Rede Global de Empresas e Deficiência da OIT, desenvolvida dentro da estrutura do Disability Hub Europe, um projeto conduzido pela Fundação ONCE e cofinanciado pelo Fundo Social Europeu. Tradução de: Romeu Kazumi Sassaki

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). ***Disability.*** Disponível em: https://www.who.int/health-topics/disability#tab=tab_1. Acesso em: 25 mar. 2025.

PARSELL, Glennys.; BLIGH, John. Interprofessional learning. *Postgraduate Medical Journal*, v. 21, n.3, p. 89-95, 1998.

POLGAR, J. M. The Myth of Neutral Technology. In: MEEKO; et al (Ed.). *Design and Use of Assistive Technology*: Social, Technical, Ethical, and Economic Challenges. Nova York: Springer, 2010.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. (2013). *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico* - 2ª Edição. Editora Feevale.

SILVA, Edna L.; MENEZES, Estera M. (2005) *Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação.* 4. ed. Florianópolis. 139p.

TRIBUNAL REGIONAL DO TRABALHO DA 13ª REGIÃO (TRT-13). *Projeto Inclusão de Pessoas com Deficiência no TRT-13:* diagnóstico da capacidade funcional. João Pessoa: TRT-13, 2023.

TRIBUNAL REGIONAL DO TRABALHO DA 13ª REGIÃO (TRT-13). *Relatório final do Projeto de Inclusão de Pessoas com Deficiência no TRT-13.* João Pessoa: TRT-13, 2024.

WDO. WORLD DESIGN ORGANIZATION. *Design for a better world:* WDO strategic report. Montreal, 2023. Disponível em: https://wdo.org/resources/publications/. Acesso em: 21 abr. 2025.

Comparação entre os métodos de produção tradicionais e a prototipagem rápida de Órteses Suropodálica (AFO's) para crianças com Paralisia Cerebral

Lima, Sofia Maria Mecenas Areias*[1]; Gonçalves, Pedro Henrique[2]

1 – Departamento de Saúde Funcional, UFG, sofia.areias@discente.ufg.br

2 – Faculdade de Artes visuais, UFG, pedrogoncalves@ufg.br

* - Rodovia R2, n. 3.061 Parque Tecnológico Samambaia UFG, Goiânia - GO, 74690-631.

DOI 10.52050/9788579177149-02

RESUMO

Crianças com paralisia cerebral podem apresentar alterações motoras que comprometem a marcha e demandam o uso de órteses funcionais. Este estudo teve como objetivo comparar órteses tornozelo-pé (AFOs) confeccionadas por manufatura aditiva (MA) e manufatura convencional (MC). Foram utilizados escaneamento 3D, modelagem digital no Autodesk Fusion 360 e impressão 3D, seguidos da comparação com AFOs tradicionais. As órteses impressas demonstraram boa adaptação, leveza e potencial de personalização. Conclui-se que a aplicação da MA pode otimizar o design e a acessibilidade das órteses, nos componentes de tempo de fabricação, resíduos e potencial para reduzir tempo de entrega das órteses.

Palavras-chave: órtese suropodálica, impressão 3D, paralisia cerebral

ABSTRACT

Children with cerebral palsy may have motor alterations that compromise their gait and require the use of functional orthoses. This study aimed to compare ankle-foot orthoses (AFOs) made by additive manufacturing (AM) and conventional manufacturing (CM). 3D scanning, digital modeling in Autodesk Fusion 360 and 3D printing were used, followed by comparison with traditional AFOs. The printed orthoses showed good adaptation, lightness and customization potential. It is concluded that the application of MA can optimize the design and accessibility of

orthoses, in terms of manufacturing time, waste and the potential to reduce the delivery time of orthoses.
Keywords: *AFO, 3D printing, cerebral palsy.*

1. INTRODUÇÃO

As "*ankle foot orthosis*" (AFOS), também conhecidas como órteses suropodálicas podem ser articuladas ou não, sendo utilizadas na reabilitação de crianças com paralisia cerebral (PC) com o objetivo de melhorar a funcionalidade motora e a eficiência da marcha, dependendo no nível de comprometimento da criança (Patel *et al.* 2020, p.S131). Diante desse cenário, a prescrição e a adaptação de dispositivos ortopédicos, como as AFOS, são indicadas para condições relacionadas a esses membros sejam de natureza biomecânica ou neurofisiológica (Webster; Murphy, 2019, p.239), mostrando-se essenciais na promoção da funcionalidade, nas atividades de vida diária, correção postural e facilitação da marcha (Webster; Murphy, 2019, p.2).

Essas órteses atuam promovendo o alinhamento adequado dos segmentos corporais, controlando a instabilidade articular, prevenindo deformidades musculoesqueléticas e otimizando o desempenho biomecânico durante o caminhar (Stott *et al.*, 2015 p.235). Observa-se, que com o uso adequado desses dispositivos pode-se reduzir o gasto energético durante a marcha e aumentar a velocidade de caminhada (Buckon *et al.*, 2001, p.378; Pourhosseingholi *et al.*, 2019 p.5).

Em crianças com PC, cuja marcha é frequentemente caracterizada por padrões atípicos como a excessiva flexão do joelho durante a fase de apoio (Hall, 2016, p.17), as AFOS contribuem para a estabilização do tornozelo e do pé, possibilitando uma base de apoio mais estável e, consequentemente, maior independência nas atividades funcionais e na prevenção de contraturas, (Buckon *et al.*, 2001 p.378). Assim, as AFOS são consideradas ferramentas terapêuticas essenciais no manejo clínico da PC, alinhadas à abordagem interdisciplinar e às metas funcionais individuais estabelecidas a partir de classificações como a *Gross Motor Function Classification System* (GMFCS) e da Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde (CIF), no que diz respeito a intervenções centradas na funcionalidade e na participação (Aboutorabi *et al.*, 2017 p. 401; Graham *et al.*, 2022 p.15; World Health Organization, 2001).

Recentemente, a popularização e utilização da tecnologia de impressão 3D tem ampliado as possibilidades de produção personalizada dessas órteses (Cha *et al.*, 2017 p.6), permitindo variações quanto ao tipo de material empregado, como Poliácido Láctico (PLA), Termoplástico de Poliuretano (TPU) e Polipropileno (PP), e adequações biomecânicas às necessidades individuais de cada criança por

meio de softwares (Eddison, N.; Mulholland, M.; Chockalingam, N, 2017 p.268; Shahar *et al.*, 2020 p.100). Nesse contexto, a investigação sobre as possibilidades da prototipagem rápida e dos materiais utilizados na confecção de AFOS para crianças com PC se torna relevante para o desenvolvimento de soluções terapêuticas mais eficazes e acessíveis. Dessa forma, esse estudo pretende comparar os métodos tradicionais e por impressão 3D na produção de órteses suropodálicas para crianças com paralisia cerebral, no tange peso, tempo de produção e resíduos gerados, por cada um dos métodos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foram executadas 3 etapas, sendo a primeira, uma revisão da literatura, a segunda, a visita in loco na oficina ortopédica do Centro Especializado de Reabilitação do Estado de Goiás e por fim, a produção de uma AFO utilizando técnicas de prototipagem rápida.

A busca na literatura foi realizada sobre os principais métodos de produção de AFO's e suas especificidades, a fim de se verificar suas possibilidades de produção na prototipagem rápida. O período de publicação dos artigos foi delimitado nos últimos 10 anos e a busca se restringiu aos idiomas Inglês e Português, não limitando-se aos tipos de estudos. As bases utilizadas consistiram na National Library of Medicine (NLM) – PubMed (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/) e Excerpta Medica dataBASE – EMBASE (https://elsevier.com/embase). A combinação dos unitermos foi empregada na estratégia de busca cruzada com os operadores booleanos "AND" e "OR", da seguinte maneira:

(*"printing"* **OR** *"three-dimensional"* **OR** *"computer-aided design"* **OR** *"rapid prototyping"* **OR** *"additive manufacturing"* **OR** *"computer-aided drafting"* **OR** *"computer-aided manufacturing"* **OR** *"three-dimensional design"* **OR** *"three-dimensional"* **OR** *"3D"* **OR** *"printer"*) **AND** (*"*AFO" **OR** *"ankle-foot orthoses"*)

Desse modo, foram analisados: materiais utilizados, forma de produção e principais limitações dos artigos que continham protocolos de produção de órteses supodálicas. Foram analisados, referências dos artigos e outros artigos associados ao tema e que não foram encontrados na busca.

Na segunda etapa, para realizar a comparação do método tradicional de produção, foi realizada uma visita *in loco* na oficina ortopédica do CRER (Centro Estadual de Reabilitação e Readaptação Dr. Henrique Santillo), localizado em Goiânia - Goiás, um Centro Especializado de Reabilitação (CERs) nível IV, a fim de acompanhar o passo a passo da produção de uma AFO, durante o mês de Maio de 2025.

Por fim, o processo de produção do estudo por prototipagem rápida (3D) foi realizado com base nas produções prévias do Laboratório de Estudos Inventivos

em Tecnologias Assistivas (LAB.EITA) utilizando o espaço da rede laboratórios de Ideias, Prototipagem e Empreendedorismo (IPElab) da Universidade Federal de Goiás - GO, localizado em Goiânia. As medidas obtidas serão utilizadas para a modelagem e confecção da órtese tornozelo-pé por meio de tecnologia de impressão tridimensional (3D), com o objetivo de simular o processo de desenvolvimento desse dispositivo assistivo com base em dados reais, ainda que secundários. As medidas da órtese nesse método de produção foram baseadas nas medidas da órtese articulada infantil (Tabela 1), para uma criança de 5 anos, com Paralisia Cerebral Quadriplégica Espástica (PCQE) do CRER. O passo a passo para a produção da órtese impressa em 3D consistiu em escaneamento, a modelagem 3D, a impressão 3D propriamente dita e o pós-processamento.

Tabela 1 - Medidas de uma AFO criança de 5 anos com PCQE

	Medidas (cm)
Diâmetro do Tornozelo	17
Diâmetro da Panturrilha	23
Altura da AFO	27
Largura anti-pé	8
Comprimento do pé	17

Fonte: CRER

3. RESULTADOS

Há uma lacuna metodológica na literatura, no que diz respeito à produção de AFOS, principalmente nas especificações dos materiais e do passo a passo (Eddison, N.; Mulholland, M.; Chockalingam, N, 2017 p. 265). A manufatura aditiva (MA) surge como uma alternativa à manufatura convencional (MC) para a confecção de órteses tornozelo-pé (Shahar *et al.*, 2020 p.97). A MC, é mais tradicional e envolve moldagem com gesso e termoformagem, sendo um processo manual, demorado e que depende de profissionais especializados (Brendler *et al.*, 2014 p.10; Shahar *et al.*, 2020 p.99). Já a MA, com técnicas como Manufatura Aditiva por Extrusão de Material (MEX) e "*Selective Laser Sintering*" (SLS), permite criar as órteses diretamente a partir de modelos digitais, com mais agilidade, menor custo, maior possibilidade de personalização e satisfação do usuário (Cha *et al.*, 2017 p. 5 ; Deckers *et al.*, 2018 p. 45 ; Shahar *et al.*, 2020 p.99; Walbran *et al.*, 2016 p.15).

Independentemente do método de produção, uma boa AFO, idealmente deve ser leve, barata, adaptar-se bem ao formato dos membros inferiores e apresentar boa durabilidade (Shahar *et al.*, 2019 p.183). Entre os materiais usados

na impressão 3D, os termoplásticos são os mais comuns, com destaque para o Poliácido Lático (PLA), que se mostra eficiente por ser resistente, barato e fácil de imprimir (Shahar *et al*., 2020 p.98; Aydin; Kucuk, 2018 p.6). Por outro lado, materiais como o Polipropileno (PP), ainda frequentes na MC, apresentam maior deformação térmica, o que dificulta seu uso na MA, porém, sendo o mais adequado para a confecção.

Ambos os métodos de produção, tradicional e por manufatura avançada, iniciam-se após a avaliação prévia dos profissionais capacitados, a fim de assegurar a adequação anatômica e funcional ao paciente.

3.1 Manufatura Convencional

Em visita ao CRER, pôde-se acompanhar o processo de produção tradicional. Após o encaminhamento médico, um técnico em órteses e próteses realiza a avaliação bilateral dos pés e tornozelos do paciente, coletando as medidas necessárias e observando aspectos clínicos como o ângulo de flexão dorsal, a presença ou ausência de marcha, eventuais deformidades e outras condições que possam indicar a necessidade do uso de componentes adicionais, como tirantes, utilizados para correção de desvios em varo ou valgo, ou distratores, que promovem o alinhamento e afastamento controlado das estruturas envolvidas. Nessa etapa, também são definidos aspectos de personalização da órtese, como o tipo de calçado compatível ou pelo não uso de sapatos, além da espessura do PP a ser utilizado na confecção do dispositivo.

Na segunda etapa do processo, o técnico em órteses e próteses envolve cada membro, individualmente, com filme plástico e uma tala de proteção, com o objetivo de resguardar a pele durante a moldagem. Por conseguinte, realiza-se a confecção do molde negativo por meio da aplicação de ataduras embebidas em gesso, que, ao endurecerem, imobilizam o segmento corporal e conservam suas características anatômicas. Após a secagem e a retirada do molde, este é encaminhado à oficina ortopédica, onde é preenchido com uma mistura de gesso em pó e água.

Em seguida a solidificação e retirada da atadura gessada, obtém-se o molde positivo, que servirá de base para a modelagem da órtese. Nessa fase, também é realizada a demarcação no molde do local onde será posicionado o mecanismo articular da órtese, o que irá garantir o alinhamento adequado com a articulação anatômica do paciente e permitindo o correto funcionamento do dispositivo após a confecção (Figura 1).

Figura 1 - Passo a passo do MC de confecção de uma AFO. Etapas: Molde negativo; Molde positivo; Molde de articulação e termoformagem do PP.



Fonte: Os autores

Posteriormente, os moldes positivos são revestidos com termoplásticos, nesse caso o PP, um polímero utilizado na confecção de órteses por ser altamente maleável quando aquecido, resistente e de baixo custo (Castaneda, 2021, p. 8). A placa de polipropileno é submetida ao aquecimento em temperaturas entre 180 °C e 200 °C, durante aproximadamente 10 minutos, até atingir a plasticidade necessária para a moldagem (Figura 1). Nessa etapa, o molde termoconformado de polipropileno, já no formato preliminar da órtese, é identificado com códigos únicos que permitem o rastreamento e a correta vinculação do dispositivo ao paciente no sistema de produção. Antes de ser finalizada, a órtese passa por uma prova com o paciente, a fim de assegurar que o tamanho está fidedigno ou que serão necessários ajustes para a correção (Figura 2).

Na sequência, inicia-se o processo de acabamento da órtese tipo tornozelo-pé . A peça é lixada de forma progressiva, visando melhorar o acabamento superficial e a aderência dos componentes.

Figura 2 - Passo a passo do MC de confecção de uma AFO. Etapas: Molde em PP; Acabamento; Corte para articulação e articulação.



Fonte: Os autores

Após essa fase, procede-se ao corte para articular, seguido por nova etapa de lixamento. Em seguida, são instaladas as articulações internas, quando indicadas, utilizando-se rebites de alumínio, que conferem sustentação e estabilidade ao sistema articular (Figura 2).

O final da órtese é realizado com o auxílio de soprador térmico, que permite ajustes localizados para garantir melhor adaptação ao formato anatômico do paciente. As marcações para a fixação do velcro são realizadas, assim como a perfuração correspondente (Figura 3).

Figura 3 - Passo a passo do método tradicional de confecção de uma AFO MC.



Fonte: Os autores

Por fim, aplica-se o forro interno confeccionado em Plastazote (3 mm), um material macio e moldável, que é cortado, lixado para proporcionar bom acabamento e colado com cola de sapateiro, completando o processo de confecção e finalização da órtese tornozelo-pé.

Vale ressaltar que todo esse trabalho é realizado de forma manual, com diversos trabalhadores em diferentes etapas do processo, por isso a previsão de entrega de uma AFO é de cerca de um mês, entre realizar o molde negativo, primeira prova e a entrega final. Desse modo, o preço total desse serviço ambulatorial foi descrito na Figura 4, conforme a precificação do Sistema Único de Saúde (Brasil, 2025).

Figura 4 - Tabela de custo da órtese articulada em polipropileno infantil.



Valores

Serviço Ambulatorial:	R$ 159,60	Serviço Hospitalar:	R$ 0,00
Total Ambulatorial:	R$ 159,60	Serviço Profissional:	R$ 0,00
		Total Hospitalar:	R$ 0,00

Descrição	CID	CBO	Leito	Serviço Classificação	Habilitação	Redes	Origem	Regra Condicionada	Renases	TUSS

Descrição

ÓRTESE SUROPODALICA, UNILATERAL, INFANTIL, TIPO CALHA POSTERIOR EM POLIPROPILENO, ARTICULADA NO TORNOZELO, COM OU SEM CORREIA ANTIVARO OU ANTIVALGO DE RETROPE.

Fonte: BRASIL, 2025

3.2 Manufatura Aditiva

Já a parte de produção em prototipagem rápida, inicia-se com a utilização de um scanner na etapa de levantamento da geometria da perna, o tornozelo e o pé. Nesse estudo, as medidas foram baseadas nas medidas da AFO produzidas pelo CRER, conforme a Tabela 1, no entanto, esse recurso compreende um facilitador no processo de produção, uma vez que permite que o molde seja retirado sem contato direto com a criança com PC. Para esse procedimento foi utilizado o scanner 3D EinScan PRO 2X Plus, um instrumento que atinge uma precisão entre 0.05 e 0.1 mm, permitindo captar com fidelidade a morfologia necessária para o desenvolvimento da órtese. Após essa etapa, os dados obtidos são processados para formar a ''nuvem de pontos'', que será convertida em um arquivo no formato STL (estereolitografia), utilizado na manufatura aditiva.

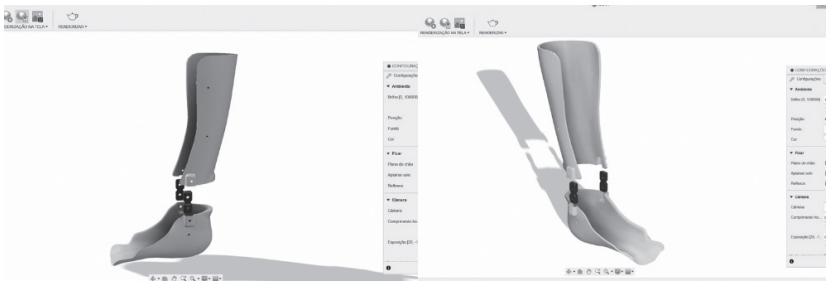
Subsequentemente ao escaneamento, seriam utilizadas as medidas tiradas da criança, para realizar a modelagem da AFO nos softwares de modelagem tridimensional, neste trabalho foi utilizado o software Autodesk Fusion 360. O membro inferior escaneado 3D é digitalizado, gerando um arquivo STL, e esse é importado para um software de design assistido por computador (CAD), onde se inicia o processo de modelagem da órtese tornozelo-pé. Nesse software, realiza-se a limpeza da malha digital e a delimitação da área de interesse, com recorte da região anatômica necessária para a órtese (Figura 5).

A modelagem da AFO envolve a definição da espessura do material, do contorno anatômico, da altura da órtese e do design das bordas, respeitando critérios de funcionalidade biomecânica e conforto para o usuário pediátrico. Também é possível inserir recortes específicos ou reforços estruturais, conforme a indicação clínica.

No próprio ambiente CAD, realizam-se simulações e ajustes estruturais que permitem prever falhas, testar o desempenho do dispositivo e corrigi-lo antes da

impressão 3D, o que contribui para a segurança e eficácia da órtese final (Chen *et al.*, 2014) (Figura 5).

Figura 5 - Modelagem da AFO no software.



Fonte: Os autores

A AFO, após a finalização nos programas CAD/CAM, é impressa no modelo Creality K1 Max, com um bico de 0,4mm, levando 4 horas e 21 minutos para produção das quatro peças que serão articuladas. Ainda que o seja PLA um material muito rígido derivado de recursos renováveis como milho ou cana-de-açúcar, e tenha uma facilidade de impressão, devido a baixa deformação durante o processo de fabricação, sua flexibilidade é limitada, tornando-o menos adaptável a condições que requerem maior elasticidade (Tabela 2). Dessa maneira, optou-se pela utilização do Nylon 6, que oferece maior resistência mecânica e durabilidade.

Tabela 2 - Medidas de rigidez e tensão máxima de diferentes materiais.

	Módulo de Young	Resistência à tração
PLA	≈ 3,93 GPa	42,66 MPa
PP (MC)	2,0 GPa	10,00 MPa
Nylon	0,073 GPa	34,79 MPa

Fonte: Shahar et al., 2020

Ademais, a dobradiça da articulação foi impressa em TPU devido à sua maior maleabilidade, favorecendo a funcionalidade da órtese. O acabamento das peças foi realizado com uma micro retífica, permitindo o ajuste preciso das bordas para a fixação dos rebites. Em seguida, a parte interna é revestida com EVA de 3 mm e colada com cola adesiva de contato, a fim de proporcionar mais conforto para o usuário. Os gastos dos materiais foram descritos na Tabela 3.

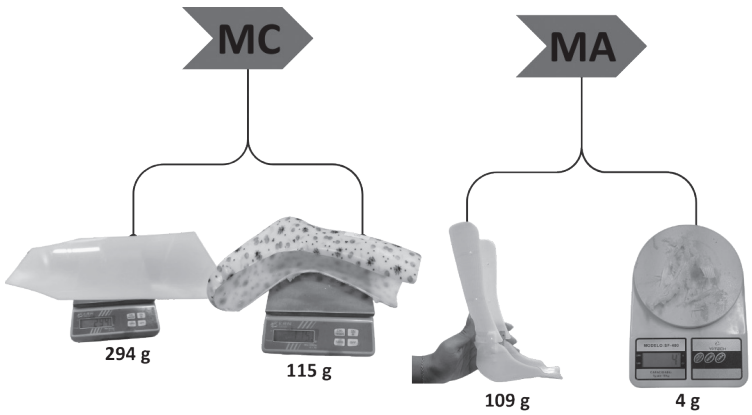
Tabela 3 - Custos de produção da órtese em impressão 3D por palmilha.

	Quantidade	Custo
Nylon 6	109 g	R$ 28,61
TPU	3 g	R$ 0,56
Energia	0,873 kW/h	R$ 2,70
EVA 3mm	¼ de folha	R$ 0,90
Cola	20 g	R$ 2,46
Fitas de velcro	54 cm	R$ 0,54
Custo total		R$ 35,77

Fonte: Os autores

Os resíduos gerados pelo suporte da impressão, foram pesados e comparados com a placa de PP antes do processo de termoformagem e o peso final da AFO, após a retirada das rebarbas geradas pela MC (Figura 6).

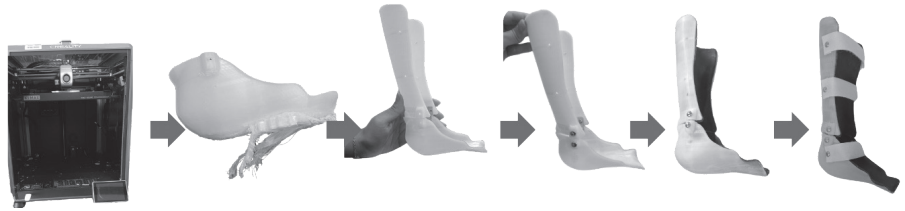
Figura 6 - Comparação do peso de uma placa de PP (3mm) e peso de uma AFO 3mm após termoformagem e dos retalhos do suporte da AFO impressa em 3D.



Fonte: Os autores

O passo a passo da MA pode ser visto na Figura 7. Assim como no método tradicional, a adaptação final pode ser realizada com o usuário em posição ortostática e se possível em marcha assistida, com ajustes realizados conforme a resposta funcional observada. As orientações sobre o uso progressivo da órtese devem ser fornecidas, assim como no CRER, para adaptação, além das recomendações de cuidados com a pele e o material da órtese.

Figura 7 - Passo a passo do MA de confecção de uma AFO. Etapas: impressão 3D; limpeza; articulação e acabamento.



Fonte: Os autores

4. DISCUSSÃO

A falta de estudos metodologicamente completos dificulta a reprodução dos estudos e prejudica a prática clínica baseada em evidências (Eddison; Mulholland; Chockalingam, 2017 p.268), fazendo-se necessário o desenvolvimento de protocolos para a produção de órteses tornozelo-pé, principalmente para o método de MA, que vem ganhando cada vez mais espaço na produção de órteses e próteses.

Em relação aos custos, por tratar-se de um dispositivo vinculado ao Sistema Único de Saúde (SUS), a precificação da órtese tradicional foi baseada nos valores estabelecidos pelo Sistema de Gerenciamento da Tabela de Procedimentos, Medicamentos e Órteses, Próteses e Meios Auxiliares do SUS (SIGTAP), conforme ilustrado na Figura 4. Dessa forma, os custos individuais de cada material não foram discriminados. O valor total ambulatorial para a produção da órtese tornozelo-pé é de R$ 159,60 (Figura 4).

Por outro lado, os valores referentes à órtese confeccionada por meio de impressão 3D foram calculados com base no tempo total de produção, estimado em 4 horas e 21 minutos, e nos materiais utilizados durante o processo, resultando em um custo total de R$ 35,77, conforme detalhado na Tabela 3.

Como já pontuado anteriormente, o prazo estimado para a entrega do produto final na MC é de aproximadamente um mês. No entanto, esse período pode estender-se, uma vez que a produção do CRER é organizada com base em metas mensais e categorias específicas. As órteses suropodálicas são classificadas como órteses de membros inferiores, cuja produção mensal é limitada a 216 unidades. Diante disso, embora o fluxo de produção seja contínuo, a demanda constante direcionada à oficina ortopédica ultrapassa a capacidade de atendimento estabelecida, resultando em acúmulo de pedidos não atendidos dentro do prazo previsto.

Outro aspecto relevante a ser considerado é a personalização do dispositivo. Apesar do método tradicional apresentar limitações nesse sentido, tanto ele

quanto o processo por prototipagem rápida podem demandar ajustes manuais e provas de adaptação ao usuário, o que pode resultar em maior geração de resíduos a cada modificação realizada. Em contrapartida, o modelo digital oferece maior flexibilidade no que diz respeito às modificações, permitindo alterações precisas no projeto antes da produção final. Ajustes como a inclusão de suportes adicionais, reforços com diferentes materiais, variações na densidade do material e design personalizado podem ser facilmente implementados, favorecendo uma melhor adaptação às necessidades específicas do usuário e promovendo maior conforto e funcionalidade (Chen *et al.*, 2014 p.9).

Além disso, outros programas que não o do Autodesk Fusion 360 também podem ser utilizados na modelagem de AFOs incluindo o Meshmixer, o Blender, o Rhinoceros (Rhino), e softwares específicos para órteses, que o mercado já oferece como o Rodin4D e o Delcam OrthoMODEL, que possuem módulos voltados à ortopedia técnica, de acordo com a afinidade e preferência do modelador. Em paralelo, a MC necessita de um grande número de pessoas envolvidas na produção de uma órtese, o que aumenta os custos de recursos humanos necessários.

Sobre a geração de resíduos, de maneira geral, as AFOS em impressão 3D geram menos resíduos sólidos e otimizam o uso dos recursos, tornando-a potencialmente mais sustentável em comparação ao método tradicional, que além dos resíduos de gesso, geram mais de 60% de resíduos apenas no processo de termoformagem da placa de PP, conforme demonstrado na Figura 6, enquanto o excedente de material na MA é mínimo. O processo de termoformagem, por utilizar integralmente uma chapa de PP, impossibilita o uso dos retalhos, visto que todo o material será moldado sobre o molde positivo de gesso e as rebarbas serão retiradas, formando resíduos que serão descartados.

5. CONCLUSÕES

Ao compararmos o método tradicional com o método de impressão 3D, podemos notar que há diferenças significativas, no tempo de produção e entrega, dos resíduos gerados, no custo e no peso da AFO. Como sugestão para estudos futuros, infere-se que testes comparando a eficiência e conforto das órteses produzidas por esses dois métodos sejam avaliadas em crianças com paralisia cerebral. Assim como avaliar se o uso do escaneamento confere superioridade a atadura gessada, no que tange diminuir o desencadeamento de aumento do tônus muscular, rigidez e movimentos bruscos e involuntários durante o processo de medidas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação pelo financiamento das pesquisas em desenvolvimento do grupo de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABOUTORABI, A. *et. al*. Efficacy of ankle foot orthoses types on walking in children with cerebral palsy: A systematic review. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, Paris, v. 60, n. 6, p. 393–402, nov. 2017.

AYDIN, L.; KUCUK, S. A method for more accurate FEA results on a medical device developed by 3D technologies. *Polymers for Advanced Technologies*, v. 29, n. 8, p. 2281–2286, 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. SIGTAP – *Sistema de Gerenciamento da Tabela de Procedimentos, Medicamentos e OPM do SUS*,2025. Disponível em: http://sigtap.datasus.gov.br/tabela-unificada/app/ sec/inicio.jsp. Acesso em: 01 mai. 2025.

BRENDLER, C.F *et al. Digitalização 3D utilizando Kinect e sistemas CAD e CAM para confecção de órtese de membro inferior.* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 11., 2014, São Paulo. *Anais* [...]. São Paulo: Blucher Design Proceedings, nov. 2014. v. 1, n. 4.

BUCKON, C. E. *et al.* Comparison of three ankle-foot orthosis configurations for children with spastic hemiplegia. *Developmental Medicine & Child Neurology*, London, v. 46, n. 9, p. 590–598, 2004.

CASTANEDA, Luciana. Planejamento Regional Integrado. PDF interativo In: UNIVERSIDADE ABERTA DO SUS. UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO. *Atenção à Pessoa com Deficiência I: Transtornos do espectro do autismo, síndrome de Down, pessoa idosa com deficiência, pessoa amputada e órteses, próteses e meios auxiliares de locomoção*. Prescrição, Concessão, Adaptação e Manutenção de Órteses, Próteses e Meios Auxiliares de Locomoção. São Luís: UNA-SUS; UFMA; 2021.

CHA, Y. H. *et al.* Ankle-foot orthosis made by 3D printing technique and automated design software. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2017, p. 1–6.

CHEN, R. K. *et al*. Additive manufacturing of personalized ankle-foot orthosis. Transactions of the North *American Manufacturing Research Institution of SME*, v. 42, p. 381–389, 2014.

DECKERS, J. P. *et al*. Development and clinical evaluation of laser-sintered ankle foot orthoses. *Plastics Rubber and Composites*, v. 47, n. 1, p. 42–46, 2018.

EDDISON, N.; MULHOLLAND, M.; CHOCKALINGAM, N. Do research papers provide enough information on design and material used in ankle foot orthoses for children with cerebral palsy? A systematic review. *Journal of Children's Orthopaedics*, v. 11, n. 3, p. 263–271, 2017.

GRAHAM, H. Kerr et al. Cerebral palsy. *Nature Reviews Disease Primers*, [s.l.], v. 2, p. 15082, 2016.

HALL, Susan J. *Biomecânica básica*. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016. Tradução de: Basic biomechanics. Revisão técnica: Eliane Ferreira. ISBN 9788527729109.

SHAHAR, F. S. *et al.* A review on the orthotics and prosthetics and the potential of kenaf composites as alternative materials for ankle-foot orthosis. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, v. 99, p. 169-185, nov. 2019.

SHAHAR, F. S. *et al.* A comparative analysis between conventional manufacturing and additive manufacturing of Ankle-Foot Orthosis. *Applied Science and Engineering Progress*, v. 13, n. 2, p. 96–103, 2020.

STOTT, N. S. Capítulo 8: Cerebral Palsy. In: ROME, K.; MCNAIR, P. (Ed.). *Management of chronic conditions in the foot and lower leg.* 1. ed. Edinburgh: Churchill Livingstone, 2015. p. 214-250. ISBN: 978-0-7020-6076-2.

PATEL, D.R. *et al. Cerebral palsy in children: a clinical overview. Translational Pediatrics*, v. 9, supl. 1, p. S125–S135, 2020.

POURHOSSEINGHOLI, E. *et al.* Efficacy of different techniques of AFO construction for hemiplegia patients: A systematic review. *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran*, [S.l.], v. 33, n. 50, p. 1–9, 3 jun. 2019.

WALBRAN, M.; TURNER, K.; McDAID, A. J. Customized 3D printed ankle-foot orthosis with adaptable carbon fibre composite spring joint. *Cogent Engineering*, v. 3, n. 1, p. 1–11, 2016.

WEBSTER, J.B.; MURPHY, D. *Atlas of orthoses and assistive devices*. 5. ed. Philadelphia, PA: Elsevier, 2019.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *International Classification of Functioning, Disability and Health: ICF*. Geneva: WHO, 2001.

Desenvolvimento de órtese para tratamento da síndrome do túnel do carpo utilizando impressão 3D

Dantas, Laura Sousa*[1]; De Oliveira, Vitória Souza[2]; Sousa, Reges Washington Magalhães[3]; Gonçalves, Pedro Henrique[4]

1 – Instituto de Patologia Tropical e Saúde Pública, UFG, lauradantas@discente.ufg.br

2 – Instituto de patologia Tropical e Saúde Pública, UFG, oliveira_oliveira@discente.ufg.br

3 – Faculdade de Artes Visuais, UFG, regesmagalhaes@discente.ufg.br

4 –Faculdade de Artes Visuais, UFG, pedrogoncalves@ufg.br

* -Correspondência: Av. Esperança, s/n, FAV UFG – Campus Samambaia, Goiânia, Goiás, Brasil, 74690-900.

DOI 10.52050/9788579177149-03

RESUMO

A síndrome do túnel do carpo é caracterizada pela compressão do nervo mediano no túnel do carpo, tendo como um dos principais tratamentos, o uso de órtese para estabilização do punho. Este estudo buscou desenvolver uma órtese utilizando manufatura aditiva, que proporcionasse estabilização, conforto e leveza. A metodologia envolveu as etapas de revisão de literatura, planejamento, escaneamento, modelagem e impressão 3D. Os métodos utilizados viabilizaram a otimização do tempo e redução de custos, resultando em um produto que atendesse aos objetivos. A modelagem e impressão 3D demonstraram-se eficientes em diversos aspectos, sendo um potencial para o desenvolvimento de novos dispositivos.

Palavras-chave: síndrome do túnel do carpo, órtese, impressão 3D

ABSTRACT

Carpal tunnel syndrome is characterized by compression of the median nerve in the carpal tunnel, and one of the main treatments is the use of orthosis to stabilize the wrist. This study sought to develop orthosis using 3D printing that would provide stabilization, comfort, and lightness. The methodology involved the steps of literature review, planning, scanning, modeling, and 3D printing. The methods used enabled time optimization and cost reduction, resulting in a product that met

the objectives. 3D modeling and printing proved to be efficient in several aspects and have potential for the development of new devices.
Keywords: *Carpal tunnel syndrome, orthosis, 3D printing.*

1. INTRODUÇÃO

A síndrome do túnel do carpo (STC) é uma neuropatia caracterizada pela compressão do nervo mediano no túnel do carpo, uma estrutura anatômica situada entre o retináculo dos flexores do punho e o sulco carpal (PADUA *et al.*, 2016, p. 1273; OSIAK *et. al.*, 2021, p. 852). As principais consequências dessa compressão, são os sintomas de dor e parestesia nas regiões inervadas pelo mediano: polegar, dedo indicador, dedo médio e porção radial do dedo anular, além dos músculos lumbricais e opositores (CHAMMAS, 2013, p. 78). Ademais, em casos graves pode-se desencadear perda sensorial e em casos mais severos a paralisia tenar (KEITH *et al.*, 2009, p. 397), afetando a realização e o desempenho das atividades de vida diária (CELIKERÇ *et al.*, 2002, p.183).

Dentre os fatores de risco para desenvolvimento de STC têm-se: sexo feminino, obesidade, idade entre 45-60 anos e movimentos de flexão e extensão realizados repetidamente por longos períodos (BECKER *et al.*, 2002, p.1433; PALMER *et al.*, 2006, p. 63-64) Outrossim, pode-se existir uma relação da patologia com o diabetes mellitus, porém, não é bem definida e apresenta divergências entre os estudos (WERNER *et al.*, 1994, p. 636).

Existem diversos tratamentos, sendo eles, cirúrgicos e não cirúrgicos, e para identificar o tratamento inicial mais adequado, considera-se diversos parâmetros, como idade, resultados clínicos e de eletromiografia (EMG), período dos sintomas, entre outros (RIASI *et al.*, 2015, p. 154). Porém, o tratamento com órtese/tala é frequentemente indicado, pois promove a estabilização do punho na posição neutra, contribuindo para minimização da compressão (CELIKER *et al.*, 2002, p. 183). Em um estudo realizado por HALL *et al.* (2013, p. 456), o uso desse dispositivo mostrou-se eficaz em pacientes que usaram e receberam orientações educacionais por 8 semanas, uma vez que estes demonstraram melhora nos sintomas e na funcionalidade.

No que tange a produção de órtese, a Manufatura Aditiva (MA), popularmente conhecida como impressão tridimensional (3D), tem ganhado cada vez mais destaque, uma vez que permite a produção de estruturas complexas e personalizadas, com otimização de tempo e redução de custos (NGO *et al.*, 2018, p. 172). Na revisão realizada por CHOO *et al.* (2020, p. 4267), as órteses produzidas com Impressão 3D apresentaram resultados superiores ou igualmente satisfatórios em relação às tradicionais. Além disso, o estudo de CHAE *et al.*

(2020, p. 5) evidenciou que o uso de órteses feitas por meio de Impressão 3D foi satisfatório na terapêutica de lesões nervosas periféricas.

Diante desse contexto, o objetivo deste estudo foi desenvolver uma órtese para indivíduos com síndrome do túnel do carpo utilizando a Impressão 3D, que possuísse resistência, leveza, conforto e estabilidade na região do punho.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizada a metodologia de desenvolvimento tecnológico, fundamentada no escaneamento 3D, modelagem computer aided design (CAD) e fabricação por Impressão 3D. A obtenção dos dados da superfície do membro superior do indivíduo e a geração do modelo digital da órtese seguiram o Processo de Confecção de Órteses Digitalizado (DSP) proposto por PATERSON et al. (2014, p.104), conforme detalhado em seu estudo sobre o design de talas de punho com suporte de CAD e impressão 3D. Na etapa 1 foi realizada uma busca nas bases de dados National Library of Medicine (NLM) – PubMed (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/) e Scientific Electronic Library Online – Scielo (https://www.scielo.br/), utilizando a estratégia de busca cruzada com os operadores booleanos "AND" e "OR", do seguinte modo: "carpal tunnel syndrome" AND "orthosis"; "carpal tunnel syndrome" OR "orthosis" OR "Printing Three-Dimensional". Na segunda etapa utilizando o programa FigJam, da empresa Figma, foi planejada uma órtese que atendesse a requisitos de conforto, leveza e estabilidade. Posteriormente, foi efetuado o escaneamento de superfície do antebraço e mão de um indivíduo do sexo feminino, de 20 anos, sem STC (etapa 4), utilizando um escâner 3D modelo EinScan PRO 2X Plus. O modelo obtido foi utilizado como molde para o processo de modelagem da órtese no programa Fusion 360, na quinta etapa. Por fim, no sexto momento, foi realizada a impressão do objeto por meio de uma impressora 3D Creality k1, utilizando bico de 0,4 mm. O dispositivo foi completamente preenchido, impresso a 200 °C, com ventilador desligado, e mesa com 80 °C, sendo utilizada cola bastão para aderência.

3. RESULTADOS

Este estudo de desenvolvimento tecnológico buscou relatar a produção de uma órtese para síndrome do túnel do carpo utilizando o escaneamento, modelagem e impressão 3D. A partir de um levantamento bibliográfico, foi notada a existência de poucas pesquisas que relataram a produção de uma órtese por meio da impressão 3D para essa patologia. Nesse sentido, identificou-se a necessidade de desenvolver e relatar a construção de um dispositivo que oferecesse conforto, leveza e estabilidade ao usuário. Além disso, essa etapa

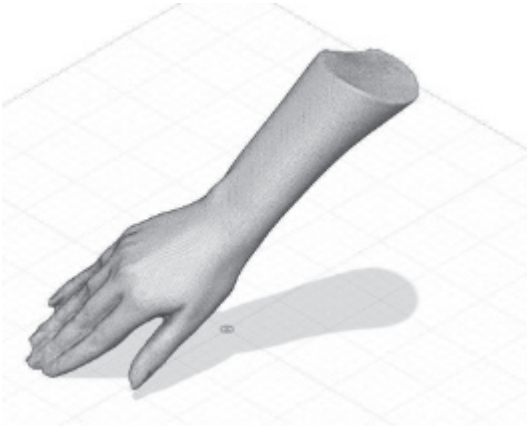
proporcionou o conhecimento de algumas indicações da literatura para o desenvolvimento de uma órtese.

Para produzir uma órtese que se adaptasse a anatomia do indivíduo foi realizado o escaneamento de superfície (figura 2), que proporcionou trabalhar a modelagem sobre o membro digitalizado (figura 3).

Figura 02 - Processo de escaneamento



Figura 03 - Membro digitalizado



O processo de modelagem foi realizado sobre a mão escaneada, seguindo os contornos do modelo. Também foram feitas adaptações, utilizando o arredondamento nas bordas do modelo digital para aumentar o conforto e ergonomia do dispositivo. Além disso, com o intuito de proporcionar maior respirabilidade à pele e leveza à órtese, foram criadas aberturas tanto na parte superior quanto na inferior (figura 4). Na modelagem foi utilizada a

espessura de 2 mm em toda a órtese, buscando garantir leveza e estabilidade concomitantemente, entretanto esse valor foi modificado para 5 mm na região do punho, a fim de aumentar a resistência do dispositivo nesse local (figura 5).

Figura 04 - Aumento da espessura nas regiões do punho

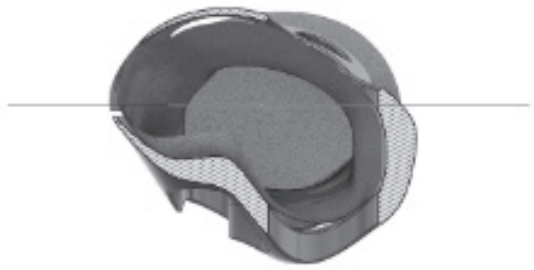
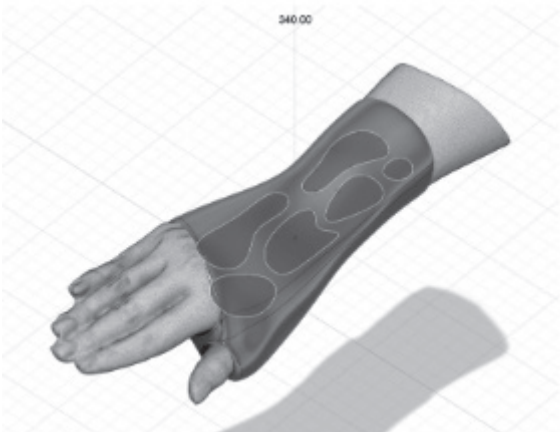


Figura 05 - Órtese com alterações realizadas



Após serem feitas alterações na modelagem, o objeto foi impresso. No primeiro modelo impresso (modelo 1) aplicou-se o filamento Poliuretano Termoplástico (TPU), com o intuito de proporcionar maior conforto ao usuário, devido à sua alta flexibilidade (figura 6), entretanto esse material não proporcionou a estabilidade necessária na região do punho. Ademais, esse material demandou gasto excessivo de TPU para suporte do modelo.

Já no segundo modelo (modelo 2), utilizou-se o Polipropileno (PP) (figura 7), que possibilitaria flexibilidade, porém, com maior rigidez nas áreas com a densidade alterada. Este material demonstrou maior resistência e estabilidade no punho, de forma a limitar os movimentos de flexão e extensão da estrutura,

além de otimizar o gasto de material. O tempo de impressão de ambos foi de 3 horas.

Figura 06 - Modelo impresso em TPU

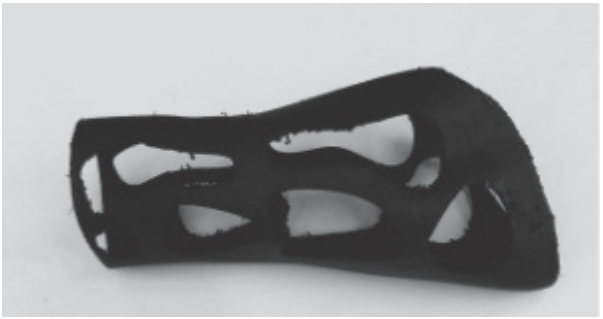
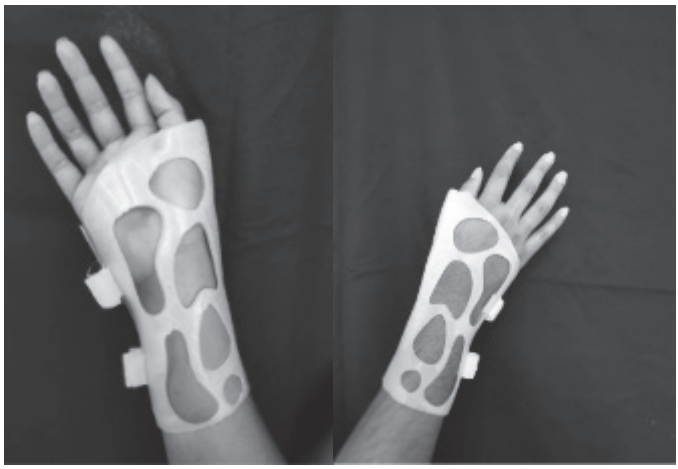


Figura 07 - Modelo impresso em PP



No que tange a leveza, o modelo 1 apresentou 63 gramas e o segundo 41 gramas, sendo consideravelmente leve quando comparado a dois modelos de órteses produzidas com métodos e materiais tradicionais que apresentaram, em pesagem feita pelos autores 55 e 106 gramas. Outrossim, o design desenvolvido permitiu a liberdade de movimentos das falanges, com exceção da falange proximal do polegar, e as aberturas na face superior e inferior proporcionaram a circulação de ar, contribuindo para oferecer maior conforto ao usuário. Ademais, o modelo final (figura 08) se adequou à anatomia do indivíduo que teve o membro escaneado.

Figura 08 - Modelo final na mão do usuário



Para a produção da órtese foram gastos 3 horas e o custo total foi de 32,50 reais, sendo gastos 23 metros de filamento PP.

4. DISCUSSÃO

O objetivo deste estudo foi desenvolver uma órtese para indivíduos com síndrome do túnel do carpo utilizando a Impressão 3D, que possuísse resistência, leveza, conforto e estabilidade na região do punho. FARAHMAND *et al.* (2021, p. 4) realizaram um estudo e identificaram que o uso de órteses/talas para punho pode ter efeito significativo na dor e sintomas de usuários com STC quando utilizadas em um período mínimo de 3 semanas.

A partir da busca na literatura foi possível encontrar evidências a respeito dos parâmetros para a produção de uma órtese para tratamento da STC. Segundo CHAE *et al.* (2020, p.1), esse dispositivo deve cumprir alguns requisitos, como: leveza, conforto e facilidade de manuseio, os autores recomendam também que o material utilizado na produção seja resistente.

Com a construção desse modelo de órtese, buscou-se proporcionar uma resistência aos movimentos de flexão e extensão. Tal estratégia é usada nos dispositivos disponíveis no mercado, pois a neutralidade da posição do punho melhora a compressão do nervo mediano (CELIKER *et. al.*, 2002, p. 183).

No que tange ao método de produção, a modelagem CAD e a Impressão 3D foram utilizadas por promoverem um aproveitamento eficiente do material (JAVAID *et al.*, 2021, p. 314), pelo baixo custo, pela representação fiel da anatomia do indivíduo e pelo tempo reduzido de produção (ARCE, FOGGIATTO, 2017, p.7). Destaca-se que os materiais utilizados nesse método, como o TPU e PP, são

recicláveis, contribuindo assim para uma produção sustentável, minimizando os impactos ambientais.

No processo de confecção das órteses tradicionais geralmente são utilizados materiais como: tesoura, equipamentos térmicos, gesso e tecido, seguindo etapas de modelagem em papel, recorte do molde na placa termomoldavel, aquecimento do termo moldável, aplicação da placa na mão do indivíduo para verificar a necessidade de mudanças, esfriamento da órtese, realização de ajustes para melhora da ergonomia e posicionamento de velcros e pontos de pressão (CAMPOS *et. al.*, 2014, p. 202-218). Nesse contexto, a produção da órtese a partir da MA torna-se um método mais eficiente, não somente pela redução de custo, mas por exigir menos etapas, proporcionando a otimização do tempo.

Contudo, este estudo apresenta limitações, uma vez que não foi realizado o teste em indivíduos com STC. Nesse sentido, são necessários estudos adicionais que avaliem os efeitos desse dispositivo na funcionalidade e sintomas das pessoas com a referida síndrome.

5. CONCLUSÕES

Em síntese, o desenvolvimento de órteses personalizadas por meio da Impressão 3D para indivíduos com síndrome do túnel do carpo é de suma importância, pois proporciona uma modelagem adaptada à especificidade anatômica do usuário, de modo a ser um potencial para se obter melhores resultados no tratamento no qual ela é utilizada. Este estudo buscou analisar novos métodos e possibilidades de produção de órteses para STC, utilizando a Impressão 3D, visando proporcionar redução de custos e otimização do tempo. Nesse contexto, a Impressão e modelagem 3D demonstraram-se eficientes, uma vez que atenderam esses requisitos. Por fim, diante da carência e importância de estudos sobre essa temática, o projeto desenvolvido torna-se um fomentador para novas pesquisas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação pelo financiamento das pesquisas em desenvolvimento do grupo de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ARCE, R. P.; FOGGIATTO, J. A. *Modelagem de Órteses para fabricação por manufatura aditiva*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, n. 9 Joinville, Santa Catarina, ed.9, p. 30, Jul. 2017

BECKER, J.; NORA, D. B.; GOMES, I.; STRINGARI, F.F.; SEITENSUS, R.; PANOSSO, J. S.; EHLERS, J. A. C. An evaluation of gender, obesity, age and diabetes mellitus as risk factors for carpal tunnel syndrome. *Clinical Neurophysiology,* [s/l], v. 113, p. 1429 – 1434, Jun. 2002.

CAMPOS, A. A.; CARDOSO, C. M. C.; MELO, C. M. M.; BARBOSA, D. M.; RIBEIRO, D. M.; MAGALHÃES, E. P.; SANTOS, H. S.; GRANDI, L.; CHRISTÓFARO, M. A. C.; SILVA, P. N. *Técnico em Próteses e Órteses*. Brasília: Ministério da Saúde, 2014.

CHAE, D. S.; KIM, D. H.; KANG, K. Y.; KIM, D. Y.; PARK, S. W.; PARK, S. J.; KIM, J. H. The functional effect of 3D-printing individualized orthosis for patients with peripheral nerve injuries: Three case reports. *Medicine*, [s/l], v. 99, p. e19791, Abr. 2020.

CHAMMAS, M.. Carpal tunnel syndrome. *Chirurgie de la Main,* [s/l], v. 33, p. 75-94, Nov. 2013.

CHOO, Y. J.; REVÉRET, M. B.; CHANG, M. C. 3D printing technology applied to orthosis manufacturing: narrative review. *Annals off palliative medicine*, [s/l], v. 9, n. 6, p. 4262 – 4270, Set. 2020.

ÇELIKER, R.; ARSLAN, S.; INANICI, F. Corticosteroid Injection vs. Nonsteroidal Antiinflammatory Drug and Splinting in Carpal Tunnel Syndrome. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation,* França, v. 81, n. 3, p. 182- 186, Mar. 2002.

FARAHMAND, B.; POURHOSAINGHOLI, E.; BAGHERI, A. Investigating the effects of volar wrist cock-up splint and dorsal lock wrist hand orthosis in reducing signs of carpal tunnel syndrome. *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran*, [s/l], v. 35, art. 53, Abr. 2021.

HALL, B.; LEE, H. C.; FITZGERALD, H.; BYRNE, B.; BARTON, A.; LEE, A. H. Investigating the effectiveness of full-time wrist splinting and education in the treatment of carpal tunnel syndrome: a randomized controlled trial. *American Journal of Occupational Therapy*, [s/l], v. 67, n. 4, p. 448 – 459, Ago. 2013.

JAVAID, M.; HALEEM, A.; SINGH, R. P.; SUMAN, R.; RAB, S. Role of additive manufacturing applications towards environmental sustainability. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, [s//l], v. 4, p. 312 – 322, Jul. 2021.

KEITH, M. W.; MAESAR, V.; PETER, C. A.; ANDARY, M.; BARTH, R. W.; GRAHAM, B.; CHUNG, K.; MAUPIN, K.; WATTERS, W. C.; HARALSON, R. H.; TURKELSON, C. M.; WIELS, J. L.; McGOWAN, R. Treatment of carpal tunnel syndrome. *American Acaddemy of Orthopaedic Surgeons,* [s/l], v. 17, n. 6, p. 397- 405, Jun. 2009.

NGO, Tuan D.; KASHANI , A.; IMBALZANO, G.; NGUYEN, K. T.Q.; HUI, D. Additive manufacturing (3D printing):A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, [*s. l.*], v. 143, p. 172-196, 2018.

OSIAK, K.; ELNAZIR, P.; WALOSHA, J.A.; PASTERNAK, A. Carpal Tunnel Syndrome: state of the art review. *Folia Morphol,* [s/l], v. 81, n. 4, p. 851- 862, Nov. 2021.

PADUA, L.; CORACI, D.; ERRA, C.; PAZZAGLIA, C.; PAOLASSO, I.; LORETI, C.; WEBB, L. D. H. Carpal Tunnel Syndrome clinical features, diagnosis, and management. *The Lancet Neurology*, [s/l], v. 15, p. 1273-1284, Nov. 2016.

PALMER, K. T.; HARRIS, E. C.; COGGON, D. Carpal tunnel syndrome and its relation to occupation: a systematic literature review. *Occupational Medicine*, [s/l], v. 57, p. 57 – 66, Nov. 2006.

PATERSON, A. M.; DONNISON, E.; BIBB, R.J.; CAMPBELL, I. Computer-aided design to support fabrication of wrist splints using 3D printing: A feasibility study. *Hand Therapy*. [s/l], v. 19, p. 102-113, 2014.

RIASSI, H.; RAJABPOUR, S. A.; SALEHI, F.; SALEHIAN, H.; GHAEMI, K. Analyzing the therapeutic effects of short wrist splint in patients with carpal tunnel syndrome (CTS) under ibuprofen treatment from an EMG-NCV perspective. *Journal of Medicine and Life,* [s/l], v. 8, p. 154-158, Dez. 2015.

WERNER, R. A.; ALBERS, J. W.; FRANZBLAU, A.; ARMSTRONG, T. The relationship between body mass index and the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Muscle Nerve*, [s/ l], v. 17, p. 632 – 636, Jun. 1994.

Desenvolvimento de algoritmo para detecção de movimentos por EMG e comparação com técnica do Operador de Energia de Teager-Kaiser

Lima, Gabriel da Rocha Adamoski[1]; Mendes Junior, José Jair Alves[2]; Campos, Daniel Prado[3]

1 – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, UTFPR, limag.2000@alunos.utfpr.edu.br
2 – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, UTFPR, jjjunior@utfpr.edu.br
3 – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, UTFPR, danielcampos@utfpr.edu.br

DOI 10.52050/9788579177149-04

RESUMO

Diante da demanda de melhores técnicas de reconhecimento de gestos em próteses mioelétricas, este estudo visa desenvolver um algoritmo de detecção de movimento e examinar sua precisão. O trabalho tem também como objetivo comparar o uso da técnica do Operador de Energia de Teager-Kaiser (TKEO) para o tratamento dos sinais, utilizando do índice de Jaccard para avaliar a similaridade com o gesto realizado após a aplicação de técnicas fundamentadas na literatura. Como resultado foi obtido uma precisão de 66% sem o TKEO e 80% com o TKEO, indicando que o algoritmo poderia ser usado em próteses mioelétricas.

Palavras-chave: Eletromiografia de superfície, Tecnologia assistiva para membros superiores, Processamento de sinais, Operador de Energia de Teager-Kaiser

ABSTRACT

Given the demand for better gesture recognition techniques in myoelectric prostheses, this study aims to develop a motion detection algorithm and examine its accuracy. The work also aims to compare the use of the Teager-Kaiser Energy Operator (TKEO) technique for signal processing, using the Jaccard index to evaluate the similarity with the gesture made after applying techniques based on the literature. The result was an accuracy of 66% without TKEO and 80% with TKEO, indicating that the algorithm could be used in myoelectric prostheses.

***Keywords*:** *Surface electromyography, Assistive technologies for upper limbs, Signal processing, Teager-Kaiser Energy Operator*

1. INTRODUÇÃO

Eletromiografia de superfície (sEMG) é amplamente usada em próteses mioelétricas comerciais como uma maneira não invasiva de extrair biossinais elétricos para reconhecimento de movimentos (YU et al., 2023, p. 1-18). As próteses mioelétricas disponíveis possuem diversas funcionalidades, como a de abrir e fechar os dedos (JIRALERSPONG et al., 2023, p. 1163) e a atuação de gestos específicos realizados por sinais em pares para a ativação e desativação dos atuadores, que causam um controle pouco intuitivo para pessoas com amputação no membro superior (PAN et al., 2018, p. 1435-1442). Um dos problemas com as próteses mioelétricas é a limitação a um grupo de músculos usado para detectar alguns movimentos básicos, criando uma situação insatisfatória para pessoas que precisam desta tecnologia assistiva, operando de maneira muito distante da mão humana (ROCHE et al., 2014, p. 1-11). O atual cenário de insatisfação quanto a pouca interatividade destas próteses faz com que exista uma demanda de melhores maneiras de se medir e controlar movimentos com sEMG (PASQUINA et al., 2015, p. 85-93).

Um método bem estudado e promissor é o de identificação de padrões de gestos (VIDODIC et al., 2016, p. 961-970) e intenção de movimento por atividade elétrica muscular, tanto estática quanto com músculos em contração (OSKOEI; HU, 2007, p. 275-294), que são comuns em pesquisas, mas possuem dificuldades para serem implementadas em próteses comerciais devido ao extensivo treinamento e diferença nos sinais elétricos das pessoas (RAHIMIAN et al., 2021, p. 1004-1015). O desempenho dos sensores também é dependente do local em que os eletrodos são conectados e que são menos sensíveis em casos de amputação (STAPORNCHAISIT et al., 2019, p. 1-12). Um problema específico em amputações em membros superiores é de reproduzir os movimentos dos dedos, que não tem músculos de ativação na região sensorial ou apenas em músculos profundos, dificultando a captura do sinal (AL-TIMEMY et al., 2013, p. 608-618).

Quanto ao processamento dos sinais, existem diferentes técnicas já fundamentadas para análises nos domínios do tempo e frequência, desde o reconhecimento de padrões entre gestos, quanto a computação de características do EMG com vetores multidimensionais (LI et al., 2021, p. 1-20). Existe também a implementação de métodos sofisticados de controle com feedback de sinais, onde a força ou velocidade exercida pelo usuário é transferida para os atuadores com maior precisão quanto ao movimento humano (WU et al., 2015, p. 1-15). Dentre os métodos disponíveis, foi considerado o Operador de Energia de

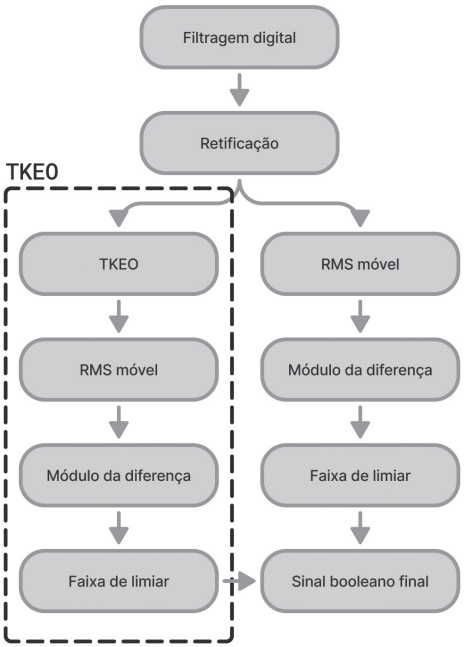
Teager-Kaiser (TKEO) como caso de estudo quanto ao aumento do desempenho com baixo custo computacional (WANG et al., 2025, p. 1565987).

O objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento de um algoritmo para detectar a realização de movimento através do sinal sEMG, levando em consideração os métodos comumente empregados na literatura e comparar a eficiência do Operador de Energia de Teager-Kaiser no uso do algoritmo, identificando se poderia ser utilizado para reabilitação em pacientes com amputações no membro superior.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para simular os sinais de movimento foi necessário usar um banco de dados coletados por sensores sEMG. O banco de dados escolhido foi o Ninapro DB, devido a abordagem para coleta dos sinais, que se assemelha com condições reais (Rahimian et al., 2021, p. 1004-1005), além da grande quantidade de dados, amostras e gestos realizados (Milosevic et al., 2017, p. 1432-1437). O banco de dados Ninapro disponibiliza diversos sinais, como o sinal EMG bruto, o estímulo, reestímulo e movimento realizado pelo usuário. Dentre os datasets disponibilizados, foi escolhido o DB2, caracterizado por conter 12 sensores mioelétricos, 8 destes na região do antebraço, e os outros 4 no braço (Atzori et al., 2014, p. 1-13). O banco de dados DB2 armazena sinais para 17 movimentos distintos realizados por 40 amostras de ambos os sexos com os membros superiores intactos e com idade entre 23 e 45 anos. Diversas etapas para processamento dos sinais foram realizadas pelos pesquisadores ao construir o banco de dados, sendo descritos detalhadamente (Atzori et al., 2014, p. 1-13). Para a coleta do EMG, foram usados sensores Delsys com uma frequência de medição de 2 kHz e com um circuito rejeita-faixa para 50 Hz a fim de remover interferência elétrica da rede. Dentre os 17 gestos da DB2, foram utilizados os movimentos 13 e 14, referentes à flexão e extensão do pulso, respectivamente, já que estes gestos representam movimentos contrários e possuem alta atividade muscular na região do antebraço, onde os sensores estão majoritariamente alocados.

Figura 01 - Fluxograma geral do funcionamento do algoritmo.



A figura 1 mostra as etapas do algoritmo desenvolvido no MATLAB, onde cada amostra terá 4 resultados, sendo estes a flexão do pulso com e sem a aplicação do TKEO e a extensão do pulso com e sem a aplicação do TKEO. As etapas são detalhadas a seguir.

2.1. FILTRAGEM DIGITAL

O propósito de adicionar um filtro, seja ele analógico ou digital, é isolar a faixa de frequência que contém os sinais desejados, eliminando o resto da frequência ruidosa e melhorando a qualidade do sinal. O próprio tecido muscular possui características de um filtro dependendo da distância entre o músculo ativo e o eletrodo (XU; XIAO, 2000, p. 275-281). As configurações utilizadas foram de um filtro passa-baixa com frequência de corte de 500 Hz e filtro de tipo Butterworth que é caracterizado por uma resposta mais estável (XIAO et al., 2023, p. 542-546). A equação do filtro Butterworth é dada por (PERTENCE, 2015, p. 141-157):

$$|H(j\omega)| = \frac{K_{PB}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_C}\right)^{2n}}}$$

A ordem do filtro foi determinada segundo a condição (XIAO et al., 2023, p. 542-546) abaixo, concluindo que a ordem mínima aceitável é de fator 5:

$$N \geq \frac{log(\frac{\sqrt{10^{0,1As}-1}}{\sqrt{10^{0,1Ap}-1}})}{log(\omega_s/\omega_c)}$$

2.2. RETIFICAÇÃO

A retificação do sinal visa eliminar as amplitudes negativas do EMG e a sua influência na otimização de sinais já é conhecida por outros estudos que apontam que a retificação reduz o erro no sinal (WANG et al., 2022, p. 075001). A retificação ocorre eliminando as amplitudes negativas, as alterando para 0, enquanto mantém o valor do EMG para as amplitudes positivas intactas.

2.3. OPERADOR DE ENERGIA DE TEAGER-KAISER

A lógica desenvolvida por Teager e Kaiser foi inspirada nas propriedades mecânicas de um sistema massa-mola, onde as frequências e amplitudes da onda mecânica podem ser obtidas pelas leis de Newton. O operador de energia usa de uma equação análoga a tais propriedades mecânicas para transformar o sinal elétrico considerando tanto a frequência quanto a amplitude, intensificando assim a energia do sinal (KAISER, 1990, p. 381-384).

O operador possui duas características importantes na aplicação, primeiro é o uso adequado para sinais biológicos devido a tolerância a um cruzamento por zero já que não possui divisão na equação. A outra característica é a necessidade de remover o ruído antes da aplicação do operador, visto que o ruído causará um resultado errôneo após a transformação do sinal (KAISER, 1990, p. 381-384). A equação de Teager-Kaiser é dada por:

$$E_n = x_n^2 - x_{n+1}x_{n-1}$$

Esta técnica é usada para sinais discretos não lineares para calcular a energia instantânea do sinal (WANG et al., 2022, p. 075001), reajustando a amplitude final para concentrar os picos de energia.

2.4. RMS

O objetivo ao transformar o sinal usando RMS (Root Mean Square) móvel é para simplificar o sinal mantendo a variação da amplitude (KAMEN; GABRIEL, 2010, p. 105-154). O RMS móvel realiza o cálculo do RMS em um intervalo. O sinal

que será aplicado o RMS pode ser o EMG após a retificação ou o sinal pós TKEO, dependendo de se a técnica de Teager-Kaiser está sendo avaliada.

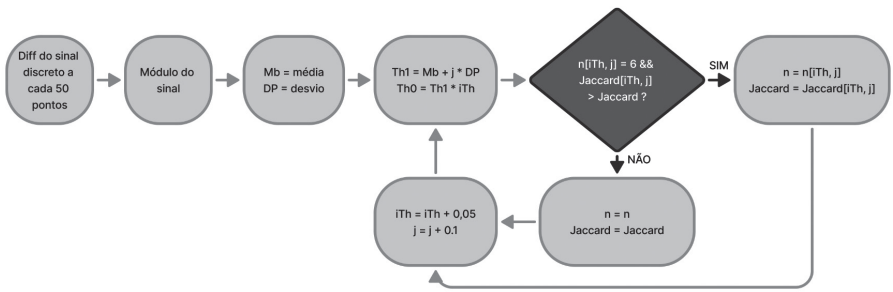
$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} EMG^2(t_i)}$$

Durante o processo de transformação do sinal discreto, o EMG é elevado ao quadrado e em sequência é feita a raiz nesse intervalo, modificando as amplitudes negativas (AROZI et al., 2020, p. 36-40). A variável T é o intervalo escolhido, neste caso de 100 ms, sensibilidade determinada para o experimento. O intervalo de 100 ms foi obtido empiricamente a partir de testes preliminares, notando que simplifica o sinal EMG suficientemente, mantendo a forma original da amplitude.

2.5. LIMIARIZAÇÃO

O algoritmo de limiarização é a lógica usada para transformar o sinal final em um sinal binário igual a 0 ou 1, indicando a intenção de movimento do usuário. A determinação da amplitude de ativação e desativação do movimento é adaptada pelo algoritmo tendo como critérios a quantidade de vezes que o movimento é realizado e quão próximo está do reestímulo original, obtido através de uma análise com o Índice de Jaccard.

Figura 02 - Lógica para determinação de limites do limiar.



Após o processamento inicial dos dados finalizado com o RMS, é feito o módulo da diferença dos pontos discretos a cada 50 pontos, com o intuito de reduzir o custo computacional sem interferir com o sinal final. Este sinal final será utilizado para determinar uma linha de base que é uma linha onde o sinal se encontra em repouso e pode ser adaptada de (SOLNIK et al., 2010, p. 289-298).

$$Th1 = Mb + j * DP$$

São encontrados dois valores para determinar uma faixa de histerese para o limiar, Th1 é o ponto superior onde caso o sinal EMG for superior, retornará o sinal booleano 1, enquanto Th0 é o ponto inferior, e caso o EMG for inferior a este valor, retornará o sinal booleano 0. A média da linha de base (Mb) é a média simples do módulo do sinal diferencial e DP é o seu desvio padrão. iTh é a razão de Th0 para Th1. Tanto j quanto iTh são encontrados através de um loop que determina os melhores resultados. O coeficiente iTh varia entre 0,3 e 1.

$$Th0 = Th1 * iTh$$

Durante o loop, dois fatores são levados em consideração para a escolha de j e iTh, o número de subidas para 1, que deve ser maior ou igual a 6. E em segundo é o índice de Jaccard entre o sinal de reestímulo e o sinal final do algoritmo, que deve se aproximar de 1 indicando total convergência dos sinais e a correta determinação dos movimentos.

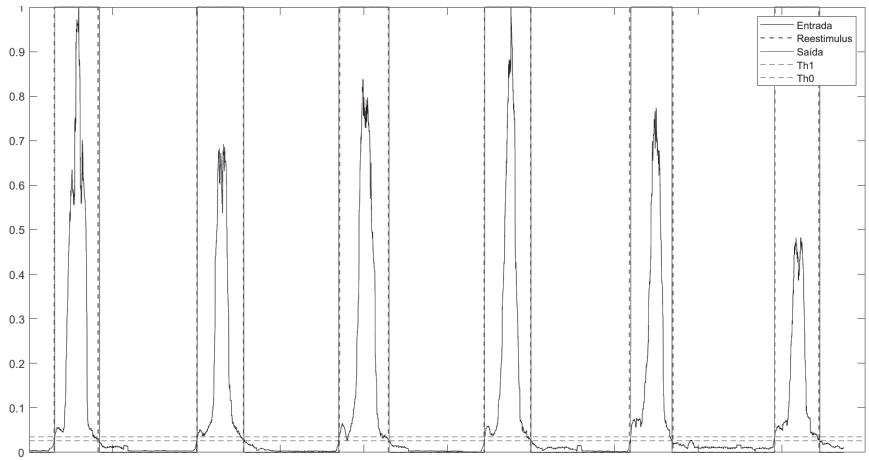
$$J(A,B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$$

O índice de Jaccard é uma métrica de similaridade entre dois sinais, calculados pela interseção e união dos sinais. O valor ótimo de iTh é 6, já que é o número de vezes que os gestos são realizados pelos usuários.

3. RESULTADOS

O resultado esperado para as amostras é ilustrado na figura 03 e foi realizado pela amostra 33 com o movimento de extensão do pulso com o Operador de Energia de Teager-Kaiser, sendo o melhor resultado obtido, com similaridade de 97,2% e 6 detecções de movimento. É possível notar a comparação entre a entrada do sinal após o RMS com a saída booleana, que acompanha quase que identicamente o reestímulo. Também são mostrados os dois pontos de limiar, Th1 acima e Th0 abaixo.

Figura 03 - Exemplo de resultado do algoritmo com amostra número 33.



O resultado final comparando extensão e flexão do pulso com e sem TKEO é disponibilizado a seguir, apresentando o Jaccard médio e o erro padrão para cada caso.

Figura 04 - Resultado final para as 40 amostras.

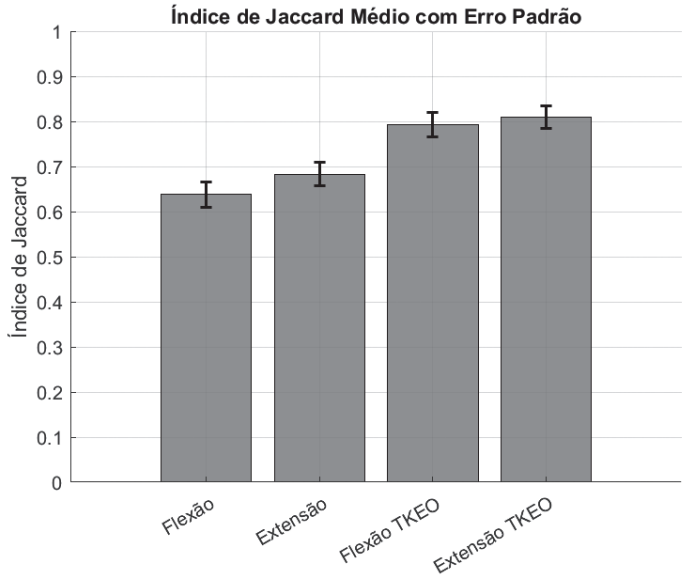


Tabela 01 - Resultado final detalhado.

Caso	Jaccard Médio	Erro Padrão
Flexão sem TKEO	63,8%	2,79%
Extensão sem TKEO	68,3%	2,58%
Flexão com TKEO	79,2%	2,69%
Extensão com TKEO	81,0%	2,56%

Além da similaridade com o reestímulo, outra métrica mensurada foi a quantidade de vezes em que o sinal de saída detectou o movimento, sendo o ideal 6 vezes. Das 160 vezes, 147 (91,9%) o sinal foi ativado exatamente 6 vezes, as outras 13 foi detectado um número errôneo de ativação do movimento.

4. DISCUSSÃO

Comparando os resultados com e sem a aplicação do Operador de Energia de Teager-Kaiser para os movimentos de flexão e extensão do pulso, foi obtido melhor similaridade com o movimento esperado com a adição do TKEO, sendo a média de flexão e extensão neste caso de 80,1%, em comparação a 66% de similaridade sem o operador de energia. É importante notar que a consistência do usuário ao realizar o movimento interfere com o resultado, visto que os valores do limiar se apresentam em uma faixa ideal para o movimento em questão.

O trabalho não tem como propósito aplicar a técnica em tempo real durante medições de biossinais com sEMG, principalmente pois a determinação dos pontos do limiar depende de uma leitura completa do sinal após 6 gestos, então essa é uma limitação técnica que deve ser considerada para trabalhos futuros, precisando modificar o algoritmo para operar em tempo real. Uma possível solução seria de obter os valores de Th0 e Th1 a partir de uma calibração inicial, monitorando o desempenho do algoritmo do limiar desconsiderando iTh até 6. Além disso, é importante notar que os resultados são referentes aos movimentos de flexão e extensão do pulso, que tem uma região muscular ativa próximo aos sensores, e o desempenho para outros grupos musculares não foi avaliado neste experimento.

5. CONCLUSÕES

O algoritmo de limiarização que emprega várias etapas de tratamento de sinais e a escolha dinâmica dos valores do limiar apresentou resultados satisfatórios, principalmente com o uso do TKEO, com um valor consistente de similaridade na flexão e extensão, de cerca de 80% de similaridade, podendo concluir que o objetivo de desenvolver o algoritmo foi alcançado.

Este modelo para reconhecimento de movimento tem suas limitações práticas, como a dificuldade de ser usado em tempo real ou em um grande período de amostragem, além de reconhecer apenas um gesto por vez. Ainda assim apresenta uma contribuição para a detecção de movimentos pré estabelecidos em próteses mioelétricas.

Para trabalhos futuros é importante verificar se o resultado se mantém para usuários com amputação, visto que as amostras deste experimento têm os membros superiores intactos. Além disso, dada a melhor precisão com o TKEO, seria viável testar esta técnica para algoritmos similares em tempo real a fim de determinar com mais exatidão os gestos realizados e com outros gestos diferentes da flexão e extensão do pulso.

REFERÊNCIAS

AL-TIMEMY, A. H., BUGMANN, G., ESCUDERO, J., OUTRAM, N. Classification of finger movements for the dexterous hand prosthesis control with surface electromyography. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, v.17, p.608–618. 2013.

AROZI, M., ARIYANTO, M., KRISTIANTO, A., MUNADI, SETIAWAN, J. D. EMG signal processing of MYO armband sensor for prosthetic hand input using RMS and ANFIS. p. 36-40. 2020.

ATZORI M., GIJSBERTS A., CASTELLINI, C., CAPUTO B., HAGGER, A. G. M., ELSIG, S., GIATSIDIS, G., BASSETTO, F., MÜLLER, H. Electromyography data for non-invasive naturally-controlled robotic hand prostheses. *Scientific Data,* v.1, p. 1-13. 2014.

JIRALERSPONG, T., NAKANISHI, E., LIU, C., ISHIKAWA, J. Experimental study of real-time classification of 17 voluntary movements for multi-degree myoelectric prosthetic hand. *Applied Sciences (Switzerland)*, v.7, p. 1163. 2017.

KAISER, J. F. On a simple algorithm to calculate the 'energy' of a signal. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, p.381–384, Albuquerque, NM, 1990.

KAMEN, G., GABRIEL, D. A. *Essentials of Electromyography.* Champaign: Human Kinetics, 2010.

LI, W., SHI, P., YU, H. Gesture recognition using surface electromyography and deep learning for prostheses hand: State-of-the-art, challenges, and future. *Frontiers in Neurorobotics,* v.15, p. 1-20. 2021.

MILOSEVIC, B., BENATTI, S., FARELLA, E., Design Challenges for Wearable EMG Applications. *Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE),* p. 1432-1437. 2017.

OSKOEI, M. A., HU, H. Myoelectric control systems-a survey. *Biomedical Signal Processing and Control*, v.2, n.4, p.275–294. 2007.

PAN, L., CROUCH, D. L., HUANG, H. Myoelectric control based on a generic musculoskeletal model: Toward a multi-user neural-machine interface. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, v.26, p.1435–1442. 2018.

PASQUINA, P. F., EVANGELISTA, M., CARVALHO, A. J., LOCKHART, J., GRIFFIN, S., NANOS, G., MCKAY, P., HANSEN, M., IPSEN, D., VANDERSEA, J., BUTKUS, J., MILLER, M., MURPHY, I., HANKIN, D. First-in-man demonstration of a fully implanted myoelectric sensors system to control an advanced electromechanical prosthetic hand. *Journal of Neuroscience Methods,* v.244, p.85–93. 2015.

PERTENCE, A. Jr. *Amplificadores operacionais e filtros ativos: eletrônica analógica*. Porto Alegre: Bookman, 2015.

RAHIMIAN, E., ZABIHI, S., ASIF, A. FARINA, D., ATASHZAR, S. F.MOHAMMADI, A. FS-HGR: Few--Shot Learning for Hand Gesture Recognition via Electromyography. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering,* v. 29, p. 1004-1005. 2021.

ROCHE, A. D., REHBAUM, H., FARINA, D., ASZMANN, O. C. Prosthetic myoelectric control strategies: A clinical perspective. *Current Surgery Reports,* v.2, p. 1-11. 2014.

SOLNIK, S., RIDER, P., STEINWEG, K., DEVITA, P., HORTOBÁGYI, T. Teager-Kaiser energy operator signal conditioning improves EMG onset detection. *European Journal of Applied Physiology,* v. 110, p. 489-498. 2010.

STAPORNCHAISIT, S., KIM, Y., TAKAGI, A., YOSHIMURA, N., KOIKE, Y. Finger angle estimation from array EMG system using linear regression model with independent component analysis. *Frontiers in Neurorobotics*, v.13, p. 1-12. 2019.

VIDOVIC, M. M. C., HWANG, H. J., AMSUSS, S., HAHNE, J. M., FARINA, D., MULLER, K. R. Improving the robustness of myoelectric pattern recognition for upper limb prostheses by covariate shift adaptation. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, v.24, p.961–970., 2016.

WANG, S., ZHU, S., SHANG, Z. Comparison of different algorithms based on TKEO for EMG change point detection. *Physiological Measurement*, v.43, p.075001. 2022.

WANG, S., ZHAO, G., LIAO, Y. Optimized strategies for developing high-speed muscle activity monitors utilizing multi-resolution energy operator. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, v.13, p. 1565987. 2025.

WU, C., SONG, A., LING, Y., WANG, N., TIAN, L. A control strategy with tactile perception feedback for EMG prosthetic hand. *Journal of Sensors*, v.2015, p. 1-15. 2015.

XIAO, Z., YE, J., SHEN, H., DENG, S., ZHU, H., XIAO, H. Analysis of digital filtering design based on surface EMG signals. In: *2023 IEEE 3rd International Conference on Electronic Communications, Internet of Things and Big Data (ICEIB 2023)*, p.542–546. 2023.

XU, Z., XIAO, S. Digital filter design for peak detection of surface EMG. *Journal of Electromyography and Kinesiology,* v.10, p.275-281. 2000.

YU, G., DENG, Z., BAO, Z., ZHANG, Y., HE, B. Gesture classification in electromyography signals for real-time prosthetic hand control using a convolutional neural network-enhanced channel attention model. *Bioengineering*, v.10, p. 1-18. 2023.

Desenvolvimento de sistema de atuação de luva robótica pneumática para fins de reabilitação de pacientes pós-AVC

Melo, Gabriel Merlini de[*1]; Itturriet, Fábio Pires[2]; Inafuco, Augusto Tetsuo Prado[3]; Machoski, Pablo[4]; Mendes Junior, José Jair Alves[1]

1 – Departamento de Eletrônica UTFPR, gabmel@alunos.utfpr.edu.br; jjjunior@utfpr.edu.br
2 – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, UTFPR, fabioitturriet@utfpr.edu.br
3 – Departamento de Eletrônica, UTFPR, inafuco@alunos.utfpr.edu.br
4 – Departamento de Eletrônica, UTFPR, pablomachoski@alunos.utfpr.edu.br
* -Correspondência: Av. Sete de Setembro, 3165 - Rebouças, Curitiba - PR, 80230-901.

DOI 10.52050/9788579177149-05

RESUMO

Recentemente, a utilização de luvas robóticas vestíveis tem se mostrado promissora no tratamento de sobreviventes de acidentes vasculares cerebrais (AVCs). Este trabalho descreve o desenvolvimento de um *hardware* de controle para uma luva robótica baseada em atuadores e músculos pneumáticos. O projeto utilizou a luva robô de reabilitação RRG-100, da fabricante Havicten, preservando sua estrutura mecânica e modificando apenas os seus aspectos eletrônicos e de programação. O circuito desenvolvido permite o controle individual ou simultâneo de dedos, possibilitando o fechamento da mão do usuário. Assim, este projeto oferece uma abordagem inovadora que amplia as possibilidades de tratamento na reabilitação pós-AVC.

Palavras-chave: Luva robótica, pneumático, AVC.

ABSTRACT

Recently, the use of wearable robotic gloves has shown promise in the treatment of survivors of stroke (AVC). This work describes the development of a control hardware for a robotic glove based on actuators and pneumatic muscles. The project utilized the RRG-100 rehabilitation robotic glove from the manufacturer Havicten, preserving its mechanical structure while only modifying its electronic and programming aspects. The developed circuit allows for individual or simultaneous control of the fingers, enabling the closure of the user's hand. Thus,

this project offers an innovative approach that expands the treatment possibilities in post-stroke rehabilitation.
Keywords: *Robotic glove, pneumatic, stroke.*

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a incidência de doenças cardiovasculares acomete uma parcela significativa da população, podendo-se citar entre eles, o Acidente Vascular Cerebral (AVC). Em 2013, cerca de 2231 brasileiros haviam sofrido AVC, sendo que 568 desses possuíam deficiências severas associadas à doença (BENSENOR et al., 2015). A forte relação entre doenças cardiovasculares e deficiências motoras também é percebida no restante do globo. Em 2022, os AVCs foram a terceira maior causa de morte e deficiência combinadas (FEIGIN et al., 2022).

Nesse contexto, o tratamento de quadros clínicos pós-AVC, bem como o desenvolvimento de dispositivos para reabilitação, ganha relevância. Usualmente, esse primeiro processo se dá por meio de sessões terapêuticas voltadas a exercícios repetitivos e a tarefas específicas, demonstrando resultados positivos (FARDIPOUR; HADADI, 2022). Para aprimorar o desempenho da terapia, tem-se aplicado o uso de dispositivos robóticos acessórios, fator que revelou vantagens significativas em relação à abordagem convencional (FARDIPOUR; HADADI, 2022). Dentre esses equipamentos, uma categoria que vem ganhando espaço é a de luvas robóticas vestíveis (KO et al., 2023).

Existem atualmente diversos modelos de luvas robóticas vestíveis disponíveis no mercado. Dentre eles, há variações nas formas de geração de movimento, transmissão de força e controle. As luvas PneuGlove e XGlove, por exemplo, possuem, respectivamente, atuação pneumática e por servomotores (FARDIPOUR; HADADI, 2022). Já a CyberGlove III tem sua resposta baseada em sensores resistivos, enquanto a KeyGlove, em acelerômetros (CAEIRO-RODRÍGUES et al., 2021). Em uma perspectiva geral no contexto de reabilitação, os motores apresentam-se como método gerador mais recorrente, sendo seguidos pelos atuadores pneumáticos (LIU et al., 2022). Já com relação aos meios de propagação, a frequência mais percebida segue a ordem decrescente de mecanismos de barras, tendões artificiais e músculos pneumáticos (LIU et al., 2022). Por fim, os métodos de controle mais aplicados se dão na ordem decrescente de programação pré-definida, resposta à aplicação de força e sinais de eletromiografia (LIU et al., 2022).

As vantagens associadas aos diferentes constituintes dos dispositivos variam e possuem aplicações em cenários distintos. No entanto, fazendo-se uma análise geral, as luvas baseadas em atuadores pneumáticos revelam maior número de benefícios quando comparadas às outras (LIU et al., 2022). Alguns desses fatores

estão associados à facilidade de produção e de uso desses equipamentos, promovendo maior acessibilidade ao público em geral.

Dessa forma, a relevância nacional do tratamento de quadros clínicos pós-AVC e a aplicação de luvas robóticas vestíveis no processo de reabilitação motivaram o desenvolvimento de um *hardware* de controle de uma luva baseada em atuadores e músculos pneumáticos. A escolha por métodos de geração e de propagação de força por meio de ar comprimido se deu com base nas vantagens oferecidas, que promovem a facilidade de seu desenvolvimento em ambiente acadêmico.

Nesse cenário, este projeto visa desenvolver o *hardware* de controle para uma luva robótica pneumática. O equipamento utilizado para o trabalho é a luva robô de reabilitação modelo RRG-100 da fabricante Havicten (HAVICTEN, 2023). A sua parte mecânica foi conservada, tendo sido alterados apenas os aspectos eletrônicos e de programação. Desse modo, foi elaborado um circuito capaz de controlar os movimentos da luva, com os dedos atuando independentemente ou em conjunto.

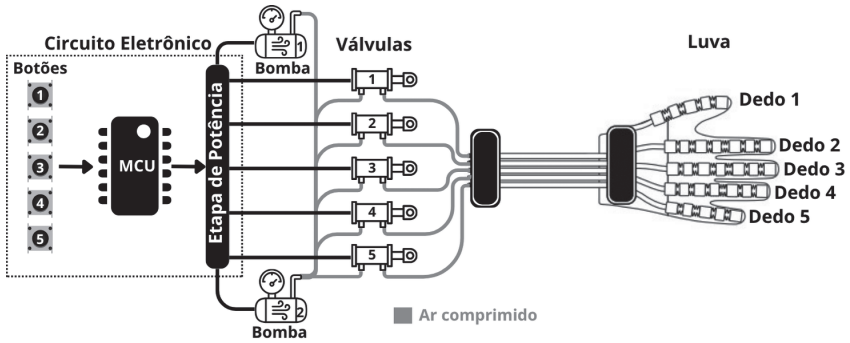
Uma das contribuições deste trabalho é a apresentação de uma proposta de hardware de funcionamento para essas luvas robóticas, as quais são enquadradas na categoria de órteses. Com elas, o usuário não precisa ficar atrelado a apenas um sistema de controle (que é fornecido pelo fabricante do dispositivo), possibilitando a criação de rotinas mais robustas e diferenciadas para o processo de reabilitação e permitindo a manutenção do equipamento, fator esse ausente na maior parte dos dispositivos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O circuito desenvolvido teve como critérios iniciais: a necessidade de fornecer 12 V aos atuadores pneumáticos e às válvulas pneumáticas, bem como 5 V para a alimentação do microcontrolador (em inglês, *microcontroller unit* (MCU)) utilizado; de permitir o movimento isolado de cada dedo, bem como o movimento conjunto de dois ou mais dedos e de possibilitar o controle da intensidade da força impressa pela luva.

Para tanto, desenvolveu-se um circuito, apresentado na Figura 1, que, ao ser conectado na fonte de alimentação, iniciaria a atuação das bombas. Essas estão conectadas às válvulas pneumáticas, que permitem ou não a passagem de ar para a luva em função do acionamento dos botões. Cada botão, os quais são da categoria *push buttons*, é responsável por controlar uma válvula, ao passo que cada válvula regula a passagem de ar para um dedo da mão, permitindo a operação individual desses.

Figura 1 - Diagrama ilustrativo da composição geral do sistema. À esquerda, está presente o circuito eletrônico que promove o controle da operação da luva e seus elementos. Ao centro, os componentes pneumáticos relacionados à impressão de força e consequente movimentação dos dedos. À direita, a luva pneumática.



Fonte: autoria própria.

Além disso, utilizou-se um circuito de disparo com base nos transistores TIP122. Essa configuração se dá a partir do acionamento do pino base do transistor por um sinal recebido pelo MCU, que regula a conexão entre a entrada de 12 V no coletor e a saída do emissor no plano de terra (do inglês, *ground* (GND)).

A entrada recebida do MCU é no formato de saída binária para as válvulas ou de modulação por largura de pulso (do inglês, *pulse width modulation* (PWM)) de 10 Hz de frequência para as bombas. Esse último processo consiste em modular o comprimento de onda de um sinal, usualmente contínuo e de formato quadrado, a fim de alterar o valor médio equivalente. Dessa forma, é possível gerar, a partir de um sinal com valor máximo de 12 V, valores médios de 0 a 12 V em função da definição do ciclo de trabalho (do inglês, *duty cycle*).

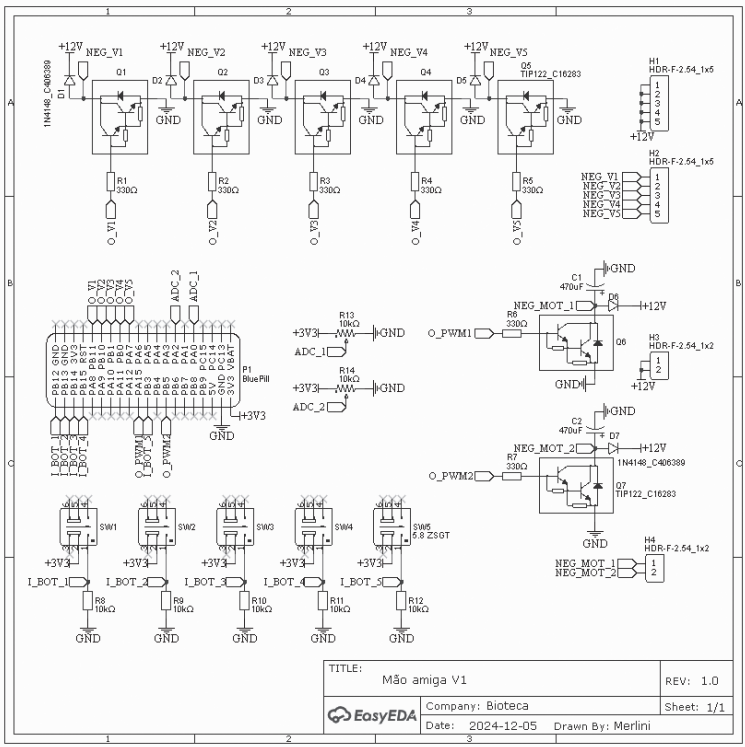
Esse controle variável na base do transistor é refletido em uma permissibilidade alterável entre os pinos coletor e emissor, provendo uma variação na força impressa pela luva. O *duty cycle* do PWM é coordenado pela leitura do sinal analógico associado à tensão incidente sobre potenciômetros, a qual variava conforme era alterada a sua resistência. Para possibilitar o seu uso no *duty cycle*, o sinal foi convertido em digital a partir do uso de conversores analógicos digitais (do inglês, *analog digital converters* (ADC)).

Para o controle das válvulas, realizou-se uma estrutura condicional a partir da recepção ou não de sinal de tensão em pinos específicos do MCU, que estava associada à emissão de saídas em outros pinos determinados. Essas saídas serviam como estímulo para a saturação dos transistores, que permitiam a chegada da tensão e da corrente adequadas ao funcionamento das válvulas.

Dessa forma, com base na necessidade de utilizar dois ADCs; produzir dois PWMs e realizar saídas diversas a partir de uma unidade controladora central, foi selecionado o microcontrolador STM32F103C8, o qual é programado em linguagem de programação C no ambiente de desenvolvimento STM32CubeIDE. A plataforma apresenta robustez nas possibilidades no sistema de uso e uma disposição intuitiva das configurações, simplificando a definição das funções e a programação dos MCUs da família STM32. Ainda, a fim de favorecer o desenvolvimento do projeto, foi utilizada a placa *bluepill*, que já possui o MCU acoplado e seus pinos conectáveis disponíveis nas laterais da placa.

Finalmente, após a realização de testes iniciais no circuito, percebeu-se que o sinal se comportava de forma muito fatiada, reduzindo o desempenho da luva. Portanto, foram realizados ajustes na tensão incidente sobre os atuadores pneumáticos utilizando-se capacitores de 470 μF. Em seguida, foi desenvolvido o circuito do projeto, conforme apresentado na Figura 2, aprimorando o posicionamento dos componentes na plataforma EasyEDA.

Figura 2 - Esquemático do circuito no EasyEDA.



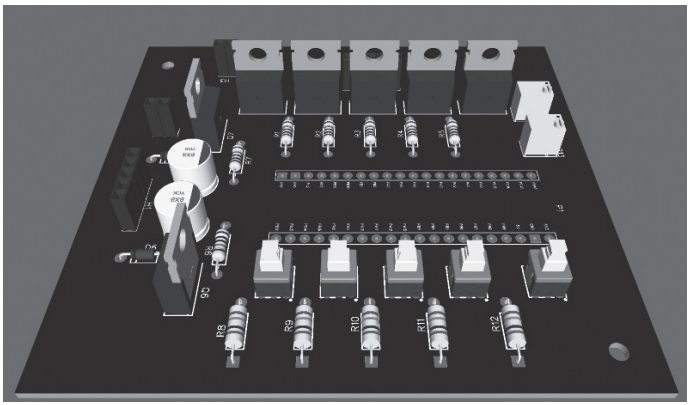
Fonte: autoria própria.

Para a garantia de que a corrente de base nos transistores não atingisse um valor muito elevado, foram utilizados resistores de 330 Ω. Já para assegurar a eficiência dos botões de controle dos dedos, aplicou-se resistores de 10 kΩ entre o componente e o GND. Além disso, utilizou-se diodos 1N4148 em paralelo às válvulas, atuando como diodos de roda livre a fim de evitar uma corrente de retorno em situações de desativação, a qual poderia resultar em danos no circuito.

Os transistores escolhidos foram do modelo TIP122 em razão da sua configuração interna *darlington* e da consequente capacidade de grande amplificação. Para os potenciômetros, por sua vez, determinou-se uma resistência de 10 kΩ em virtude do maior intervalo para variação de tensão. Os botões, por fim, não exigiram um modelo específico, desde que fossem da categoria *pushbuttons*, visando conservar o modo desejado para a luva sem requerer pressão contínua do usuário no dispositivo.

A partir do esquemático, foi desenvolvida a placa de circuito impresso (do inglês, *printed circuit board* (PCB)) na plataforma EasyEDA, definindo as regiões destinadas para cada grupo do circuito e permitindo uma visualização prévia de como seria o formato da placa real, conforme apresentado na Figura 3. A PCB caracterizou-se por possuir dimensões 96,34 x 85,34 mm; concentrar os botões de controle das válvulas na porção inferior, a fim de favorecer a ativação ou desativação; manter agrupados na porção lateral esquerda os componentes associados à operação das bombas; reunir os sistemas de disparo das válvulas na porção superior e os potenciômetros na porção lateral direita. A *bluepill* ficou posicionada no centro da placa, de forma a facilitar a criação das trilhas de conexão. Vale ressaltar que os potenciômetros foram substituídos por potenciômetros em miniatura ajustáveis (do inglês, *trimpots*) nessa etapa em virtude de promoverem a redução das dimensões utilizadas.

Figura 3 - Visualização 3D no EasyEDA da PCB do projeto.



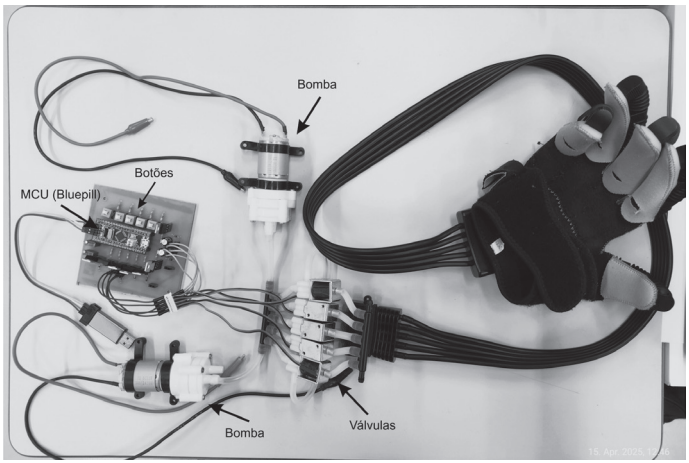
Fonte: autoria própria.

A PCB foi produzida em um dos laboratórios da UTFPR e testada em conexão com a luva para checar o seu desempenho.

3. RESULTADOS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um circuito para controle de uma luva robótica pneumática utilizada no tratamento pós-AVC de pessoas que sofreram perda ou redução de mobilidade. A Figura 4 revela a PCB conectada à luva para a dinâmica de funcionamento.

Figura 4 - Foto da PCB conectada à luva para a dinâmica de funcionamento.



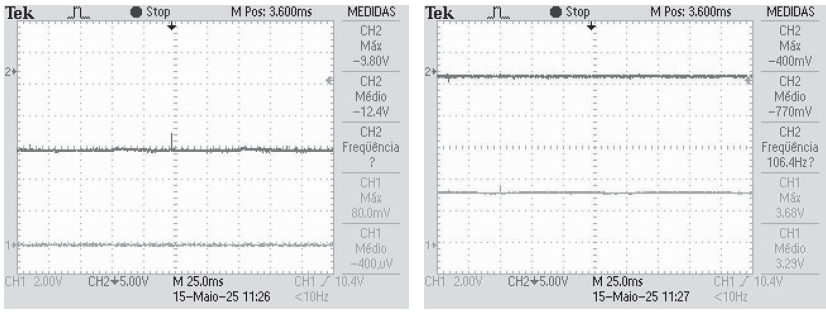
Fonte: autoria própria.

O circuito promoveu a aplicação de força por meio de pressão pneumática para o movimento de fechamento da mão quando acionados os botões e removendo o estímulo ao se desativar os botões. Cada dedo teve controle isolado, podendo atuar de forma independente dos outros.

A Figura 5 apresenta a relação entre as tensões no botão e na válvula associada a ele. Vale ressaltar que, em virtude do polo negativo do motor estar conectado ao coletor do transistor ao invés de ao GND, não foi possível fazer a aferição da tensão direta na válvula. Dessa forma, visando utilizar o GND como parâmetro comum para ambas as medições, foi conectado o polo negativo dos canais ao GND, o polo positivo do canal um ao botão e o polo positivo do canal dois ao coletor do transistor associado à válvula em questão. Com isso, mediu-se as tensões sobre o botão e sobre o transistor, de modo que o valor apresentado no canal dois equivale à diferença entre a alimentação (12 V) e o consumo da válvula.

Assim, percebe-se que, na primeira imagem, a tensão está toda concentrada no transistor, enquanto que, após a ativação do botão, a tensão no TIP122 vai à aproximadamente zero, revelando que o valor restante da diferença em relação aos 12 V está sobre a válvula.

Figura 5 - Medidas do osciloscópio a fim de revelar a relação entre a ativação dos botões e das válvulas. Em ambas as medições o botão foi conectado ao canal um e o transistor associado à válvula, ao canal dois. À esquerda é apresentada a situação em que o botão está desativado. À direita, a situação em que o botão está ativado.

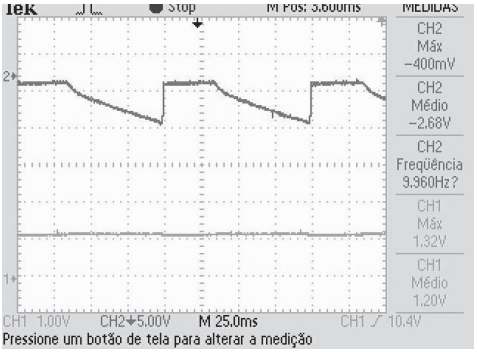


Fonte: autoria própria.

Além disso, a intensidade de força impressa pode ser regulada pelo PWM a partir da variação da resistência nos *trimpots*. A relação entre a tensão no *trimpot* e o *duty cycle* do PWM é evidenciada na Figura 6. Houve, para possibilitar a medição simultânea, a mesma adaptação realizada nas aferições dos botões, com a diferença de que o polo positivo do canal um foi conectado ao pino intermediário do *trimpot* e o positivo do canal dois, ao transistor associado à bomba pneumática em questão. Desse modo, a tensão apresentada no canal dois revela a diferença

entre a alimentação (12 V) e a tensão incidente no atuador pneumático, de forma que foi possível demonstrar a tensão sobre a bomba ao se inverter a forma de onda obtida. A curva exponencial presente entre os ciclos é decorrente da atuação do capacitor.

Figura 6 - Medidas do osciloscópio a fim de revelar a relação entre a tensão incidente sobre o *trimpot* e o *duty cycle* do PWM. O *trimpot* foi conectado ao canal um e o transistor associado à bomba, o canal dois.



Fonte: autoria própria.

Por fim, gravou-se um breve vídeo[1] exemplificando o funcionamento quando conectado à alimentação e à luva pneumática.

4. DISCUSSÃO

O circuito apresentou o funcionamento esperado, promovendo o fechamento da luva e possibilitando o seu uso para a reabilitação de pessoas que perderam ou tiveram redução da mobilidade das mãos em decorrência de AVC.

No entanto, há restrições na estrutura eletrônica que dificultam a acessibilidade do projeto ao público em geral. A necessidade de utilizar duas fontes distintas de 12 e de 3,3 V, bem como de realizar muitas voltas nos *trimpots* para obter uma variação relevante na força impressa pela luva torna disfuncional o uso do equipamento em ambientes que não possuam estrutura específica.

Em relação aos produtos existentes na área, este estudo desenvolveu um circuito que permite uma forma de geração de força e de transmissão de movimento comumente utilizada, tal qual na luva PneuGlove (FARDIPOUR; HADADI, 2022), com a diferença de que o controle é realizado a partir do uso de PWM definido pela tensão dos *trimpots*, algo não encontrado nos estudos vigentes.

Além disso, um diferencial do projeto associa-se à apresentação detalhada do esquemático eletrônico utilizado para o funcionamento da luva, algo que não é encontrado nos estudos vigentes. Esses enfatizam a aplicabilidade das luvas, tais quais as pesquisas desenvolvidas por CHENG, N. et al. 2020 e ULLAH, M. M. et al. 2019, ou seus aspectos gerais de disponibilidade e estrutura, como as revisões de CAEIRO-RODRÍGUEZ, M. et al., 2021 e LIU, Chang et al., 2022.

5. CONCLUSÕES

Considerando-se os objetivos iniciais de desenvolver o *hardware* de controle para uma luva robótica pneumática a fim de auxiliar nos tratamentos pós-AVC e os resultados de funcionamento obtidos, pode-se afirmar que o trabalho desenvolvido foi satisfatório.

A capacidade de produzir força para o fechamento da mão do usuário, seja de forma completa ou para dedos individuais, com a possibilidade de controlar a intensidade da pressão pneumática imposta via PWM, permitem o uso do dispositivo para um grande espectro de pacientes, adequando a terapia às demandas específicas e contribuindo para as possibilidades de tratamentos pós-AVC.

Entretanto, problemas como a necessidade de fontes distintas de tensão e de realização de muitas voltas nos *trimpots* para alterar os valores do PWM estão presentes no hardware desenvolvido. Ademais, percebeu-se uma ligeira limitação na tensão máxima atingida pela bomba ao ser ativada, ocorrência que pode ser associada ao processo de carga dos capacitores acoplados. Ainda, a capacidade de efetuar força apenas para o fechamento da luva limita o escopo de atuação provido pelo circuito.

Dessa forma, trabalhos futuros podem explorar a aplicação de um regulador *step down* para tornar possível o uso de apenas uma fonte de tensão; a associação da pressão imposta na luva à leitura de sensores capazes de captar variações angulares, como acelerômetros, dispensando os *trimpots*; a exclusão dos capacitores, seguida da elevação da frequência do PWM para um valor superior a 10 Hz; a possibilidade de realizar força para os movimentos de abertura e de fechamento da mão ao invés de apenas o último e o uso direto do MCU ao invés da placa *bluepill* para reduzir o espaço necessário para a placa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) que, via o laboratório de Engenharia Biomédica Bioteca, tornou possível a elaboração desse

trabalho. Agradeço a todos os integrantes do laboratório que participaram do desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

BENSENOR, Isabela M. et al. Prevalence of stroke and associated disability in Brazil: National Health Survey - 2013. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, v. 73, n. 9, p. 746–750, set. 2015. ISSN 0004-282X. DOI: 10.1590/0004-282X20150115. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-282X2015000900746&lng=en&tlng=en>. Acesso em: 26 mar. 2025.

CAEIRO-RODRÍGUEZ, M. et al. A Systematic Review of Commercial Smart Gloves: Current Status and Applications. *Sensors*, v. 21, n. 8, p. 2667, 10 abr. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/8/2667>. Acesso em: 1 nov. 2024 .

CHENG, N. et al. Brain-Computer Interface-Based Soft Robotic Glove Rehabilitation for Stroke. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, v. 67, n. 12, p. 3339–3351, dez. 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9055030>. Acesso em: 20 ago. 2024.

FARDIPOUR, Shima; HADADI, Mohammad. Investigation of therapeutic effects of wearable robotic gloves on improving hand function in stroke patients: A systematic review. *Current Journal of Neurology*, v. 21, n. 2, p. 125–132, abr. 2022. ISSN 2717-011X. DOI: 10.18502/cjn.v21i2.10496. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9860207/>. Acesso em: 20 ago. 2024.

FEIGIN, Valery L et al. World Stroke Organization (WSO): Global Stroke Fact Sheet 2022. *International Journal of Stroke*, v. 17, n. 1, p. 18–29, jan. 2022. ISSN 1747-4930, 1747-4949. DOI: 10.1177/17474930211065917. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/17474930211065917>. Acesso em: 26 mar. 2025.

HAVICTEN. Rehabilitation robot glove. 2023. Disponível em: <https://m.media-amazon.com/images/I/C1t1sYuZ1rL.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2025.

KO, Ming-Jian et al. The Application of Soft Robotic Gloves in Stroke Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Brain Sciences*, v. 13, n. 6, p. 900, jun. 2023. Number: 6 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute. ISSN 2076-3425. DOI: 10.3390/brainsci13060900. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3425/13/6/900>. Acesso em: 20 ago. 2024.

LIU, Chang et al. Current State of Robotics in Hand Rehabilitation after Stroke: A Systematic Review. *Applied Sciences*, v. 12, n. 9, p. 4540, jan. 2022. Number: 9 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute. ISSN 2076-3417. DOI: 10.3390/app12094540. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/9/4540>. Acesso em: 20 ago. 2024.

ULLAH, M. M. et al. *A Soft Robotic Glove for Assistance and Rehabilitation of Stroke Affected Patients*. 2019 International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT). *Anais*... Em: 2019 INTERNATIONAL CONFERENCE ON FRONTIERS OF INFORMATION TECHNOLOGY (FIT). dez. 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/ABSTRACT/document/8991624>. Acesso em: 20 ago. 2024.

Manufatura Aditiva na fabricação de moldes para próteses auriculares: influência dos parâmetros de processo

Barduco, Henrique Schrann*[1]; Pasko, Camila Fernanda[2]; Foggiatto, José Aguiomar[3]

1 – Universidade Positivo, UP, henriques.barduco@gmail.com
2 – Departamento de Mecânica, UTFPR, camilapasko@alunos.utfpr.edu.br
3 – Departamento de Mecânica, UTFPR, foggiatto@utfpr.edu.br
*- Correspondência: NUFER/DAMEC/UTFPR-CT - Rua Deputado Heitor de Alencar Furtado, 5000, Sala EM-101, Ecoville, Curitiba, PR, Brasil, 81.280-340

DOI 10.52050/9788579177149-06

RESUMO

A manufatura aditiva tem se destacado na produção de próteses auriculares personalizadas, exigindo aprimoramento na qualidade dos moldes. Este estudo teve como objetivo avaliar a influência da orientação da peça e da altura de camada na qualidade superficial de moldes produzidos por impressão 3D. Foram testadas diferentes combinações de parâmetros de impressão, seguidas de análise visual e dimensional. Os resultados mostraram que determinadas orientações e camadas mais finas reduzem o efeito escada e melhoram a fidelidade anatômica. Concluiu-se que o ajuste dos parâmetros de impressão contribuiu para melhorar os resultados na produção de moldes para próteses auriculares.

Palavras-chave: prótese auricular, impressão 3D, manufatura aditiva, moldes.

ABSTRACT

Additive manufacturing has stood out in the production of customized auricular prostheses, requiring improvements in mold quality. This study aimed to evaluate the influence of part orientation and layer height on the surface quality of molds produced by 3D printing. Different combinations of printing parameters were tested, followed by visual and dimensional analysis. The results showed that certain orientations and thinner layers reduce the staircase effect and improve anatomical

fidelity. It was concluded that adjusting the printing parameters contributed to improved outcomes in the production of molds for auricular prostheses.
Keywords: *auricular prosthesis, 3D printing, additive manufacturing, molds.*

1. INTRODUÇÃO

A confecção tradicional de próteses auriculares, usualmente realizada por meio de moldagens com alginato e confecção de molde de gesso, apresenta limitações relevantes tanto para os profissionais quanto para os pacientes. Trata-se de um processo invasivo, desconfortável e altamente dependente de habilidades manuais, o que pode resultar em inconsistências na simetria, precisão e fidelidade anatômica das próteses (NISHIMURA et al., 1995).

Diante dessas dificuldades, a aplicação da manufatura aditiva, associada ao design auxiliado por computador (CAD/CAM), vem se consolidando como uma alternativa promissora para a melhoria dos moldes utilizados na produção de próteses auriculares, oferecendo maior reprodutibilidade, agilidade e precisão na fabricação, especialmente com o uso de materiais como ácido polilático (PLA) e acrilonitrila butadieno estireno (ABS) (ELBASHTI et al., 2019).

As deformidades do pavilhão auricular podem ter origem congênita — como ocorre na microtia-anotia, malformação presente em aproximadamente um a cada 5.000 nascimentos — ou estar associadas a síndromes craniofaciais, como a de Treacher Collins e a atresia aural congênita. Além disso, causas adquiridas, como traumas, queimaduras, infecções crônicas e ressecções oncológicas, também figuram entre os principais fatores relacionados à perda parcial ou total da orelha externa (CIOCCA et al., 2010; MOHAMMED et al., 2016; TANVEER et al., 2023).

Nesse contexto, o uso de exames de tomografia computadorizada (TC), com imagens no formato DICOM, permite a reconstrução tridimensional da anatomia do paciente sem a necessidade de contato direto, tornando o procedimento menos invasivo e mais acessível. Programas como Mimics, 3D Slicer e InVesalius possibilitam a conversão dessas imagens em modelos digitais manipuláveis. A partir disso, é possível gerar arquivos tridimensionais no formato STL (STereoLithography), que permitem não apenas a modelagem anatômica, mas também a criação de moldes desenvolvidos por meio de operações como espelhamento e subtração booleana, utilizando aplicativos como o Meshmixer (Autodesk Inc., EUA) (LIACOURAS et al., 2011; CIOCCA et al., 2021).

Apesar dos avanços tecnológicos, a qualidade dos moldes produzidos por impressão 3D ainda depende de variáveis críticas ao longo do fluxo digital. A definição inadequada de parâmetros de fabricação como altura da camada e orientação da peça na mesa de impressão pode acentuar o efeito escada,

comprometer a fidelidade dimensional e prejudicar a adesão do silicone ao molde (JAKUPI et al., 2023).

Adicionalmente, falhas no acabamento superficial — como rugosidades, porosidades e marcas deixadas pela remoção de suportes ou pela aderência à plataforma da impressora — impactam negativamente a estética e a funcionalidade da prótese, resultando em bordas irregulares e textura tátil inadequada (TAM et al., 2014). A correção desses defeitos geralmente exige etapas adicionais, como lixamento, aplicação de primers ou uso de resinas de alisamento. Embora eficazes, essas intervenções introduzem variabilidade no processo e elevam o tempo e o custo de produção.

Diante desses desafios técnicos, este estudo tem como objetivo avaliar e aperfeiçoar os parâmetros de impressão 3D que influenciam diretamente a qualidade superficial, a fidelidade anatômica e a funcionalidade dos moldes utilizados na produção de próteses auriculares em silicone.

Este estudo concentra-se na avaliação de variáveis inerentes ao planejamento do processo de manufatura aditiva, com ênfase na altura da camada, na orientação do modelo na mesa de impressão e no uso estratégico dos suportes, adotando o PLA como material base. O objetivo principal é identificar configurações que atenuem defeitos recorrentes da impressão 3D — como o efeito escada e distorções geométricas — os quais comprometem o encaixe e a estética final das próteses faciais.

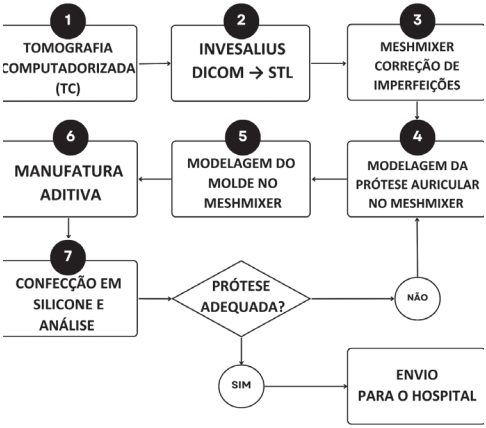
A escolha do PLA neste estudo justifica-se por sua facilidade de uso, compatibilidade e estabilidade dimensional, permitindo a reprodução precisa de detalhes anatômicos. Em contraste com materiais como o ABS — que requerem câmaras fechadas e controle ambiental — o PLA apresenta baixo ponto de fusão, mínima deformação e boa adesão entre camadas. Sua biocompatibilidade e custo acessível também o tornam uma alternativa eficiente e viável para a confecção de moldes auriculares em impressão 3D.

Este trabalho visa contribuir para a padronização do fluxo digital na produção de moldes, favorecendo um processo mais acessível, reprodutível e aplicável em contextos clínicos e acadêmicos voltados à reabilitação estética de pacientes com deformidades auriculares, congênitas ou adquiridas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

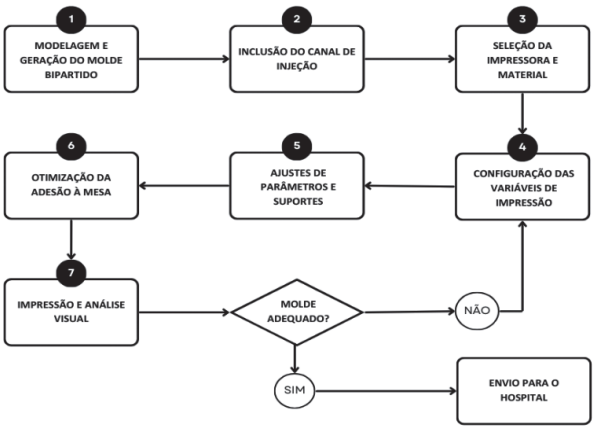
O método utilizado foi o proposto por Franco (2021) e aplicado no laboratório do Núcleo de Manufatura Aditiva e Ferramental (NUFER) na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Para estruturar esse processo, o Fluxograma 1 foi elaborado, descrevendo a metodologia, desde a aquisição de imagens e modelagem tridimensional até a impressão 3D e análise da qualidade.

Fluxograma 1 - Fluxograma para ilustrar a metodologia utilizada



Acompanhando os números dos passos apresentados no Fluxograma 1, a seguir será feita a descrição detalhada das etapas relevantes para esse estudo, complementando e comentando com alternativas retiradas de outros trabalhos que utilizam métodos semelhantes ao realizado no NUFER (FRANCO, 2021). O foco deste estudo concentrou-se nos ajustes de parâmetros de processo que influenciam diretamente o resultado final dos moldes produzidos na Etapa 6: **Manufatura Aditiva** ilustrada no Fluxograma 2.

Fluxograma 2 - Fluxograma para ilustrar a Etapa 6 do Fluxograma 1



Nesse método, a prótese previamente modelada é subtraída de um cilindro por meio de uma operação booleana, posicionada em relação a um plano que divide a peça no sentido ântero-posterior, separando o cilindro em duas metades e resultando em um molde bipartido. Em seguida, é adicionado um canal de

injeção compatível com a seringa utilizada na aplicação do silicone, permitindo o preenchimento preciso da cavidade interna do molde.

A estratégia de divisão do molde é um fator crítico para o sucesso da prótese final. A superfície de partição, gerada por meio da operação booleana, deve ser cuidadosamente posicionada em regiões de menor relevância estética, como bordas de adaptação à anatomia do paciente, a fim de minimizar a visibilidade da linha de união na prótese. Simultaneamente, essa divisão deve ser planejada para não dificultar a desmoldagem, preservando a integridade das estruturas anatômicas e evitando danos durante a remoção. Essa abordagem também contribui para facilitar eventuais etapas de acabamento ou pós-processamento.

Para o presente estudo, os moldes foram impressos na impressora Bambu Lab X1 Carbon (A). As variáveis de impressão avaliadas incluíram três orientações do modelo em relação à base de impressão: 0°, 45° e 90°. A escolha da angulação de 45° é amplamente reconhecida na literatura e na prática da impressão 3D como um ponto de equilíbrio ideal para a minimização da necessidade de estruturas de suporte.

Ângulos de inclinação inferiores a 45° em relação ao plano da base geralmente permitem a impressão sem suportes, pois cada camada consegue se sustentar na anterior. A inclinação de 45° representa o limite superior dessa capacidade de auto-suporte nas impressoras MEX, equilibrando redução de suportes e qualidade estrutural. As orientações de 0° (horizontal) e 90° (vertical) foram incluídas como extremos comparativos para avaliar o impacto da orientação na qualidade da impressão.

Todos os moldes foram impressos com parâmetros fixos (Tabela 1), garantindo uniformidade experimental. Ao todo, foram fabricados nove moldes bipartidos em PLA, utilizando bico extrusor de 0,4 mm e o perfil "0.20 mm Standard @BBL X1C" da Bambu Lab X1 Carbon, com modificação apenas na velocidade da parede interna, ajustada para 200 mm/s. A análise das peças foi feita visualmente, observando imperfeições, rugosidades e efeitos causados pela orientação e altura da camada.

Foram testadas três alturas de camada (0,08 mm, 0,12 mm e 0,20 mm) para avaliar sua influência na qualidade superficial e no tempo de impressão. A altura de 0,08 mm apresentou melhor detalhamento, porém com maior tempo de impressão (2 h); 0,12 mm representou um equilíbrio entre resolução e agilidade (1 h 30 min); e 0,20 mm foi a mais rápida (1 h).

Observou-se que a redução da altura de 0,20 mm para 0,08 mm duplicou o tempo de fabricação, revelando uma relação inversamente proporcional entre resolução vertical e tempo de impressão. Assim, a definição dos parâmetros

ideais deve considerar conjuntamente a altura de camada e o porte da peça, equilibrando qualidade e eficiência produtiva.

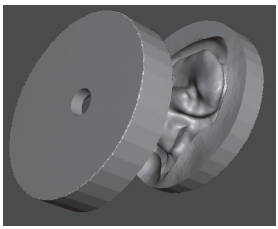
Empregou-se suporte do tipo "árvore automático", configurado para "somente na placa de impressão", evitando suportes internos. Para melhorar a adesão à base, após o ajuste angular, os modelos foram reposicionados no eixo Z, gerando automaticamente uma superfície plana de contato com a mesa. Essa face, aliada ao brim externo de 7 mm, garantiu maior estabilidade e eliminou a necessidade de suportes nas peças inclinadas a 45°.

Tabela 1 - Fatores não-variáveis

Impressora	Filamento	Velocidade	Diâmetro do bico	Suporte
A	PLA	200 mm/s	0,4 mm	Árvore Automático

Com os moldes finalizados, realizou-se um teste prévio de como ficará a prótese, utilizando a injeção de borracha de silicone laboratorial, realizada com a adição de 3% de catalisador em relação ao peso total do silicone a ser utilizado — de acordo com as especificações do fabricante — através do orifício (Figura 1)

Figura 1 - Molde bipartido finalizado no Meshmixer - Adição do canal de injeção do silicone



Na Etapa 7 do Fluxograma 1 é avaliada a presença de defeitos na impressão, a rugosidade superficial e a fidelidade do encaixe anatômico. Em muitos casos, também se imprime previamente, em PLA, um segmento facial do paciente para testar o ajuste da prótese. Se forem identificadas falhas, retorna-se à etapa de modelagem (Etapa 4 do Fluxograma 1) para ajustes.

Quando o protótipo é aprovado, o molde é encaminhado para a confecção da prótese definitiva em silicone de grau médico, realizada pelo(a) protesista, que ajusta a coloração e a textura visando uma correspondência estética fiel com a pele do paciente.

3. RESULTADOS

As alturas de camada entre 0,08 mm e 0,12 mm resultaram em melhor acabamento superficial, com significativa suavização do efeito escada em comparação às impressas em 0,20 mm (Figura 2).

Figura 2 - Diferença da superfície de peças impressas em 45°. Alturas de camada: (A) 0,20 mm; (B) 0,12 mm; (C) 0,08 mm

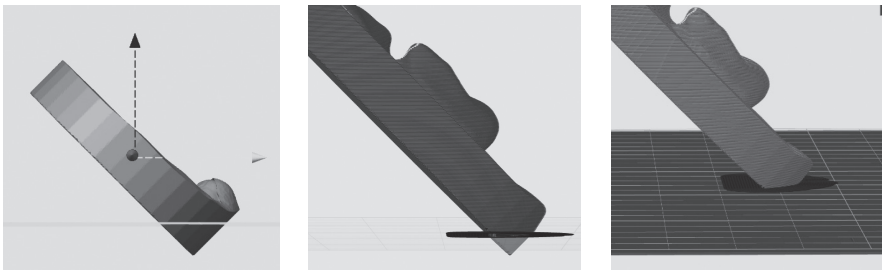


(A) (B) (C)

Angulações entre 45° e 90° foram as que proporcionaram menor rugosidade superficial e menor formação do efeito escada. A orientação de 45° destacou-se por eliminar a necessidade de suportes no interior do molde, preservando a definição das estruturas anatômicas da orelha.

O corte para gerar maior área de contato entre o molde e a mesa de impressão, obtida por meio do rebaixamento controlado da peça no eixo Z, aliada à aplicação de um *brim* externo de 7 mm, contribuiu significativamente para a estabilidade do modelo durante a impressão. Essa combinação favoreceu a adesão à base, minimizando o risco de deslocamentos ou quedas da peça (Figura 3).

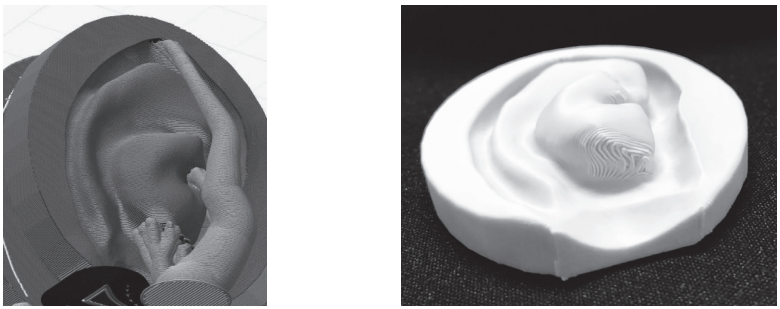
Figura 3 - Posicionamento do molde no programa Bambu Studio: (A) Realização da manobra que posiciona parte da geometria abaixo do plano da mesa de impressão para criação de uma àrea de contato plana automaticamente; (B) Criação de uma região plana de contato do molde com a mesa de impressão após deslocamento da peça em seu eixo Z; (C) Figura evidenciando a face de contato com a mesa juntamente ao brim externo de 7mm



(A) (B) (C)

A orientação em 90°, embora tenha apresentado melhor acabamento na maioria das regiões, gerou suportes na região interna da cavidade auricular do molde. A remoção desses suportes resultou em marcas e rugosidades perceptíveis, comprometendo a qualidade superficial local (Figura 4).

Figura 4 - Etapas de posicionamento e impressão do molde: (A): Peça posicionada a 90°, mostrando a geração de suportes em árvore em algumas regiões; (B) Imperfeições geradas nas regiões que tiveram contato com o suporte na peça impressa



(A) (B)

Por outro lado, a orientação com 0° mostrou-se a menos viável, pois foi a que obteve maior rugosidade devido ao efeito degrau de escada nas superfícies superiores, o que comprometeu a fidelidade geométrica dos moldes, independente da altura de camada escolhida (Figura 5).

Figura 5 - Peça impressa em 0°, mostrando o efeito escada nas três alturas de camada: (A) 0,20 mm; (B) 0,12 mm; (C) 0,08 mm



(A) (B) (C)

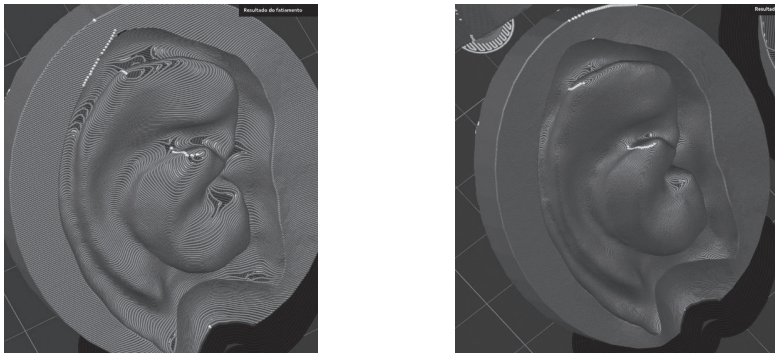
O programa Bambu Studio mostrou-se eficaz na identificação de regiões suscetíveis ao efeito escada e na visualização dos suportes gerados em áreas críticas, permitindo ajustes estratégicos ainda na fase de planejamento. Essa capacidade de simulação prévia possibilita a personalização da angulação e da altura de camada conforme as particularidades de cada molde, contribuindo significativamente para o acabamento superficial e a qualidade final das peças impressas.

Sendo assim, vale destacar que não existe uma angulação padronizada aplicável a todas as situações. A definição da orientação ideal deve ser feita caso a caso, com base na análise visual fornecida pelo programa de fatiamento. Neste estudo, as angulações de 45° e 90° mostraram-se as mais eficazes.

Conclui-se, portanto, que ajustes dentro desse intervalo tendem a oferecer melhores resultados, considerando a geometria e a complexidade anatômica específicas de cada molde.

O mesmo se aplica às alturas de camada: valores entre 0,08 mm e 0,12 mm apresentaram os melhores resultados em termos de acabamento superficial e redução do efeito escada. No entanto, é igualmente necessário avaliar, por meio da pré-visualização no programa de fatiamento (Figura 6), se a melhoria estética justifica o aumento significativo no tempo de impressão, já que camadas mais finas demandam maior tempo de processamento.

Figura 6 - Pré-visualização do molde no programa Bambu Studio: (A) Molde posicionado a 45°, com altura de camada de 0,20 mm, evidenciando áreas com acabamento superficial de baixa qualidade; (B) Mesmo molde posicionado a 45°, porém com altura de camada reduzida para 0,08 mm, apresentando melhora significativa no acabamento em comparação à configuração anterior



(A) (B)

A fim de organizar e visualizar de forma comparativa os dados obtidos, a Tabela 2 apresenta um resumo dos parâmetros de impressão utilizados em cada um dos nove modelos fabricados, bem como os principais resultados observados.

Tabela 2 - Síntese dos parâmetros de impressão e dos resultados nos nove modelos produzidos em 3D

Molde	Angulação	Altura de Camada	Rugosidade Superficial	Presença de Suportes	Observações	Tempo de Impressão
M1	0°	0,20 mm	Alta	Não	Forte efeito escada	1h
M2	0°	0,12 mm	Alta	Não	Forte efeito escada	1h30
M3	0°	0,08 mm	Média	Não	Forte efeito escada	2h
M4	45°	0,20 mm	Média	Não	Boa estabilidade	1h
M5	45°	0,12 mm	Baixa	Não	Melhor resultado	1h30
M6	45°	0,08 mm	Muito baixa	Não	Excelente fidelidade	2h
M7	90°	0,20 mm	Média	Sim	Suportes na cavidade	1h
M8	90°	0,12 mm	Baixa	Sim	Marcas visíveis	1h30
M9	90°	0,08 mm	Baixa	Sim	Compromete acabamento	2h

4. DISCUSSÃO

A tomografia computadorizada foi o único método adotado neste estudo para a obtenção de modelos tridimensionais do pavilhão auricular, devido à sua alta precisão na captação de estruturas anatômicas (LIACOURAS et al., 2011). Apesar de eficaz, a tomografia implica custos elevados e exposição à radiação ionizante, restringindo seu uso quando não há indicação clínica clara.

Como alternativa, a digitalização por escaneamento 3D do pavilhão auricular contralateral surge como uma técnica não invasiva, eficaz e segura, ideal especialmente em casos unilaterais. Esse método evita a radiação e fornece modelos anatômicos de alta fidelidade (CIOCCA et al., 2007; CIOCCA et al., 2010), embora dependa da disponibilidade de escâneres de alta precisão.

Independentemente da técnica de aquisição utilizada, a conversão dos dados para o formato STL e o posterior uso de softwares de modelagem CAD/CAM constituem etapas essenciais no processo digital, exigindo capacitação técnica adequada para sua execução (LIACOURAS et al., 2011).

O método de moldes bipartidos, conforme descrito por Franco (2021) para confecção de próteses nasais e oculopalpebrais, pode apresentar desafios específicos na remoção de próteses auriculares de silicone, devido à complexidade anatômica dessa região, o que pode resultar em danos ao material.

Um aspecto crítico no planejamento da impressão 3D é a angulação da peça em relação à mesa de impressão. A angulação adequada contribui significativamente para a redução do efeito escada, melhora o acabamento superficial e minimiza a necessidade de suportes, especialmente em superfícies curvas (UNKOVSKIY et al., 2019; DE CRESCENZIO et al., 2011). Embora não exista uma padronização universal, o ajuste estratégico da angulação do molde é vital para evitar suportes em regiões de moldagem da orelha, que podem comprometer o acabamento superficial com rugosidades acentuadas. Angulação de até 45°, combinadas com o corte na região de contato e o uso de um *brim* externo, podem reduzir ou eliminar a necessidade de suportes, promovendo estabilidade e adesão à base.

Programas de fatiamento como Bambu Studio, Creality Print ou Cura, são ferramentas essenciais no planejamento do processo, permitindo a visualização prévia da qualidade da impressão. Essa funcionalidade identifica regiões suscetíveis ao efeito escada, indicado por alterações cromáticas no preview, e sinaliza a geração de suportes. Isso permite ao operador ajustar a orientação da peça para evitar intervenções indesejadas, especialmente em áreas críticas.

A altura da camada é outro parâmetro crucial. Na tecnologia de manufatura aditiva por extrusão de material (MEX) com filamento de PLA, alturas de camada inferiores a 0,20 mm resultaram em um acabamento superficial satisfatório, suavizando o efeito escada. Contudo, é preciso ponderar a relação entre a qualidade estética e a eficiência produtiva, pois alturas de camada menores aumentam expressivamente o tempo de impressão.

A velocidade de impressão de 200 mm/s foi considerada satisfatória, embora programas como o Bambu Studio recomendem a redução da velocidade quando se usa alturas de camadas menores para evitar imperfeições decorrentes da deposição rápida do material em camadas mais finas. Em ambientes de produção ou quando múltiplos protótipos são necessários, as escolhas de angulação e altura de camada têm um impacto direto no tempo total de impressão.

A escolha do filamento de PLA para a impressão dos moldes foi baseada em suas propriedades intrínsecas e na sua adequação para a aplicação proposta e se mostrou adequada para a finalidade de prototipagem e fabricação de moldes para próteses auriculares, considerando a facilidade de acesso, custo-benefício e as características de impressão da Bambu Lab X1 Carbon.

As angulações dos moldes entre 45° e 90° foram a principal variável utilizada para reduzir a rugosidade superficial e atenuar o efeito escada. A orientação em 45° mostrou vantagens ao evitar a geração de suportes no interior do molde, preservando a fidelidade morfológica e o acabamento das superfícies da orelha. Todavia, orientações próximas de 0° ou menores que 45° aumentam o efeito de degrau de escada, comprometendo a precisão geométrica e anatômica.

Outras tecnologias como a Fotopolimerização em Cuba (VPP) oferecem precisão superior, com desvios dimensionais abaixo de 0,2 mm e menor necessidade de acabamento (UNKOVSKIY et al., 2019), mas são menos acessíveis devido aos custos. Adicionalmente, moldes impressos em resina podem interferir negativamente na cura do silicone (CHEN et al., 2024).

Conclui-se que a combinação de um fluxo digital bem estruturado, materiais adequados, segmentação eficiente e controle preciso dos parâmetros de impressão, como angulação da peça, altura de camada e planejamento da geração de suportes, é uma alternativa viável ao processo convencional de produção de próteses auriculares, com potencial para aplicações clínicas que exigem alta precisão e qualidade estética.

5. CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade da manufatura aditiva na confecção de moldes para próteses auriculares, com foco na impressão 3D utilizando a tecnologia MEX de manufatura aditiva e filamento de PLA. Os resultados confirmam que os objetivos foram plenamente alcançados, demonstrando que a correta aplicação de parâmetros de fabricação pode melhorar significativamente a qualidade superficial e anatômica dos moldes.

Concluiu-se que a angulação entre 45° e 90° e o controle da altura de camada são fatores determinantes para reduzir o efeito escada, melhorar o acabamento e evitar danos nas estruturas internas do molde.

Como contribuição principal, o trabalho reforça o potencial da manufatura aditiva como alternativa viável à moldagem convencional, com benefícios nas áreas da Saúde, Engenharia e Tecnologia Assistiva. Recomenda-se, como desenvolvimento futuro, a realização de estudos técnicos aprofundados que descrevem metodologias específicas para a confecção e planejamento digital de moldes tripartidos voltados à produção de próteses auriculares, considerando geometria, encaixe e desmoldagem segura.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação Araucária pelo apoio financeiro através do NAPI-TA (Novo Arranjo de Pesquisa e Inovação em Tecnologia Assistiva), ao CNPq pela bolsa de produtividade em desenvolvimento tecnológico e extensão inovadora e ao NUFER (Núcleo de Manufatura Aditiva e Ferramental), seus colaboradores de Iniciação Científica (IC) e professores que auxiliaram no processo.

REFERÊNCIAS

CHEN, S. et al. *Silicone cure inhibition with material jetting additive manufacturing utilized for facial prosthesis fabrication*. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, Thousand Oaks, v. 168, n. 6, p. 1580-1583, jun. 2024.

CIOCCA, L. et al. *CAD/CAM bilateral ear prostheses construction for Treacher Collins syndrome patients using laser scanning and rapid prototyping*. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, Amsterdã, v. 39, n. 6, p. 379-386, jun. 2010.

CIOCCA, L. et al. *CAD/CAM Ear Model and Virtual Construction of the Mold*. *Journal of Prosthetic Dentistry*, St. Louis, v. 125, n. 3, p. 467-472, mar. 2021.

CIOCCA, L. et al. *CAD/CAM ear model and virtual construction of the mold*. *Journal of Prosthetic Dentistry*, St. Louis, v. 98, n. 5, p. 339-343, nov. 2007.

CRUZ, R. L. J. et al. *An Advanced Prosthetic Manufacturing Framework for Economic Personalised Ear Prostheses*. *Scientific Reports*, London, v. 10, 14892, 2020.

DE CRESCENZIO, F. et al. *Design and manufacturing of ear prosthesis by means of rapid prototyping technology. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, Londres, v. 225, n. 3, p. 296-302, mar. 2011.

ELBASHTI, M. et al. *Application of Digital Technologies in Maxillofacial Prosthetics Literature: A 10-Year Observation of Five Selected Prosthodontics Journals*. *International Journal of Prosthodontics*, Chicago, v. 32, n. 1, p. 45-50, jan./fev. 2019.

FRANCO, F. M. *Uso de modelagem 3D e manufatura aditiva no auxílio à fabricação de próteses faciais de silicone*. 2021. 68 f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Mecatrônica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

JAKUPI, A. et al. *Surface Roughness Modeling of Material Extrusion PLA Flat*. *International Journal of Polymer Science*, Cairo, v. 2023, 3282086, 2023.

LIACOURAS, P. et al. *Designing and manufacturing an auricular prosthesis using computed tomography, 3-dimensional photographic imaging, and additive manufacturing: A clinical report*. *Journal of Prosthetic Dentistry*, St. Louis, v. 105, n. 2, p. 78-82, fev. 2011.

MOHAMMED, M. I. et al. *Augmented patient-specific facial prosthesis production using medical imaging modelling and 3D printing technologies*. *Medical Engineering & Physics*, Oxford, v. 38, n. 9, p. 5-10, set. 2016.

NISHIMURA, R. D. et al. *Auricular prostheses and osseointegrated implants: UCLA experience*. *Journal of Prosthetic Dentistry*, St. Louis, v. 73, n. 6, p. 553-558, jun. 1995.

TAM, C. K. et al. *Psychosocial and Quality of Life Outcomes of Prosthetic Auricular Rehabilitation with CAD/CAM Technology*. *International Journal of Dentistry*, Cairo, v. 2014, 393571, 2014.

TANVEER, W. et al. *Applications of CAD/CAM Technology for Craniofacial Implants Placement and Manufacturing of Auricular Prostheses - Systematic Review*. *Journal of Clinical Medicine*, Basel, v. 12, n. 18, 5950, set. 2023.

UNKOVSKIY, A. et al. *Additive Manufacturing: A Comparative Analysis of Dimensional Accuracy and Skin Texture Reproduction of Auricular Prostheses Replicas*. *Journal of Prosthodontics*, Hoboken, v. 28, n. 2, p. e460-e468, fev. 2019.

Manufatura de órtese de punho por impressora 3D e análise por simulação com elementos finitos

Santos, Paulo Victor Ferreira[*1]; Silva, Jonas Leonardo Medeiros Gomes[2]; Silva, Nadège Sophie Bouchonneau[3]; Merino, Eugenio Andrés Díaz[4]; Costa, Diogo[5]; Giracca, Cesar Nunes[6]; Merino, Giselle Schmidt Alves Díaz[7]; Cabral, Ana Karina Pessoa da Silva[8]

1 – Departamento de Engenharia Mecânica, UFPE, paulo.vfsantos@ufpe.br
2 – Departamento de Engenharia Mecânica, UFPE, jonas.medeiros@ufpe.br
3 – Departamento de Engenharia Mecânica, i-LITPEG, UFPE, nadege.bouchonneau@ufpe.br
4 – Departamento de Gestão, Mídias e Tecnologia, UFSC; POSDESIGN UFSC; PPGEP UFSC, eugenio.merino@ufsc.br
5 – Departamento de Desenho Industrial, UFRJ; POSDESIGN UFSC, diogopontes102@gmail.com.br
6 – Departamento de Engenharia de Produção, UFSC, eng.giracca@gmail.com
7 – Departamento de Design, UDESC; PPGDesing, UDESC; POSDESIGN, UFSC, giselle.merino@udesc.br
8 – Departamento de Terapia Ocupacional, UFPE; PPGERO UFPE; PPERGO UFPE; anakarina.cabral@ufpe.br
*-Correspondência: Av. da Arquitetura, LITPEG-UFPE, Cidade Universitária, Recife, Pernambuco, Brasil, 50740-540.

DOI 10.52050/9788579177149-07

RESUMO

A produção de órteses por impressão 3D é tendência global devido a customização e baixo custo. Para conhecer o processo e garantir confiabilidade, faz-se necessário o estudo com ferramentas computacionais e experimentais. Foi realizado o estudo por elementos finitos no modelo computacional (CAD) de uma órtese para punho e um processo de conformação manual a quente. Concluiu-se que a simulação computacional previu as regiões de falha observadas no modelo experimental. Estudos futuros podem aprofundar a análise, aprimorando o modelo de simulação, considerando diferentes parâmetros de impressão e com melhorias no processo de conformação a quente para melhores resultados.
Palavras-chave: Órtese, Impressão 3D, Simulação por elementos finitos.

ABSTRACT

The production of orthoses using 3D printing is a global trend due to customization and low cost. To understand the process and ensure reliability, it is necessary to study it with computational and experimental tools. A finite element study was

carried out on the computational model (CAD) of a wrist orthosis and a manual Hot working process. It was concluded that the computational simulation predicted the failure regions observed in the experimental model. Future studies can deepen the analysis by improving the simulation model, considering different printing parameters, and with improvements in the Hot working process for better results.
Keywords: *Orthoses, 3D printing, finite element analysis.*

1. INTRODUÇÃO

No contexto médico, as órteses de punho desempenham papel crucial na reabilitação motora, oferecendo suporte e correção funcional (ASSUMPÇÃO et al., 2006). Tradicionalmente, estas são confeccionadas de forma artesanal com materiais como termoplásticos moldados a temperaturas relativamente baixas e sua forma, qualitativamente, depende da experiência e habilidade do profissional da saúde à moldá-la. Com a impressão 3D e o escaneamento digital, torna-se viável produzir órteses personalizadas, com melhor adaptação anatômica, conforto e menores custos, além de facilitar ajustes conforme a evolução do tratamento (MORIMOTO et al., 2021).

A manufatura aditiva, especificamente modelagem por deposição fundida ou impressão 3D, é uma tecnologia que constrói objetos por deposição sucessiva de material com base em modelos digitais, permitindo geometrias complexas, alta personalização e redução de desperdício em comparação aos métodos convencionais (DELBART et al., 2023). Sua aplicação destaca-se em áreas como saúde, engenharia e design, devido à rapidez na prototipagem, produção sob demanda e economia de recursos.

A impressão 3D, apesar dos benefícios anteriormente citados, enfrenta desafios técnicos significativos em sua aplicação. A personalização das órteses requer escaneamentos precisos da anatomia do usuário e o uso de softwares especializados para adequação funcional e ergonômica (ARCE et al., 2017). Além disso, deve-se buscar os materiais adequados para impressão, como o polímero PLA (Poliácido láctico), e os parâmetros de impressão que resultem em uma impressão com propriedades mecânicas e a durabilidade necessárias para suportar o uso contínuo e as exigências biomecânicas específicas desses dispositivos (ABIDIN et al., 2021). A fim de melhor prever o comportamento e propriedades mecânicas destes dispositivos para garantir confiabilidade e segurança aos usuários em sua função, a simulação por elementos finitos (FEA) é uma ferramenta crucial (AHMADI et al., 2024). Esse tipo de estudo prevê o comportamento mecânico dos dispositivos antes da fabricação, considerando as características anisotrópicas e estruturais da impressão 3D, como porosidade

e orientação das camadas. Essa abordagem reduz custos com protótipos físicos e possibilita personalizações mais eficazes.

A presente pesquisa é conduzida por uma rede de pesquisadores das áreas de Engenharia, Terapia Ocupacional e Design vinculados ao Laboratório de Simulação Computacional (SIMULAB/INTM) e ao Laboratório de Computação Científica e Visualização (LCCV/i-LITPEG) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), o Laboratório de Tecnologia Assistiva e Terapia Ocupacional (LabTATO) da UFPE e o Núcleo de Gestão de Design/Laboratório de Design e Usabilidade (NGD/LDU) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) que fazem parte da rede SisAssistiva do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), por meio do Projeto TECLABORAL – "Tecnologia Assistiva para autonomia cotidiana / laboral de pessoas com deficiência e formação de recursos humanos" (Ref. Projeto Finep n. 2163/22), no qual estão sendo desenvolvidas órteses 3D para serem concedidas a pessoas com deficiência visando a inclusão laboral. O objetivo desta pesquisa é analisar a deformação de modelos computacional e experimental de uma órtese ventral para posicionamento de punho impressa em 3D, garantindo a confiabilidade do produto para sua aplicação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Simulação por FEA

A simulação numérica por Elementos Finitos ou Finite element analysis (FEA) é uma ferramenta computacional crucial no desenvolvimento de produtos, permitindo a análise virtual do comportamento de sistemas complexos e a solução de equações diferenciais parciais que regem fenômenos físicos diversos (OLIVEIRA, 2023). Sua aplicação estratégica possibilita a otimização de projetos, a redução de custos e do tempo de lançamento no mercado ao minimizar a necessidade de protótipos físicos, como visto na otimização de processos em manufatura aditiva (SONI et al, 2024) e no aprimoramento da segurança veicular (NHSJS, 2024).

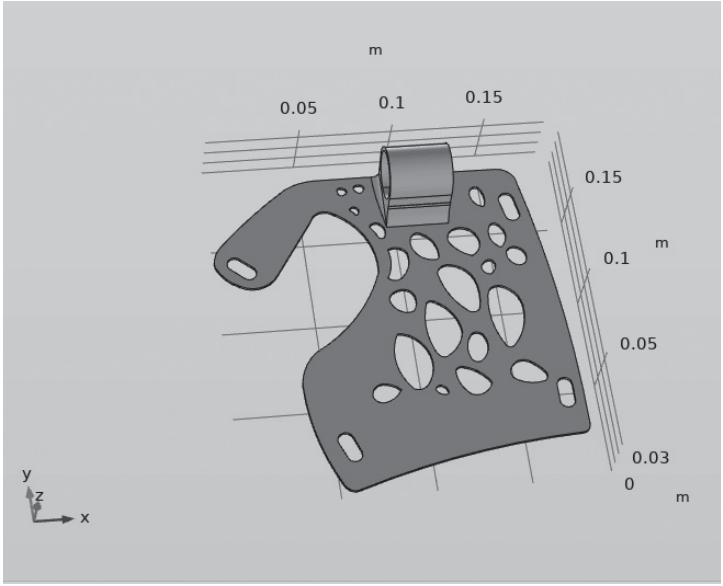
Para os estudos FEA, foi utilizado o software comercial Comsol Multiphysics, que é capaz de realizar a simulação de diferentes físicas integradas e acopladas. Os estudos foram realizados com o módulo "Solid Mechanics" para aplicação das cargas mecânicas e análise da resposta em tensão e deformação.

2.1.1. Modelo CAD 3D e Material

O modelo CAD, apresentado na Figura 1, foi importado para o ambiente de trabalho do software no formato ".STEP". Em seguida, definiu-se o material a partir da biblioteca de materiais do próprio software. Foram atribuídas

propriedades mecânicas como o módulo de young de 3 GPa, a densidade de 1250 Kg/m^3 e o coeficiente de Poisson de 0.36 com base em dados da literatura (CARRASCO et al., 2010), sendo informações essenciais para a análise dos elementos finitos realizados posteriormente.

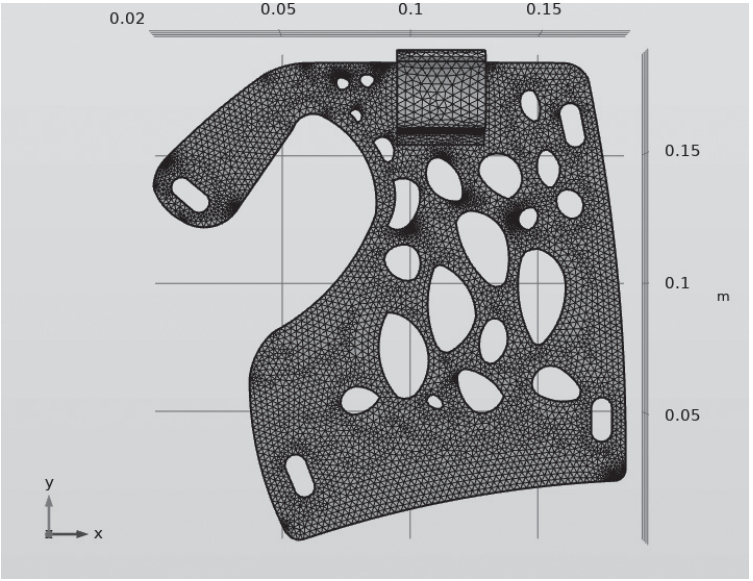
Figura 01 - Modelo CAD da órtese no software Comsol Multiphysics.



O material escolhido para a impressão da órtese foi o Poliácido Láctico (PLA), devido ao mesmo ser biocompatível, biodegradável, reciclável e produzido a partir de fontes renováveis. Este polímero termoplástico apresenta estruturas semicristalina ou amorfa e suas propriedades variam de acordo com a distribuição, massa molar e composição química. A sua temperatura de fusão na faixa de 170 a 180° C quando for semicristalino, sua temperatura de transição vítrea na faixa de 55 a 65°C e seu módulo de elasticidade variando entre 3 a 4 MPa, sendo este material de baixo custo e da facilidade de conformação (SANTANA *et al.*, 2018).

2.1.2. Malha e condições de contorno

Figura 02 - Malha de elementos finitos



Foi gerada uma malha extra fina de elementos triangulares, conforme podemos observar na figura 2, consistindo de 144423 elementos.

Como condições de contorno, foram definidas: Restrição fixa ou "Fixed constraint" de deslocamento zero nas direções dos eixos "X, Y, Z" orientados, nas regiões destacadas na figura 3, do suporte cilíndrico vazado e nas paredes internas das seis curvas fechadas centralizadas geometricamente no modelo. As restrições foram definidas em função da conformação a quente da órtese posterior a impressão, que apresenta deslocamentos mínimos do modelo experimental nas regiões selecionadas.

Para as cargas, são selecionadas as seções das paredes nos quatro rasgos localizados nos cantos extremos da órtese (figura 4). Nessas paredes, é aplicada o parâmetro variável a representar o carregamento F [kN], na direção negativa do eixo de coordenadas "Z".

Figura 03 - Condição de fixação.

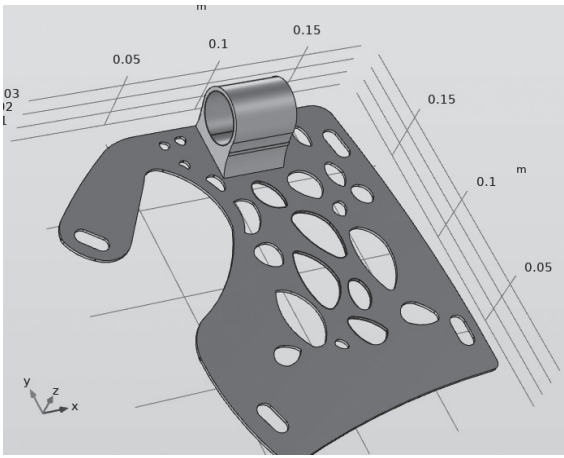
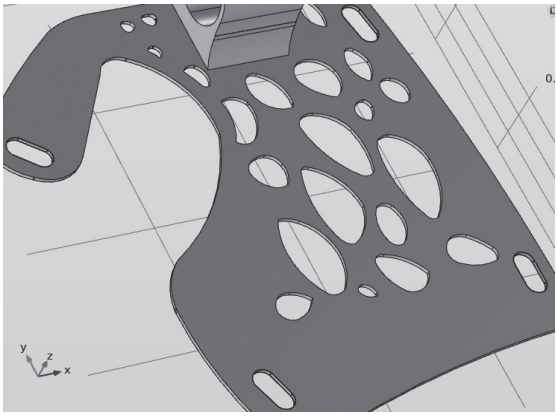


Figura 04 - Condição de carregamento.



2.1.3. Pós-processamento

A carga selecionada para a simulação estacionária iniciou de 0 N, crescendo até a carga de 10 N com incremento de 1 N. As figuras 5 e 6 ilustram a distribuição das deformações na peça após aplicação do carregamento. Foi obtido como valor de máxima tensão de Von Mises 9,57 MPa na região destacada na Figura 7, ou seja, abaixo da tensão de escoamento do PLA que se situa entre 50 e 70 MPa.

Figura 05 - Vista superior (X,Y) da distribuição das deformações.

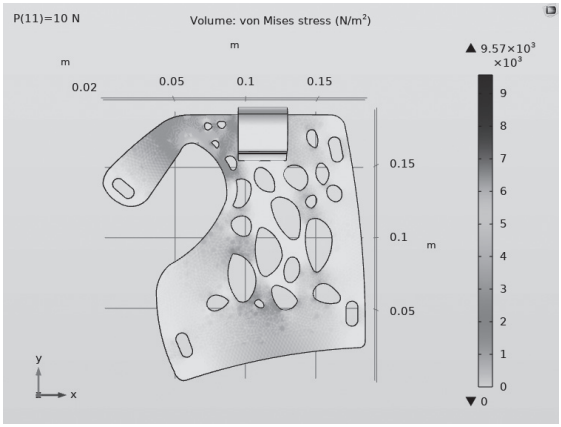
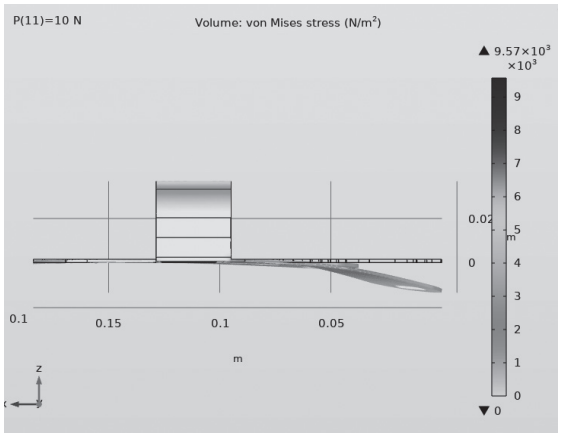


Figura 06 - vista frontal (X,Z) da distribuição das deformações.

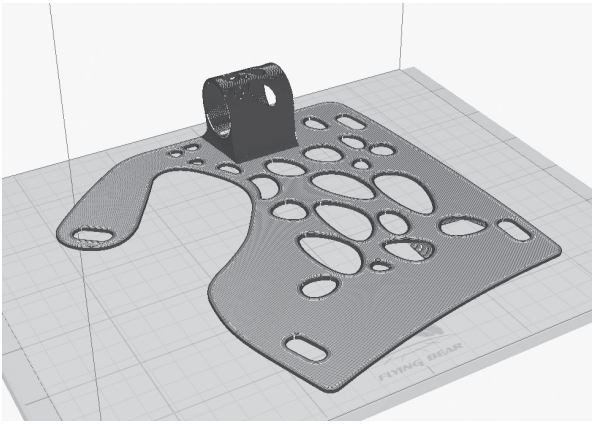


2.2. Impressão 3D

A impressora 3D disponível para este projeto é o modelo Flying Bear 4S, com filamento de "PLA velvet", da Voolt3D de temperatura da saída do extrusor de 215 °C e temperatura na mesa de impressão de 65 °C.

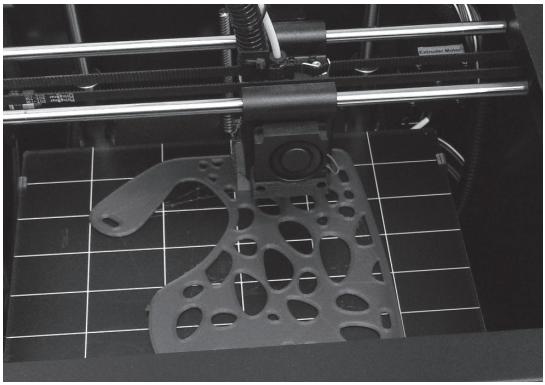
Foi utilizado o software livre Ultimaker Cura versão 5.9.0, para realizar o fatiamento do modelo CAD nas camadas a serem impressas.

Figura 07 - Modelo em formato STL após fatiamento no Ultimaker Cura.



As peças foram impressas com 247 camadas, com os seguintes parâmetros de impressão: preenchimento: 30%; altura de camada: 0.16 mm; velocidade de impressão: 40 mm/s; temperatura de extrusão: 215 °C; temperatura de mesa: 65 °C; formato do preenchimento: Giróide; 3 camadas de paredes; 3 camadas superior e inferior. O tempo de impressão foi de 6 horas e 47 minutos. A figura 8 apresenta a órtese obtida por impressão 3D.

Figura 08 - Órtese impressa.



Após a impressão 3D, a órtese planificada é submetida a um processo manual e personalizado de conformação a quente, utilizando-se de um banho imerso em água aquecida no aparato da figura 09 e/ou utilização de um soprador térmico. Com a conformação, a órtese adquire, de um modelo, a forma específica do punho ao antebraço do paciente.

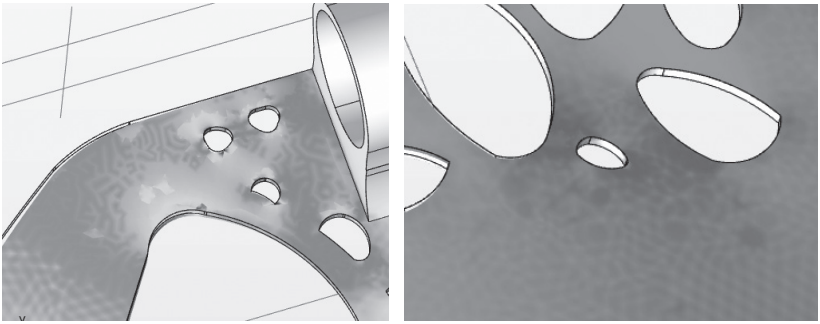
Figura 09 - Aparato para conformação a quente manual.



3. RESULTADOS

As regiões em destaque apresentaram as maiores tensões e deformações na simulação. Observa-se maior concentração nas curvas mais acentuadas da geometria.

Figura 10 e 11 - Regiões de maiores tensões de Von Mises.



As órteses de punho impressas em PLA, após um processo de conformação a quente realizado a fim de obter a geometria final, apresentaram falhas e ruptura nas duas regiões indicadas nas figuras 8 e 9.

A órtese foi trabalhada com o processo de conformação a quente imersa em água aquecida no aparato da figura 09, de modo a torná-la maleável para adquirir a geometria de interesse (molde da mão de um dos pesquisadores).

A peça, após retirada do banho e iniciado o processo de conformação, rapidamente retornava a sua rigidez original e por consequente não deformou tanto quanto o desejado antes de apresentar falhas e ruptura do material, tomando a geometria vista nas figuras 11 e 12.

Figura 11 - Órtese impressa em PLA com falhas e ruptura.



Figura 12 - Órtese impressa em PLA com falhas e ruptura



4. DISCUSSÃO

A simulação qualitativamente traz orientação quanto a localizações de interesse. As órteses impressas apresentaram falhas e ruptura nas duas regiões indicadas pela simulação numérica como regiões de maior tensão e deformação. Observa-se também que as maiores tensões concentram-se na região de menor largura e também estão presentes nos furos próximos à mesma, o que é um indicativo para futura melhoria de projeto em termos de geometria (NORTON, R. L., 2004).

Apesar do processo de conformação com banho de água quente ser utilizado de maneira a modelar as órteses com utilização de termoplásticos, em nossa

aplicação de órtese impressa a conformação foi menor que a desejada, não atingindo a forma necessária a melhor acomodar geometria de referência (forma da mão). Melhorias no processo de conformação são cabíveis para melhor controle e previsibilidade, a exemplo de um modelo para monitoramento e controle de temperatura e tempo para garantir a transmissão de calor, no caso da imersão em água quente e utilização de soprador térmico para deformação localizada.

5. CONCLUSÕES

O presente artigo traz um estudo preliminar com o objetivo de analisar a deformação e falha no estudo de simulação computacional e experimental de órtese fabricada por impressão 3D. A análise preliminar dos resultados da simulação expõem qualitativamente tensão e deformação para as cargas aplicadas nas regiões esperadas, devido ao fator geométrico (região de menor largura) e com a presença de furos.

A órtese impressa, em processo manual de conformação a quente apresentou falhas e rupturas do material nas regiões indicadas pela simulação como tendo maiores tensões devido ao carregamento. Nas próximas etapas da pesquisa em andamento haverá o aprimoramento dessa análise ao aprofundar a complexidade nas etapas do processo, comparando os valores de tensão e deformação para modelos diferentes ao imprimir órteses com diferentes parâmetros de impressão, a exemplo de: preenchimento de material, número e altura de camadas. Também há de ser melhorado o processo de conformação e estudado, com a ferramenta de simulação, um modelo de órtese após a deformação a quente, já tensionado e deformado, cenário que melhor se aproxima a aplicação real diária da órtese de punho.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos às agências de fomento FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos e CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo financiamento da pesquisa em andamento (Ref. Projeto Finep n. 2163/22 – TECLABORAL) e contribuição para a realização do estudo.

REFERÊNCIAS

ABIDIN, Zainal et al. Numerical investigation of the mechanical properties of 3D printed PLA scaffold. In: *5th FIRST T1 T2 2021 International Conference (FIRST-T1-T2 2021)*. Atlantis Press, 2022. p. 83-89.

AHMADI, Reza et al. Fatigue investigation of 3D-printed notched PLA specimens by Thermographic methods with FEM Simulation Integration. *Procedia Structural Integrity*, v. 53, p. 97-111, 2024.

ARCE, Rodrigo Pulido; FOGGIATTO, José Aguiomar. Modelagem de órteses para fabricação por manufatura aditiva. In: *9º Congresso Brasileiro de Engenharia e Fabricação, Joinville*. 2017.

ASSUMPÇÃO, T. S. Órteses: princípios básicos. *PP Freitas. Reabilitação da mão*, p. 539-553, 2006.

DELBART, Robin et al. An experimental and numerical study of the mechanical response of 3D printed PLA/CB polymers. *Composite Structures*, v. 319, p. 117156, 2023.

CARRASCO, F. et al. Processing of poly(lactic acid): Characterization of chemical structure, thermal stability and mechanical properties. *Polymer Degradation and Stability*, [S.l.], v. 95, n. 2, p. 116–125, 2010.

MORIMOTO, Sandra Yoshie Uraga et al. Órteses e próteses de membro superior impressas em 3D: uma revisão integrativa. *Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional*, v. 29, p. e 2078, 2021.

NHSJS. Finite Element Method's Application in Vehicle Safety Design. *The National High School Journal of Science*, 25 fev. 2024. Disponível em: https://nhsjs.com/2024/finite-element-methods--application-in-vehicle-safety-design/. Acesso em: 12 jun. 2025.

NORTON, R. L., 2004, "*Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada*". 2ª ed. Porto Alegre: Bookman.

OLIVEIRA, Talisson Silva et al. MODELAGEM COMPUTACIONAL DE ELEMENTOS MECÂNICOS: Modelagem, simulações e resultados. *REVISTA DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA*, v. 15, n. 1, 2023.

SANTANA, Leonardo; ALVES, Jorge Lino; SABINO NETTO, Aurélio da Costa; MERLINI, Claudia. Estudo comparativo entre PETG e PLA para Impressão 3D através de caracterização térmica, química e mecânica. *Matéria* (Rio de Janeiro), Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 401–412, 2018. doi:10.1590/S1517-707620180004.0601. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rmat/a/dpWDvBJzSXYtzbKnJdDqHVg/. Acesso em: 25 maio 2025.

SONI, Neetesh; RENNA, Gilda; LEO, Paola. Advancements in Metal Processing Additive Technologies: Selective Laser Melting (SLM). *Metals*, Basel, v. 14, n. 9, p. 1081, 21 set. 2024. Disponível em: https://www.mdpi.com/2075-4701/14/9/1081. Acesso em: 12 jun. 2025.

Produção de órtese craniana de baixo custo para o tratamento de plagiocefalia posicional por meio da manufatura aditiva

Oliveira, Vitória Souza[*1]; Dantas, Laura Sousa[2]; Tebas, Maria Luísa Lopes[3]; Gonçalves, Pedro Henrique[4]

1 – Instituto de Patologia Tropical e Saúde Pública, UFG, oliveira_oliveira@discente.ufg.br
2 – Instituto de Patologia Tropical e Saúde Pública, UFG, lauradantas@discente.ufg.br
3 – Instituto de Patologia Tropical e Saúde Pública, UFG, maria_tebas@discente.ufg.br
4 – Faculdade de Artes Visuais, UFG, pedrogoncalves@ufg.br
* -Correspondência: Av. Esperança, s/n, FAV UFG – Campus Samambaia, Goiânia, Goiás, Brasil, 74690-900.

DOI 10.52050/9788579177149-08

RESUMO

A plagiocefalia posicional (PP), caracteriza-se como uma assimetria craniana, resultante de fatores externos, tendo como uma opção de tratamento, a utilização de órtese craniana. Este estudo, objetivou produzir uma órtese de baixo custo para o tratamento de PP, utilizando o método de manufatura aditiva (AM) de forma a torná-la mais acessível, além de analisar sua viabilidade. O processo metodológico, ocorreu na seguinte ordem: planejamento, escaneamento, modelagem, impressão 3D e revestimento. A estratégia utilizada demonstrou eficiência, resultando em um produto de baixo custo. O método aplicado, apresentou potencialidade para a fabricação de tecnologias assistivas acessíveis, revelando a necessidade de novas investigações.
Palavras-chave: Plagiocefalia posicional, órtese craniana, manufatura aditiva.

ABSTRACT

Positional plagiocephaly (PP) is characterized as cranial asymmetry resulting from external factors, with the use of cranial orthosis as a treatment option. This study aimed to produce a low-cost orthosis for the treatment of PP, using the additive manufacturing (AM) method to make it more accessible, in addition to analyzing its feasibility. The methodological process occurred in the following order: planning, scanning, modeling, 3D printing, and coating. The mechanism used demonstrated efficiency, resulting in a low-cost product. The applied method showed potential

for the manufacture of accessible assistive technologies, revealing the need for further investigations.
Keywords: *Positional plagiocephaly, cranial orthosis, additive manufacturing.*

1. INTRODUÇÃO

A plagiocefalia posicional (PP) é caracterizada como uma assimetria do crânio do bebê, decorrente de fatores externos, que provocam mais comumente um achatamento occipital (CUMMINGS, 2011, p. 493). Os sinais clínicos que podem ser observados são o achatamento unilateral da região parieto-occipital e um abaulamento da região parieto-occipital contralateral, deixando o crânio em formato de um paralelograma (KLOSE, 2023, p.136). Compreende-se essas assimetrias em 5 estágios: tipo I, II, III, IV e V, avançando de uma deformidade leve à grave (ARGENTA, 2004, p. 369).

Em um estudo de coorte (HUTCHISON, 2004, p. 972) com um grupo de 200 lactentes, a prevalência de PP em bebês de 6 semanas foi de 16%; quase 20% aos 8 meses; e 6,8% aos 12 meses. A PP possui como fatores de risco os aspectos sociodemográficos, socioeconômicos, obstétricos infantis e de cuidado infantil, dentre eles se encontram o nível de ensino da mãe, paridade, período de gestação, educação pré-natal e problemas no pescoço, como o torcicolo congênito (BIALOCERKOWSKIP; *et al.*, 2008, p. 580). Os tratamentos para essas assimetrias podem incluir fisioterapia e a utilização de órteses cranianas ou capacetes, como são comumente conhecidos (LAMBERTA, *et al.*, p. 126, 2024).

No que tange à órtese craniana, ela atua como um dispositivo para redirecionar o desenvolvimento do crânio para as áreas achatadas (ROGERS, 2011, p. 20). Porém, um fator que pode impossibilitar o seu uso em muitos pacientes, é o seu elevado valor (SANTOS; GOBBO JUNIOR, 2016, p. 8). Nesse sentido, visando a redução de preço, essa órtese pode ser produzida através da manufatura aditiva (AM), também conhecida como impressão 3D que possui como características a fabricação de produtos com designs complexos e a otimização de custos e tempo (NGO, *et al.*, 2018, p. 172).

Em uma revisão (CHOO, *et al.*, 2020, p. 4.267), foi identificado que as órteses impressas em 3D podem aprimorar os preceitos biomecânicos e cinemáticos, possibilitando a projeção dedimensões exatas, outrossim, as impressoras 3D são extremamente precisas. As órteses impressas em 3D, estão possibilitando inovações e dispositivos mais confortáveis e funcionais (POPISTER, *et al.*, 2024, p. 2).

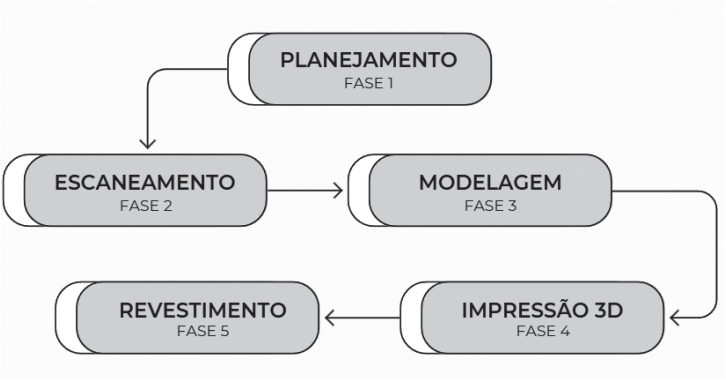
Nesse contexto, este estudo tem como objetivo desenvolver uma órtese de baixo custo para o tratamento de plagiocefalia posicional, utilizando a

manufatura aditiva, de forma a tornar essa tecnologia assistiva mais acessível e avaliar a viabilidade deste método.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho trata-se de um estudo de desenvolvimento tecnológico de uma órtese craniana. Para sua criação foi realizada as seguintes fases: Planejamento, escaneamento, modelagem, impressão 3D e revestimento, demonstradas na figura 1.

Figura 1 - Fluxograma das fases de desenvolvimento do produto



Almejando entender mais sobre as vantagens do tratamento com o capacete e a construção do mesmo por meio da impressão 3D, foi realizada uma busca na literatura sobre essa temática, nas bases de dados, Scientific Electronic Library Online - SciELO Brasil National Library of Medicine (NLM) - PubMed, e Scopus, utilizando a estratégia de busca cruzada com os operadores booleanos "OR" e "AND" da seguinte forma: "positional plagiocephaly treatment" AND "cranial orthosis", "3d printing" AND "cranial helmet" e "cranial orthosis" OR "additive manufacturing". Também foi realizada uma busca em sites de produtos ortopédicos, de um mesmo modelo de capacete produzido com impressão 3D, e efetuou-se uma comparação de seus preços. A partir dos resultados, houve o planejamento (Fase 1) de uma órtese que fosse viável no tratamento de PP e que possuísse um baixo custo de produção.

Posteriormente, foi efetuado o escaneamento (fase 2) da região cefálica de uma boneca do tipo recém-nascido, sem simulações de deformidades, utilizando o aplicativo "3D Scanner App" de um smartphone modelo Iphone 11, que permite obter uma imagem digitalizada. Optou-se pela utilização desse brinquedo, pois o presente estudo não realizou ensaios clínicos e teve como objetivo desenvolver a órtese e analisar a viabilidade do método e seus custos.

As imagens escaneadas foram importadas para o software Fusion 360 (figura 2), onde foi feita a modelagem da órtese (fase 3), contornando o formato do crânio escaneado e buscando assemelhar-se à forma das órteses para PP existentes no mercado (figura 3). Além disso, o modelo contou com um furo na região superior da órtese e a espessura utilizada foi de 1 mm em toda a peça.

Adiante, na fase 4, a órtese foi impressa. Para isso, selecionou-se o filamento Apex Carbon, sendo este um terpoliéster semiflexível com enxertos de carbono, com as seguintes características: alta resistência à tração (32 MPa), flexão (40 MPa) e impacto (57 kJ/m²) e foi utilizada a impressora 3D Creality K1 Max para a execução da peça. Por fim, na fase 5 realizou-se o revestimento do equipamento, utilizando o etileno acetato de vinila (EVA) na cor preta, com espessura de 3 mm e uma cola líquida para polímeros atóxica, para fixar o velcro na órtese e no EVA.

3. RESULTADOS

O presente estudo, buscou relatar o processo de produção de uma órtese craniana de baixo custo para o tratamento da plagiocefalia posicional, utilizando manufatura aditiva. Para isso, houve uma divisão em 5 fases: planejamento, escaneamento, modelagem, impressão 3D e revestimento.

Na primeira fase, após a busca de dados, constatou-se os benefícios do capacete, como um tratamento não invasivo e seus elevados valores no mercado. Essas informações foram essenciais para a realização do planejamento, visto que, a partir delas, foi possível entender quais os aspectos que ocasionam as deformidades, os métodos atuais para a sua reversão, as manutenções feitas no equipamento, sua durabilidade e formas de escaneamento mais eficientes. Nessa mesma fase, também se notou a necessidade da personalização do equipamento, que deve ser projetado de acordo com as medidas do usuário.

Na etapa de escaneamento, optou-se pelo método mais simples e que garantisse boa precisão, o qual foi viabilizado pela câmera de um smartphone Iphone 11. A partir do escaneamento foi possível a produção do molde da região cefálica, sendo imprescindível para a modelagem do protótipo e definição das escalas para a impressão 3D.

Já na fase 3, as imagens escaneadas foram importadas para o software Fusion 360 (figura 2), onde foi feita a modelagem da órtese, contornando o formato do crânio escaneado e buscando assemelhar-se à forma das órteses para PP existentes no mercado (figura 3). Além disso, o modelo contou com um furo na região superior da órtese e a espessura utilizada foi de 1 mm em toda a peça. De modo geral, a modelagem executada no software Fusion 360 desenvolveu-se de forma rápida, possibilitando alterações posteriores sem custos adicionais.

Figura 2 - Imagem importada do Fusion 360

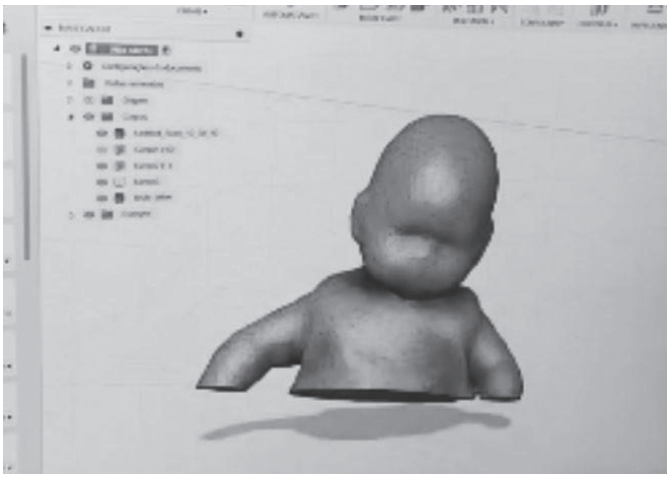
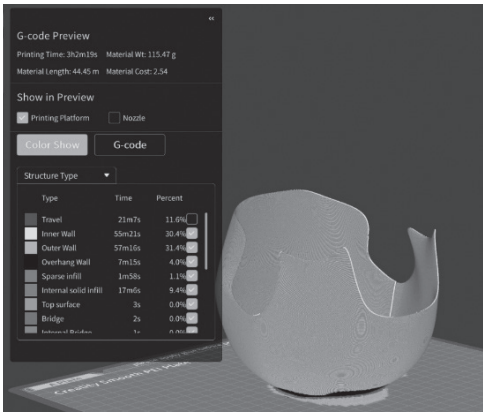


Figura 3 - Órtese modelada



Ressalta-se que, na modelagem, a abertura realizada na parte superior do capacete, buscou permitir a circulação de ar. Outrossim, foi realizada uma fenda com travas, em uma das laterais, adicionando um elástico resistente, de modo a possibilitar que a órtese pudesse acompanhar a expansão do crânio, sem afetar sua funcionalidade de compressão.

A impressão 3D proporcionou um objeto consideravelmente leve (162 gramas) e de rápida produção (3 horas 2 minutos 19 segundos), além de ter um custo reduzido (Tabela 1), especialmente quando comparado aos valores ofertados no ambiente comercial. Ao realizar uma pesquisa de mercado, encontrou-se valores que chegam até R$ 5.775,00.

No total foram gastos 108 gramas de filamento terpoliéster semi flexível com enxertos de carbono, que tem como aspectos a durabilidade e estabilidade, além de proporcionar um acabamento satisfatório. Por conseguinte, garantindo um equipamento com rigidez adequada, de forma a resistir a pressões leves e proporcionar espaço nos locais abaulados, guiando o crescimento encefálico corretamente e impedindo o aumento das regiões protuberantes.

Tabela 01 - Custo da Órtese Craniana produzida

Materiais e equipamentos	Quantidade	Preço total (R$)
Folha de EVA 400x600x3mm	1 uni	0,84
Impressão 3D	-	49,00
Total	-	49,84

No que tange ao revestimento, esse processo ocorreu manualmente, utilizando etileno acetato de vinila (EVA) (figura 4). Foi utilizado velcro para a fixação do EVA na órtese, com o intuito de promover o encaixe entre eles, facilitando a retirada para higienização da área de contato com a pele e realização de possíveis modificações na espessura. Vale destacar que ele ocorreu de forma uniforme em toda a órtese, porém a espessura do revestimento pode variar de acordo com a deformidade e sua localidade. Por fim, a órtese finalizada (Figura 5) foi posicionada na boneca (Figura 6).

Figura 4 - Posicionamento do velcro no EVA e no capacete



Figura 5 - Órtese finalizada

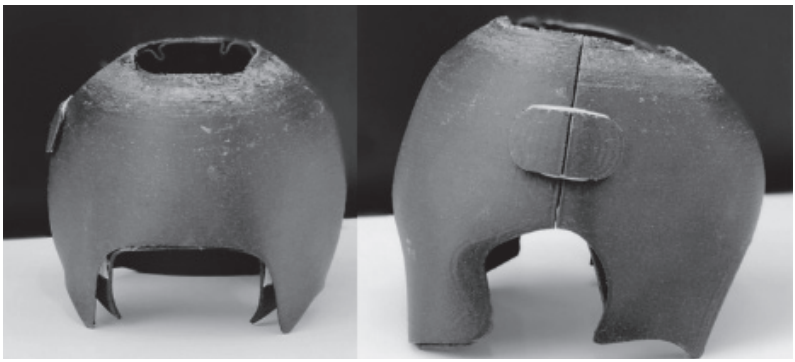


Figura 6 - Órtese posicionada na boneca



4. DISCUSSÃO

A Órtese Craniana (capacete) promove melhora da assimetria craniana em crianças com plagiocefalia posicional (TAMBER, 2016, p. 663), sendo de alta relevância o seu uso. Como enfatizado (KLUBA, *et al.*, 2011, p. 497) o início da terapia com o capacete é um fator de suma importância que reflete no resultado, sendo que em casos graves, o adiamento do uso pode desencadear situações irreversíveis. Em uma pesquisa (JUNN, *et al.*, 2022, p. 457), foi identificado que grupos com maior vulnerabilidade socioeconômica possuem menor probabilidade de conseguirem órteses cranianas ou conseguem de forma tardia, afetando o tratamento. Logo, nota-se que os elevados valores das órteses se configuram como verdadeiras barreiras para o tratamento de bebês com PP.

Nesse contexto, identifica-se a extrema importância de se viabilizar e aplicar métodos de produção de baixo custo, como a empregada neste estudo, utilizando os métodos de escaneamento, modelagem e impressão 3D, para que a

população mais vulnerável socioeconomicamente, consiga ter acesso a produtos de saúde dos quais necessitam.

A manufatura aditiva é um método que proporciona maior sustentabilidade e redução de custos, na medida que há pouco desperdício de material, os resíduos da produção podem ser reaproveitados, não é necessário despesas com estoques de armazenamento e não possui fases de montagem (CALIGNANO, MERCURIO, 2023, p. 8). Outrossim, a AM além de demonstrar eficiência, revela-se uma potencialidade para produções de tecnologias assistivas em grande escala e com custos reduzidos, acarretando produtos mais acessíveis.

No que concerne a órtese craniana, o conforto e a modelagem também são fatores fundamentais, visto que o dispositivo deve-se ajustar as proeminências do crânio do bebê, de modo que ocorra uma aplicação de forças nessas regiões, e o crescimento craniano seja direcionado para as regiões com deformidades, proporcionando a correção (PICART, *et al.*, 2019, p. 103; SCHREEN; MATARAZZO, 2012, p. 117).

Entretanto, embora este estudo tenha alcançado o seu objetivo, apresenta limitações por utilizar como modelo uma boneca, sem a realização de testes em indivíduo com PP. Dessa forma, torna-se de extrema importância um novo estudo com ensaios clínicos para analisar a eficácia do modelo de órtese craniana desenvolvido.

5. CONCLUSÕES

Em suma, o presente estudo buscou desenvolver uma órtese craniana para tratamento de plagiocefalia posicional, utilizando a manufatura aditiva, de modo a produzir um dispositivo mais acessível e avaliar a viabilidade deste método, alcançando o seu objetivo, visto que o método utilizado propiciou a construção do dispositivo com custos, quantidade de materiais e tempo de produção baixos, obtendo resultados satisfatórios.

A impressão 3D demonstrou ser um método eficiente em diversos aspectos, principalmente, no que tange a redução de valores, que é um dos fatores principais para se oferecer produtos de fácil obtenção. Outrossim, enfatiza-se a necessidade emergente de novas investigações, para que se amplie a quantidade de órteses e próteses produzidas por métodos que possibilitem a fabricação de dispositivos com valores acessíveis para a sociedade, principalmente, para os grupos mais vulneráveis socioeconomicamente.

Por fim, este estudo é um fomentador para novas investigações com ensaios clínicos, de modo a testar a eficácia do produto construído, gerando novas percepções sobre o desenvolvimento de tecnologias assistivas de baixo custo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) pelo financiamento, viabilizando o desenvolvimento do presente estudo.

REFERÊNCIAS

ARGENTA, L. Clinical Classification of Positional Plagiocephaly. The Journal of Craniofacial Surgery, [s/l], v. 15, n. 3, p. 368-372, Mai. 2004.

ALPEROVICH, M. Disparities in Access to Cranial Remodeling Orthosis for Deformational Plagiocephaly. The Cleft Palate Craniofacial Journal, [s/l], v. 60, n. 4, p. 454-460, Abr. 2023.

BIALOCERKOWSKI, A. E.; VLADUSIC, S. L.; NG, C. W. Prevalence, risk factors, and natural history of positional plagiocephaly: a systematic review. Developmental Medicine & Child Neurology, v. 50, n. 8, p. 577-586, Ago. 2008.

CALIGNANO, F.; MERCURIO, V. An overview of the impact of additive manufacturing on supply chain, reshoring, and sustainability. Cleaner Logistics and Supply Chain, [s/l], v. 7, n. 100103, p. 1-10, Jun. 2023.CHOO Y. J.; BOUDIER-REVÉRET M.; CHANG M. C. 3D printing technology applied to orthosis manufacturing: narrative review. Annals of Palliative Medicine. [s/l], v. 9, n. 6, p. 4262-4270, Nov. 2020.

CUMMINGS, C. Positional plagiocephaly. Paediatr Child Health, [s/l], v. 16, n. 8, p. 493-494, Out. 2011.

HUTCHISON, B. L.; HUTCHISON, L. A. D.; THOMPSON, J. M. D.; MITCHELL, E. A. Plagiocephaly and brachycephaly in the first two years of life: a prospective cohort study. Pediatrics, [s/l], v. 114, n. 4, p. 970-979, Out. 2004.

JUNN, A.; DINIS, J.; LONG, A.; HAUC, S.; PHILLIPS, S.; JUNN, A. J.; REATEGUI, A.; LOPEZ, J.; PERSING, J. A.;

ALPEROVICH, M. Disparities in Access to Cranial Remodeling Orthosis for Deformational Plagiocephaly. The Cleft Palate Craniofacial Journal, [s/l], v. 60, n. 4, p. 454-460, Abr. 2023.

KLOSE, V. B.; DUPRÉ, M. L. I.; FERREIRA, A. Z. Consideraciones actuales en el abordaje de la plagiocefalia posicional. Andes Pediatrica, [s/l], v. 94, n. 2, p. 134-143, Fev. 2023.

KLUBA, S.; KRAUT, W.; REINERT, S.; KRIMMEL, M. What is the optimal time to start helmet therapy in positional plagiocephaly?. Plast and Reconstructive Surgery, [s/l], v. 128, n. 2, p. 492-498, Ago. 2011.

LAMBERTA, L. K.; MURRAY, T. R.; GEHRED, A.; WEISLEDER, P. Helmet Therapy for Positional Plagiocephaly: A Systematic Review of the Tools Used to Diagnose, Offer Treatment Recommendations, and Assess Treatment Outcomes of the Condition. Pediatric Neurology, [*s. l.*], v. 161, p. 125-131, Dez. 2024. NGO, Tuan D.; KASHANI , A.; IMBALZANO, G.; NGUYEN, K. T.Q.; HUI, D. Additive manufacturing (3D printing):A review of materials, methods, applications and challenges. Composites Part B: Engineering, [*s. l.*], v. 143, p. 172-196, 2018.

PICART, T.; BEURIAT, P. A.; SZATHMARI, A.; ROCCO, F.; MOTTOLESE, C. Positional cranial deformation in children: A plea for the efficacy of the cranial helmet in children. Neurochirurgie, [s/l], v. 66, n. 2, p. 102-109, Abr. 2020.

POPISTER, F.; DRAGOMIR, M.; CIUDIN, P.; GOIA, H. S. Empowering Rehabilitation: Design and Structural Analysis of a Low-Cost 3D-Printed Smart Orthosis. Polymers, Basileia, v. 16, n. 10, p. 1-16, Maio. 2024.

ROGERS, G. F. Deformational Plagiocephaly, Brachycephaly, and Scaphocephaly. Part II: Prevention and Treatment. The Journal of Craniofacial Surgery, [s/l], v. 22, n. 1, p. 17-23, Jan. 2011.

SANTOS, G. J. B.; GOBBO JUNIOR, O. Desenvolvimento de uma órtese ajustável para o tratamento da plagiocefalia posicional. 2016. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

SCHREEN, G.; MATARAZZO, C. G. Tratamento de plagiocefalia e braquicefalia posicionais com órtese craniana: estudo de caso. Einstein, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 114-118, Mar. 2013.

TAMBER, M. S.; NIKAS, D.; BEIER, A.; BAIRD, L. C.; BAUER, D. F.; DURHAM, S.; KLIMO, P. J.; LIN, A. Y.; MAZZOLA,

C.; SMITH, M. C. C.; MITCHELL, L.; TYAGI, R.; FLANNERY, A. M. Guidelines: Congress of Neurological Surgeons Systematic Review and Evidence-Based Guideline on the Role of Cranial Molding Orthosis (Helmet) Therapy for Patients With Positional Plagiocephaly. Neurosurgery, [s/l], v. 79, n. 5, p. 632-633, Nov. 2016.

Protótipo de prótese de mão robótica impressa em 3D com sistema de detecção tátil

Naves, Mariana Pedroso*[1]; Campos, Daniel Prado[2]

1 – Curso de Bacharelado em Engenharia de Computação, UTFPR, mnaves@alunos.utfpr.edu.br

2 – Programa de Engenharia da Computação/COENC e Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica (PPGEB), UTFPR, daniel.campos.utfpr@gmail.com

*-Correspondência: Rua Denhei Kanashiro, 133 - Ap.302 BLOCO 2 - DOM ANGELO 2, Jardim Aeroporto, Apucarana, Paraná, Brasil, 86812-600.

DOI 10.52050/9788579177149-09

RESUMO

As mãos robóticas são alternativas para amputações ou deformidades congênitas, com o objetivo de restaurar a funcionalidade do membro e promover autonomia. Este estudo visou o desenvolvimento de um protótipo de mão robótica capaz de realizar movimentos básicos e avaliar a sensibilidade ao toque. O protótipo foi impresso em PLA por impressão 3D, integrando sensores de efeito Hall nas pontas dos dedos para o sensoriamento tátil, servomotores para movimentação articular e controle via microcontrolador Arduino Uno. Os testes demonstraram que, apesar do movimento limitado, a resposta tátil foi satisfatória. Conclui-se que este projeto contribui para o estudo de sensores e próteses acessíveis.
Palavras-chave: mão robótica, impressão 3D, retorno háptico.

ABSTRACT

Robotic hands are alternatives for amputations or congenital deformities, aiming to restore limb functionality and promote autonomy. This study aimed to develop a robotic hand prototype capable of performing basic movements and evaluating touch sensitivity. The prototype was 3D printed using PLA and integrated Hall effect sensors at the fingertips for tactile sensing, servomotors for joint movement, and an Arduino Uno microcontroller for control. The tests showed that, despite limited movement, the tactile response was satisfactory. It's concluded that this project contributes to the study of accessible sensors and prosthetic devices.
Keywords: *robotic hand, 3D printing, haptic feedback.*

1. INTRODUÇÃO

A perda de um membro, seja parcial ou total, não se trata apenas da perda física, mas também de inúmeros aspectos que compõem a individualidade da pessoa (PILLET; DIDIERJEAN-PILLET, 2001). A amputação compromete a autonomia, a autoconfiança e a autoestima do indivíduo, que muitas vezes se vê incapaz de realizar atividades simples do cotidiano, como pegar um copo d'água ou segurar os talheres para se alimentar (SEREN; DE TILIO, 2014). Em 2020, estimava-se que cerca de 1.500 amputações de membros superiores (MMSS) ocorriam anualmente no Brasil (JORGE, 2020). Apesar de esse dado já estar desatualizado, a escassez de pesquisas atualizadas sobre amputações de MMSS no país dificulta a compreensão da real demanda por próteses de mão. Ademais, a obtenção de uma prótese por meio do Sistema Único de Saúde (SUS) ainda não é garantida a todos que a necessitam e os custos de aquisição no setor privado são elevados, tornando esse recurso inacessível para grande parte da população (FAVERO, 2023).

Com o avanço da tecnologia, a manufatura aditiva, popularmente conhecida como impressão 3D, consolidou-se como uma ferramenta promissora na criação de próteses mais acessíveis ao público. Aliada à ampla disponibilidade de componentes eletrônicos de baixo custo no mercado, a impressão 3D viabiliza o desenvolvimento dos equipamentos protéticos que desempenham as funções básicas da mão e que são financeiramente acessíveis para pessoas que os necessitam.

Existem plataformas *open source* que disponibilizam modelos protéticos prontos para impressão e personalização, como o InMoov (INMOOV, 2012) e o Hackberry (EXIII, 2015), permitindo que pesquisadores, profissionais e entusiastas desenvolvam. Esses modelos podem ser fabricados com diferentes tipos de materiais utilizados na impressão 3D, como PLA, ABS e PETG, viabilizando economicamente a produção do produto.

Acerca desses insumos, o ácido polilático (PLA) é o filamento mais comum. Trata-se de um poliéster biodegradável, compostável, reciclável, caracterizado pelo seu valor acessível, fácil impressão, permitindo uma produção mais rápida e bom acabamento para as peças (Junior; Mello; Imenes, 2016). Por outro lado, a acrilonitrila butadieno estireno (ABS) apresenta resistência mecânica e térmica superiores ao PLA. Entretanto, esse filamento apresenta uma contração térmica considerável durante o resfriamento, de modo que, para a impressão, é necessário uma impressora com laterais fechadas para garantir o controle da temperatura interna (Romero, 2020). Por fim, o tereftalato de polietileno glicol (PETG) é um filamento também de baixo custo, com resistência superior à do PLA nos aspectos: mecânico, químico e térmico. Usa-se o PETG na construção de

peças mecânicas, pois possui maior resistência e maior facilidade de impressão ao ser comparado com o ABS (Romero, 2020).

Atualmente, existem diversas próteses no mercado que utilizam diferentes tipos de sensores. No entanto, o protótipo desenvolvido neste projeto incorpora um sistema desensoriamento tátil baseado em sensores magnéticos de efeito Hall. Esses sensores operam com base na detecção de campos magnéticos gerados por ímãs, dessa forma, quando um ímã se aproxima do sensor, resulta-se em uma variação na tensão de saída. Essa variação pode ser utilizada para identificar a proximidade ou a pressão aplicada em determinadas regiões, funcionando como um mecanismo de detecção de toque ou força (JUNIOR et al, 2020; INMOOV, 2012). A sensibilidade e a resposta rápida desse tipo de sensor o tornam uma alternativa financeiramente acessível com desempenho adequado para aplicações em próteses que buscam incorporar algum nível de retorno sensorial ou controle baseado na interação com o meio.

A bibliografia foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho, especialmente o material disponibilizado pelo projeto InMoov, que oferece um passo a passo detalhado para a construção (INMOOV, 2012). O protótipo desenvolvido é voltado para amputações do metacarpo, ou seja, aquelas que ocorrem na mão, embora também possa ser adaptado para amputação transradial. Diferentemente de muitas próteses que posicionam os atuadores no antebraço, assim como o material proposto pelo InMoov, este modelo, em particular, posiciona os atuadores no dorso da mão robótica.

O principal objetivo deste estudo, portanto, é desenvolver um protótipo de prótese de mão capaz de fornecer sensação tátil por meio de retorno háptico, contribuindo para o avanço das pesquisas na área. Além disso, o trabalho visa analisar o desempenho do sistema de sensoriamento tátil implementado, bem como avaliar a amplitude de movimento do modelo impresso.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Em primeira instância, o *design* do protótipo da prótese foi obtido por meio da plataforma *open source* InMoov, sendo o *Hand i2* (INMOOV, 2025) como referência inicial. Todas as peças da mão, antebraço, punho e moldes dos dedos foram impressas com PLA, enquanto as pontas dos dedos foram confeccionadas em borracha de silicone. Contudo, este projeto apresenta diferenças estruturais e funcionais relevantes em relação ao modelo original, quanto aos atuadores e montagem.

Para os atuadores, este trabalho fez uso de servomotores do modelo MG996R de 180°. Ele apresenta engrenagens metálicas, garantindo uma resistência mecânica adequada para aplicações que exigem força moderada. Segundo o

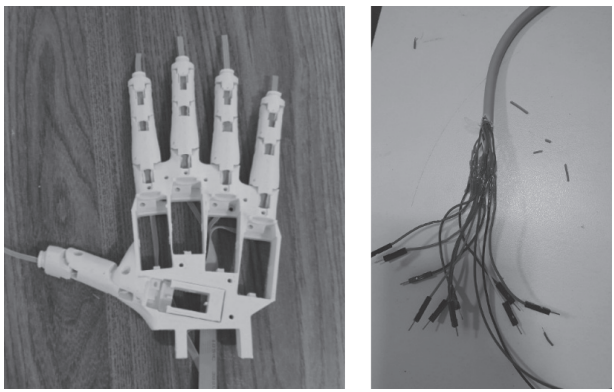
datasheet da Tower Pro (s.d), este modelo fornece um torque de até 9,4 kgf·cm operando a 4,8 V e 11 kgf·cm a 6 V, o que o torna apropriado para acionar os dedos da prótese. Dessa forma, foram utilizados cinco servomotores, um para cada dedo da prótese, fixados no dorso da mão, dispensando a necessidade de suportes adicionais.

O modelo proposto pelo InMoov sugere o posicionamento dos servomotores no antebraço, em vez do dorso da mão. Caso se opte por instalá-los no dorso, o próprio tutorial propõe a impressão de um suporte adicional para acomodar servomotores menores, do modelo MG90S. No entanto, o modelo desenvolvido neste trabalho diverge dessa abordagem: os atuadores maiores foram posicionados diretamente no dorso da mão robótica, sem a necessidade de suportes adicionais. Assim, a montagem do protótipo foi realizada em três etapas principais: instalação da fiação para conexão dos sensores, simulação dos tendões nos dedos e fixação dos sensores táteis.

A conexão dos sensores táteis foi realizada utilizando um cabo flat de 10 vias, o qual foi segmentado para permitir as ligações individuais dos terminais terra (também conhecido pela sigla GND, que se refere ao termo em inglês: *Ground*), saída (denominado em inglês por OUTPUT) e tensão de alimentação (conhecido por VCC, do inglês *Voltage Common Collector*) de cada sensor de efeito Hall, conforme ilustrado na Figura 1(a).

Adicionalmente, a interligação entre os demais componentes do protótipo, incluindo atuadores e sensores, com o microcontrolador foi feita por meio de um cabo manga blindado de 12 vias, presente na Figura 1(b). Esse tipo de cabeamento foi escolhido por sua capacidade de minimizar interferências eletromagnéticas, assegurando a estabilidade elétrica e menor ruído na transmissão dos sinais.

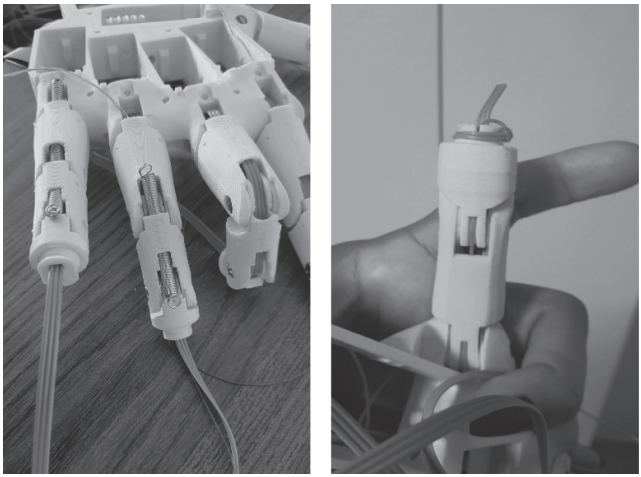
Figura 01 - Cabo flat acoplado no protótipo (a); Junção de todos os fios do sistema através do cabo manga (b).



(a) (b)

Para a simulação dos tendões dos dedos foram utilizadas molas e linhas. As cinco molas, com dimensões de 4,5 x 44,5 mm, auxiliam na movimentação dos dedos e garantem o retorno à posição original após qualquer movimento, ilustrada na Figura 2(a). Para a tração, foi utilizada uma linha de polietileno, conhecida como linha de pedreiro, escolhida por sua alta resistência mecânica e durabilidade, presente na Figura 2(b). Essa linha foi acoplada entre os servomotores e as falanges dos dedos, transmitindo o movimento gerado pelos servomotores.

Figura 02 - Molas utilizadas (a); Linha de polietileno para a tração (b).



(a) (b)

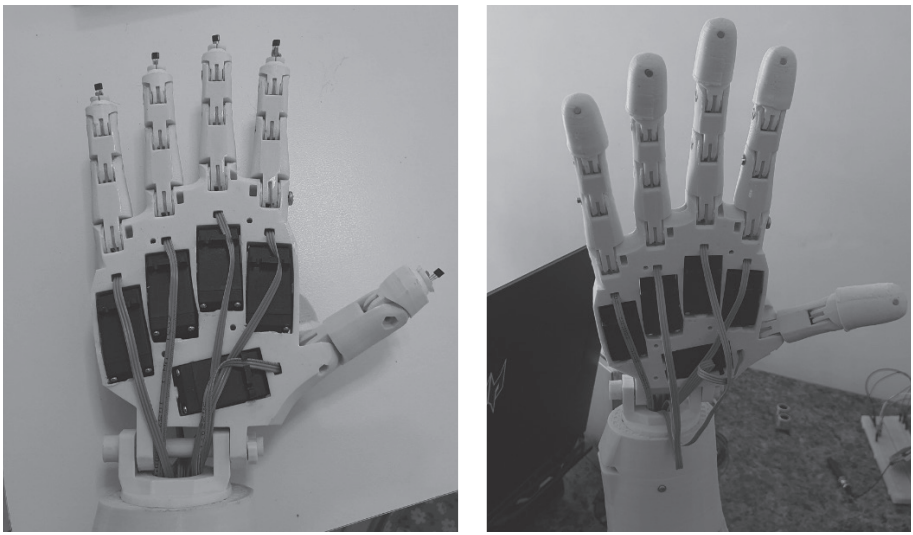
Para o sensoriamento tátil, como apresentado na Figura 3(a), foram utilizados cinco sensores magnéticos de efeito Hall do modelo AH3503, instalados nas extremidades dos dedos do protótipo. Esses sensores foram escolhidos por apresentarem baixo custo e fácil integração com microcontroladores.

As pontas dos dedos foram confeccionadas em uma borracha de silicone diferente da sugerida pelo projeto InMoov, embora tenham sido utilizados os moldes originais impressos em 3D também em PLA no formato das falanges distais, disponibilizados pela própria plataforma. A mistura para a confecção foi preparada utilizando borracha de silicone e 40 gotas de catalisador. Em seguida, o material foi vertido nos moldes e deixado em repouso à temperatura ambiente por cerca de 24 horas até ficar pronto. Após esse período, as pontas de silicone foram removidas dos moldes e, com o auxílio de uma retífica, foi realizado um pequeno furo central em cada uma delas para o encaixe externo dos ímãs. Por fim, as pontas de silicone foram fixadas nos dedos da prótese.

Pequenos ímãs cilíndricos de neodímio (3 mm × 2 mm) foram inseridos manualmente nos furos realizados nas pontas de silicone, posicionados de forma alinhada com os sensores de efeito Hall instalados na estrutura rígida dos dedos, ilustrado na Figura 3(b). Essa configuração garante que, ao pressionar qualquer dedo, o ímã se aproxima do sensor, gerando uma variação no campo magnético detectável.

Dessa forma, essa variação de campo é convertida em um sinal analógico, que é enviado à placa Arduino Uno, a qual realiza a leitura por meio de seus pinos de entrada analógica. A interpretação dos dados é feita por meio do Ambiente de Desenvolvimento Integrado Arduino (IDE Arduino), utilizando a ferramenta *Serial Plotter*, que permite a visualização em tempo real da resposta tátil. Assim, o sistema é capaz de identificar o momento do toque e fornecer um *feedback* tátil.

Figura 03 - Sensores magnéticos de efeito Hall AH3503 acoplados (a); Ímãs acoplados nas pontas dos dedos de silicone (b).



(a) (b)

Para a configuração dos movimentos, utilizou-se também o Arduino Uno, para controlar os servomotores. O Arduino envia sinais elétricos por meio de uma técnica chamada PWM (do inglês *Pulse Width Modulation*, ou modulação por largura de pulso), que permite determinar a posição angular do eixo do servomotor. A variação da largura desses pulsos define o ângulo em que o motor deve alcançar, possibilitando movimentos controlados, como girar para a direita, para a esquerda ou permanecer em uma posição específica. Desse modo, o movimento de rotação

dos servomotores puxa a linha de polietileno, que consequentemente comprime a mola, permitindo a flexão do dedo.

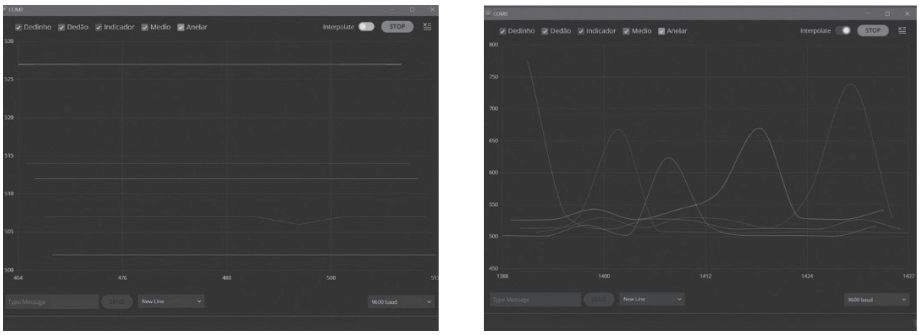
Considerando a complexidade envolvida na construção do protótipo, foi elaborado um tutorial (MEDIUM, 2024) que descreve, de forma detalhada, todas as etapas de montagem, conexão dos componentes e configuração do sistema.

3. RESULTADOS

Os testes realizados demonstraram movimentos funcionais e independentes de cada dedo da prótese. Os sensores magnéticos de efeito Hall foram capazes de fornecer *feedback* tátil a partir do toque, com os sinais sendo analisados em tempo real por meio da ferramenta *Serial Plotter* do Ambiente de Desenvolvimento Integrado Arduino (IDEArduino).

Durante os testes, os dedos foram observados inicialmente em repouso, presente na Figura 4(a) e, em seguida, pressionados fisicamente, um a um, para verificar a resposta dos sensores, conforme ilustrado na Figura 4(b). Adicionalmente, também foi testada a aproximação de um ímã maior externo aos sensores, com o objetivo de validar a detecção do campo magnético de forma controlada e perceber a variação do campo, obtendo o mesmo resultado satisfatório. Para complementar a análise, foi montado um circuito simples com LEDs que acendiam sempre que o ímã era pressionado contra o dedo, evidenciando a funcionalidade do sistema de detecção tátil.

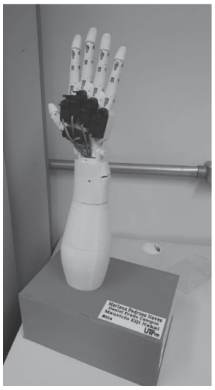
Figura 04 - Repouso, sem pressionar os dedos (a); Retorno háptico por meio do pressionamento dos dedos (b).

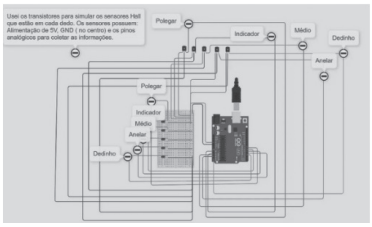


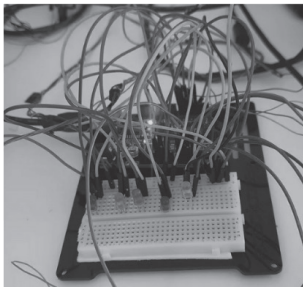
(a) (b)

A Figura 5(a) apresenta o protótipo completo; a Figura 5(b), o circuito simulado referente ao funcionamento dos sensores; e a Figura 5(c), o circuito físico implementado. Além disso, o tempo de impressão no processo de fabricação de todas as peças em PLA levou mais de 70 horas.

Figura 05- Protótipo completo (a); Circuito simulado (b); Circuito físico implementado (c).







(a) (b) (c)

Importante a ressalva de que o tutorial do projeto InMoov sugere a inserção do ímã diretamente na parte interna da ponta dos dedos, incorporado ao molde de silicone. Esse experimento foi realizado, porém observou-se que a distância entre o ímã interno e o sensor de efeito Hall era muito pequena, resultando em quase nenhuma variação no campo magnético detectado. Essa baixa amplitude do sinal impediu uma resposta sensorial satisfatória.

Diante disso, optou-se por posicionar os ímãs externamente às pontas dos dedos, alinhados com os sensores. Essa nova configuração aumentou a variação do campo magnético durante o toque, permitindo uma melhor captação, de modo a aprimorar o retorno háptico quando os dedos são pressionados.

Apesar dos resultados satisfatórios, o protótipo apresentou limitações em relação à preensão de objetos, especialmente aqueles com formato cilíndrico e circular, não conseguindo segurá-los. Além disso, o silicone utilizado nas pontas dos dedos mostrou-se excessivamente maleável, o que comprometeria a firmeza necessária para a resposta tátil se caso o protótipo segurasse algo.

Para estudos futuros, recomenda-se a utilização de um tipo de silicone com maior rigidez, que mantenha a sensibilidade ao toque. Também sugere-se a remodelagem do protótipo, com o reposicionamento do polegar de forma mais anatômica, de modo a melhorar o agarre e permitir preensões mais funcionais.

Outras melhorias incluem a implementação de algoritmos de calibração automática para adaptar o sistema às variações de força entre diferentes usuários. Além disso, a integração com algoritmos de aprendizado de máquina pode permitir o reconhecimento de padrões de toque juntamente com a integração de sinais mioelétricos (EMG) que podem ampliar as funcionalidades da prótese em aplicações de uso diário.

4. DISCUSSÃO

O modelo proposto, Hand i2 (INMOOV, 2025), de fato não apresenta características anatômicas, apresentando limitações de movimento, especialmente no polegar, o que compromete a preensão de certos objetos. No entanto, a escolha por esse modelo se deu por sua ampla documentação *open-source*, incluindo tutoriais detalhados, arquivos prontos para impressão 3D e uma comunidade ativa, o que facilitou a montagem e a replicação do projeto.

Apesar dessas restrições estruturais, o modelo permitiu a análise prática da integração entre sensores táteis de efeito Hall e atuadores, possibilitando a investigação da funcionalidade e sensibilidade do sistema de forma experimental. Assim, apesar de suas limitações, o Hand i2 representou uma excelente base para estudo e identificação de melhorias para versões futuras mais próximas da anatomia real.

Outro aspecto relevante diz respeito à escolha dos atuadores MG996R, que possuem rotação limitada a 180°. Para permitir o fechamento completo da mão e melhorar a preensão de alguns objetos, seriam mais apropriados servomotores com rotação de 360°. Em síntese, a limitação angular dos atuadores utilizados também comprometeu o desempenho do protótipo impossibilitando o fechamento completo dos dedos.

Inicialmente, foi considerado o uso dos motores MG90S, menores e recomendados no tutorial original do InMoov. No entanto, durante os testes, verificou-se que esses motores não forneciam torque suficiente para movimentar os dedos do protótipo. Ao tracionar os tendões artificiais, os MG90S eram excessivamente forçados, o que poderia levar à queima dos motores. Além disso, sua utilização exigia suportes adicionais para acoplá-los no protótipo. Diante disso, optou-se pelos motores MG996R, que dispensaram essas modificações e apresentaram melhor desempenho, apesar da limitação angular de 180° mencionada anteriormente.

Em relação à coleta de dados, foram identificadas pequenas imprecisões na resposta dos sensores de efeito Hall, com atrasos no retorno háptico. Esses atrasos podem ter sido causados por interferências na fiação, nas conexões por solda ou na instabilidade do circuito montado. Para futuras implementações, recomenda-se o desenvolvimento de uma placa de circuito impresso (conhecida por PCB, do inglês *Printed Circuit Board*), a fim de garantir maior estabilidade elétrica e precisão na leitura dos sinais. Além disso, a substituição da placa de desenvolvimento Arduino pelo ESP32 pode contribuir para a redução da latência e o aprimoramento geral da resposta do sistema.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho propôs e desenvolveu um protótipo de prótese de mão baseado em impressão 3D, controlado por um microcontrolador Arduino Uno, alimentado por uma fonte externa de 200 W com saída de 5 V/17 A. O sistema permitiu a flexão simultânea dos dedos, com cinco graus de liberdade e um ângulo de movimentação limitado a 180º, determinado pelos servomotores MG996R.

Embora o sistema tenha apresentado retorno háptico ao toque, por meio de sensores de efeito Hall, houve desafios, como a pequena distância entre o ímã e o silicone incorporados aos dedos, além de possíveis interferências estruturais. A limitação dos motores de angulação de 180º também impediu o fechamento completo da mão, dificultando a validação da preensão de objetos em situações cotidianas.

Apesar dessas limitações, o projeto contribui significativamente para a democratização da tecnologia assistiva, ao adotar uma abordagem de código aberto e fabricação acessível por impressão 3D, pois se alinha a iniciativas, como o projeto InMoov, no desenvolvimento de soluções acessíveis e personalizáveis na área de engenharia biomédica.

Para estudos futuros, recomenda-se a reformulação do protótipo de modo a possibilitar a apreensão de objetos, permitindo validar seu desempenho funcional esensorial em contextos reais. Além disso, sugere-se a substituição dos servomotores por modelos com rotação de 360º, o que permitiria uma melhor amplitude nos movimentos. Propõe-se também a integração de sinais mioelétricos (EMG) como forma de controle sensorial, ampliando a funcionalidade, a naturalidade dos movimentos e a resposta adaptativa da prótese. Recomenda-se também o desenvolvimento de algoritmos de calibração e o uso de técnicas de aprendizado de máquina para o reconhecimento de padrões de toque, tornando o sistema mais responsivo. Tais aprimoramentos têm o potencial de elevar o protótipo a um novo patamar de aplicabilidade prática e usabilidade clínica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à instituição de ensino superior pela oportunidade de realizar este projeto em uma Iniciação Científica interdisciplinar, assim como ao orientador pelo apoio e orientação durante o desenvolvimento deste trabalho, pois sem ele esse projeto não existiria.

REFERÊNCIAS

EXIII. *HACKberry*. 2015. Disponível em: http://exiii-hackberry.com/. Acesso em: 08 de jun. 2025.

FAVERO, R. *Pacientes não têm garantia de acesso a próteses, órteses e outros equipamentos por meio do SUS em 2023*. 2023. Site Gaúcha Zero Hora (GZH). Disponível em: https://gauchazh.clicrbs.com.br/. Acesso em: 11 mar. 2025.

INMOOV. *Open Source 3D Printed Life Size Robot.* 2012. Disponível em: https://inmoov.fr/. Acesso em: 08 de jun. 2025.

JORGE, A. R. F. *Dados Epidemiológicos Nacionais de Amputação e Proposta de Dispositivo para Treinamento de Usuários de Próteses de Membro Superior*. 2020. 84 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, 2020.

JUNIOR, E. A.; MELLO, G. A. F. de; IMENES, M. P. *Prótese Mioelétrica para membro superior.* 2016. 100 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) — Universidade São Francisco (UFS), Campinas, 2016.

MEDIUM.*TUTORIAL: Desenvolvimento de um protótipo de uma prótese de uma mão mecânica/robótica.* Disponível em: https://medium.com/@mari.pedrosov/prot%C3%B3tipo-desenvolvimento-de-um-prot%C3%B3tipo-de-uma-pr%C3%B3tese-de-uma-m%C3%A3o-mec%C3%A2nica-rob%C3%B3tica-tutorial-781fd3b58eee. Acesso em: 11 mar. 2025

PILLET, J.; DIDIERJEAN-PILLET, A. *Aesthetic hand prosthesis: gadget or therapy presentation of a new classification.* Journal of Hand Surgery-American Volume, 2001. p. 523-528. Disponível em: https://api.semanticscholar.org/CorpusID:7251693. Acesso em: 10 mar. 2025.

ROMERO, R. C. *Desenvolvimento de prótese passiva para mão humana com sistema mecânico para restaurar movimento dos dedos*. 2020. 155 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Minas Gerais, 2020.SEREN, Renata; DE TILIO, Rafael. *As vivências do luto e seus estágios em pessoas amputadas*. *Revista da SPAGESP*, v. 15, 2014, p. 64-78. Acesso em: 11 mar. 2025.

TOWER PRO. *MG996R High Torque Metal Gear Dual Ball Bearing Servo. Datasheet*, [s.d]. Disponível em: https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R_Tower-Pro.pdf.

Reabilitação do amputado de membro superior usuário de prótese 3D: uma revisão integrativa

Bião, Menilde Araújo Silva[1]; Santos Filho, Eudaldo Francisco[1,2]; Santos, Leandro Brito[3]; Monteiro, Roberto Luiz Souza[4]; Pereira, Hernane Borges de Barros[1,5,6]

1* – Pós-Graduação em Difusão do Conhecimento, IFBA/UFBA/UNEB, menildebiao@gmail.com
2 – Universidade do Estado da Bahia, UNEB, eudaudofilho@gmail.com
3 – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, UFRB, lbsantos@ufrb.edu.br
4 – Universidade Senai CIMATEC, roberto@souzamonteiro.com
5 – Universidade do Estado da Bahia, UNEB, hbbpereira@gmail.com
6 – Universidade Senai CIMATEC, hbbpereira@mail.com
*-Correspondência: Rua Artêmia Pires, 3040, Sim, Feira de Santana, Bahia, Brasil, 44370-000.

DOI 10.52050/9788579177149-10

RESUMO

Este estudo realizou uma revisão integrativa sobre a aplicação da impressão 3D na reabilitação e desenvolvimento de próteses para membros superiores. A metodologia inclui uma questão norteadora, seleção de artigos nas bases de dados da SciELO, Scopus e Web of Science. Foram incluídos nove estudos, cujos resultados demonstraram que a impressão 3D possibilita a fabricação de próteses personalizadas a um custo reduzido em comparação com as alternativas convencionais. Entretanto, os resultados indicam desafios, como limitação da força de preensão, destreza e durabilidade. Recomenda-se estudos com amostras experimentais maiores, uma vez que a maioria dos trabalhos analisados são estudos de caso.
Palavras-chave: impressão 3D, prótese, reabilitação.

ABSTRACT

This study performed an integrative review on the application of 3D printing in rehabilitation and development of upper limb prostheses. The methodology includes a guiding question and selection of articles from the SciELO, Scopus and Web of Science databases. Nine studies were included, whose results demonstrated that 3D printing enables the manufacture of customized prostheses at a reduced cost compared to conventional alternatives. However, the results indicate challenges,

such as limited grip strength, dexterity and durability. Studies with larger experimental samples are recommended, since most of the works analyzed are case studies.
Keywords: *3D printing, prosthesis, rehabilitation.*

1. INTRODUÇÃO

O membro superior é fundamental para a realização das tarefas do dia a dia, sendo essencial para a autonomia e independência de uma pessoa. A perda desse membro vai muito além da limitação funcional, ela afeta diretamente a qualidade de vida e o bem-estar emocional (KURET, et al., 2018, p.4). Além dos desafios físicos, essa mudança pode gerar um impacto profundo na autoimagem, levando a sentimentos de ansiedade e depressão. Essas dificuldades não surgem apenas da condição física em si, mas também são amplificadas por barreiras ambientais e fatores sociais, tornando a adaptação ainda mais complexa e desafiadora (DESTELI, et al.,2014, p.738) O apoio adequado e a construção de um ambiente inclusivo são essenciais para que a pessoa possa ressignificar sua nova realidade e encontrar caminhos para viver com mais qualidade e dignidade.

No Brasil, onde 18,6 milhões de pessoas com 2 anos ou mais possuem deficiência (10,3% no Nordeste), 1,4% relataram dificuldades específicas como pegar objetos ou manipular recipientes, quadro frequente em amputados de membro superior (BRASIL,2022). A amputação, classificada como deficiência física, consiste na remoção parcial ou total de um membro por intervenção cirúrgica (GOMES, SOUZA,2021, p.95), gera impactos funcionais heterogêneos, dependendo de idade, comorbidades, nível de amputação e habilidade motora. Sem prótese, a redução da capacidade funcional é significativa (JORGE, 2020, p.000), reforçando a necessidade de soluções acessíveis.

Nesse contexto, as próteses emergem como recursos fundamentais de Tecnologia Assistiva (TA), pois substituem membros amputados ou com má formação congênita e rompem o ciclo de limitação ao promover igualdade de condições sociais (ALMEIDA, et al., 2019, p.787). No Brasil, seu acesso é garantido pela Lei 13.143/2015 (Estatuto da Pessoa com Deficiência), que assegura acesso a produtos, recursos, estratégias, práticas, processos, métodos e serviços de tecnologia assistiva (Art. 74) (BRASIL, 2019, p.38). Contudo, a produção de próteses convencionais para membros superiores envolve processos de fabricação prolongados, modelos limitados e alta customização (BRASIL, 2019, p.54).

Diante desses desafios, a manufatura aditiva ou impressão 3D consolida-se como alternativa promissora, superando limitações das próteses convencionais ao possibilitar personalização precisa mediante ajustes digitais, fabricação

de geometrias complexas através de projetos *open-source* compartilhados globalmente (GYLLINSKY, et al, 2019, p.205; ZUNIGA, et al, 2019, p.8) e redução significativa no tempo e custo de produção, ampliando o acesso. Contudo, essa inovação enfrenta lacunas críticas: a ausência de diretrizes padronizadas para reabilitação de usuários de próteses 3D e a escassez de estudos robustos sobre sua eficácia clínica, realidade que sobrecarrega as equipes multidisciplinares com incertezas práticas (THOMAS; MUÑECAS, 2022, p.970; TIMM, et al, 2022, p.69).

Para sistematizar essas discussões, foi estabelecida a seguinte questão norteadora: *Quais as vantagens e desvantagens da impressão 3D na confecção de próteses para reabilitação de amputados do membro superior*? A fim de respondê-la, conduziu-se uma revisão integrativa com o objetivo de mapear evidências científicas sobre a utilização dessa tecnologia no desenvolvimento protético para processos reabilitativos, visando subsidiar futuros protocolos clínicos e pesquisas na área.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica, realizada por meio de levantamento de artigos nas bases de dados *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), *Scopus e Web of Science*. Os dados foram coletados em janeiro de 2025 adotando os seguintes critérios de elegibilidade: publicações em português, inglês ou espanhol, artigos publicados entre 2010 a 2024, textos completos e de acesso livre.

Para o gerenciamento das referências, utilizou-se o software Zotero®, que auxiliou na organização dos artigos e identificação de publicações duplicadas. Foram excluídos artigos de conferência, dissertações, teses, livros e duplicadas.

A estratégia de busca foi construída com o objetivo de abranger os principais conceitos relacionados ao tema, garantindo uma recuperação abrangente e precisa da literatura disponível. A combinação de termos controlados e palavras-chave livres foi organizada em blocos temáticos interligados pelo operador booleano AND, assegurando que os resultados incluam necessariamente as dimensões centrais da pesquisa. A estratégia de busca detalhada encontra-se sistematizada no Quadro 1.

Quadro 1 - Estratégia de busca, 2025.

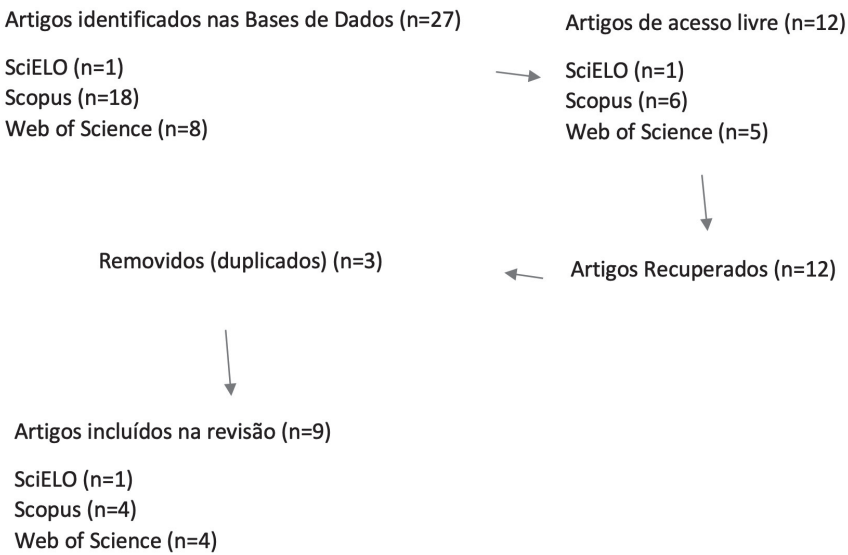
Base de Dados	Estratégia de Busca
SciELO Scopus Web of Science	("3D Printing" OR "Additive Manufacturing") AND ("Amputation" OR "Amputees") AND ("Upper limb" OR "Upper extremity") AND ("Prosthesis" OR "Artificial limb") AND ("Rehabilitation")

Para sistematização das evidências científicas, foi elaborado um mapa conceitual utilizando o *software Cmap Tools*, versão 6.04 (IHMC,2022), ferramenta que possibilita a organização visual de conceitos inter-relacionados.

3. RESULTADOS

Foram identificados 27 artigos nas bases de dados consultadas. Desses, quinze (15) não estavam disponíveis para acesso livre, resultando em um conjunto de doze (12) estudos para análise. Após a verificação da duplicidade em diferentes bases, três (03) artigos foram excluídos, totalizando nove (09) estudos incluídos nesta revisão (Figura 1). Todos os artigos selecionados foram avaliados integralmente, após triagem inicial baseada na adequação dos resumos aos critérios de inclusão previamente estabelecidos.

Figura 01 - Etapas de busca e seleção dos estudos



Os artigos selecionados foram sistematicamente catalogados em um quadro contendo as seguintes informações: autor(es), país de origem, ano de publicação,

periódico de vinculação, fator de impacto da revista e área do conhecimento predominante. Na tabela 1, são apresentados os estudos selecionados.

Tabela 1 - Estudos sobre o uso da impressão 3D para confecção de próteses e reabilitação do membro superior

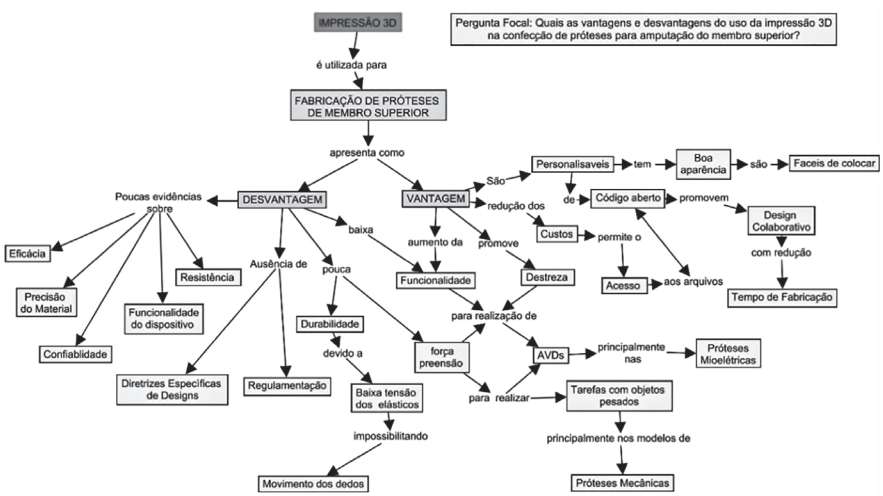
Autores	País	Ano de Publicação	Periódico	Fator de Impacto (JCR) 2023	Áreas do Conhecimento
1.Pereira et al	Brasil	2024	*BMC Musculoskelet. Disord.*	2.2	Reumatologia Ortopedia
2.Raduica et al	Itália	2024	Machine	2.1	Engenharia Mecânica
3.Copeland et al	EUA	2022	*Biomedical Engineering online*	2.9	Engenharia Biomédica
4.Lee et al	Coreia do Sul	2022	Medicine	1.4	Medicina Geral e Interna
5.Morimoto et al	Brasil	2021	Caderno Brasileiro de Terapia Ocupacional	0.6	Saúde Pública, Ocupacional e Ambiental
6.Manero et al	EUA	2019	*International Journal of Environmental Research and Public Health*	4.6	Saúde Pública, Ambiental e Ocupacional
7.Young et al	EUA	2019	*3D Printing in Medicine*	3.2	Radiologia Medicina Nuclear e Imagens Médicas
8.Kate et al	Holanda	2017	*Disabil. Rehabil. Assistive Technol*	1.9	Reabilitação
9.Xu et al	EUA	2017	Medicine	1.4	Medicina Geral e Interna

A investigação teórica revela que o maior potencial de publicação ocorreu em 2022 com três artigos. O país com mais estudos foram os Estados Unidos com quatro publicações, seguido pelo Brasil com dois estudos. Quanto à área do conhecimento das publicações, sete estão relacionadas às ciências da saúde

e duas às engenharias. Os artigos foram publicados em nove periódicos, todos com fator de impacto no Journal Citation Report (JCR) 2023. Os periódicos International Journal of Environmental *Research and Public Health* e 3D *Printing in Medicine* com fator de impacto entre 4.6 e 3.2.

A partir da análise dos artigos, inclinada em responder à pergunta focal "Quais as vantagens e desvantagens da impressão 3D na confecção de próteses para reabilitação de amputados do membro superior?" Foi elaborado um mapa conceitual. Conforme ilustrado na Figura 2, o mapa resultante representa graficamente as interconexões entre esses domínios, destacando tanto evidências consolidadas quanto lacunas no conhecimento sobre reabilitação com próteses 3D para amputados de membros superiores.

Figura 2 - Mapa conceitual sobre as vantagens e desvantagens do uso de impressão 3D na produção de próteses de membros superiores.



4. DISCUSSÃO

A análise dos artigos selecionados destaca os principais aspectos do uso da impressão 3D na reabilitação do amputado de membro superior. O desenvolvimento de próteses através da impressão 3D apresenta vantagens, conforme demonstram Morimoto et al. (2021, p.7), que destacam a redução de custos no desenvolvimento de próteses, em comparação com métodos tradicionais. Particularmente relevante é a observação dos autores de que a impressão 3D tem sido aplicada com maior frequência para o público infantil, que necessita de substituições frequentes de próteses devido ao crescimento.

Manero et al. (2019, p.3) ressalta que a impressão 3D supera barreiras como o crescimento contínuo e elevado custos com a produção, o que é comum em próteses tradicionais, permitindo ajustes rápidos e personalização lúdica (cores, formas).

Contudo, os autores alertam que a maioria das próteses está na fase inicial de desenvolvimento, com estudos predominantemente focados em casos específicos e sem avaliações robustas de eficácia em grandes grupos de amputados com diferentes níveis de amputação do membro superior. Esta limitação é corroborada por Kate et al. (2017, p.12), cuja revisão sistemática de 58 dispositivos identificou lacunas significativas na avaliação de parâmetros como durabilidade e aceitação do usuário em longo prazo. Os autores destacam que, apesar do aumento de projetos envolvendo impressão 3D, as evidências sobre seu desempenho continuam sendo, em grande parte, sem comprovação científica.

Sobre a satisfação do usuário, Coperland et al. (2022, p.9) demonstraram que, embora a prótese impressa em 3D proporcionou melhor desempenho funcional no teste Box and Block, ela teve menor satisfação geral do usuário em comparação com a prótese tradicional. Os aspectos referidos pelo usuário foram a insegurança com relação a durabilidade e eficácia do dispositivo.

Este paradoxo entre funcionalidade e aceitação ressalta a importância de integrar aspectos ergonômicos e estéticos ao processo de design, como ilustrado por Xu et al. (2017, p.3) em seu relato de caso pediátrico. O estudo de Xu et al. (2017, p.3) é revelador ao demonstrar que mesmo uma prótese de baixo custo pode alcançar bons resultados quando combinada com um programa de reabilitação personalizado, sugerindo que o sucesso da impressão 3D depende tanto do dispositivo em si quanto de um programa de reabilitação.

Quanto à customização, Pereira et al. (2024, p.8) destacam que a impressão 3D permite adaptações refinadas em nível individual. Esta vantagem é especialmente relevante quando consideramos as observações de Raduica et al. (2024.p.6) sobre o desenvolvimento de próteses 3D, que podem ser rapidamente ajustadas às necessidades específicas do usuário.

A produção local e sob demanda, destacada em ambos os estudos, representa um avanço significativo na disponibilidade de próteses para membros superiores. Contudo, desafios críticos ainda precisam ser superados. Pereira et al. (2024, p.8) enfatizam a importância de considerar as propriedades mecânicas dos materiais utilizados na impressão 3D, apontando limitações como força, rigidez e resistência das próteses fabricadas. Essas restrições são especialmente preocupantes diante das exigências funcionais dos membros superiores para a realização das atividades diárias, evidenciando a necessidade de aprimoramentos

técnicos e adaptações para garantir maior eficácia e durabilidade das próteses impressas.

Em contrapartida, os estudos de Lee et al., (2022, p.5) e Young et al. (2019, p.7) destacam o potencial da impressão 3D na reabilitação de pacientes com amputações parciais de dedos, enfatizando vantagens como leveza, baixo custo e personalização rápida. Ambos os trabalhos demonstram que próteses impressas em 3D, especialmente as mecânicas, podem oferecer melhora funcional em comparação com dispositivos cosméticos tradicionais. Lee et al., (2022, p.5) observaram que a combinação entre próteses personalizadas e treinamento protético adequado resultou em benefícios, o que corrobora com os achados apresentados por Xu et al. (2017, p.4).

No entanto, os autores alertam para limitações, como a necessidade de validação em amostras maiores (Lee et al,2022, p.5). Apesar desses desafios, os estudos concordam que a impressão 3D representa uma alternativa promissora para democratizar o acesso a próteses, particularmente em regiões carentes. Manero et al. (2019, p.15) destaca a importância da comunidade *maker* no desenvolvimento de soluções inovadoras e de código aberto. Essa abordagem colaborativa não apenas acelera o progresso tecnológico, como também amplia a disponibilidade de dispositivos personalizados, melhorando a acessibilidade de próteses funcionais.

Pesquisas futuras devem focar na efetividade funcional em longo prazo, padronização de designs e integração de tecnologias complementares, como sugerem Raduica et al. (2022, p.11) através da combinação entre impressão 3D a sistemas de sensores, apontando para o desenvolvimento de próteses híbridas com feedback sensorial.

5. CONCLUSÕES

A revisão bibliográfica identificou 27 estudos, dos quais nove atenderam aos critérios de inclusão e foram analisados. Os achados destacam avanços na aplicação da impressão 3D na reabilitação de amputados de membro superior, proporcionando próteses personalizadas, acessíveis e de rápida fabricação, promovendo uma democratização da Tecnologia Assistiva.

Este estudo oferece contribuições expressivas ao demonstrar como a impressão 3D revoluciona a produção de próteses, viabilizando dispositivos altamente customizáveis e economicamente viáveis. Em comparação aos métodos convencionais, essa tecnologia se destaca por permitir a fabricação de geometrias complexas e designs inovadores, impulsionados por plataformas de código aberto, ampliando consideravelmente o acesso a soluções avançadas de reabilitação.

No entanto, os resultados também apontam desafios cruciais que precisam ser superados para consolidar essa inovação na prática clínica. Entre eles, destaca-se a necessidade de estabelecer protocolos de reabilitação integrados ao uso de próteses 3D, otimizar suas propriedades mecânicas e conduzir estudos longitudinais para avaliar sua eficácia clínica e aceitação pelos usuários. O avanço contínuo nessa área não apenas redefine os paradigmas da Tecnologia Assistiva, mas também abre caminho para uma reabilitação mais inclusiva, funcional e acessível.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – [Código de Financiamento 001] pelo apoio financeiro para realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S. M.V.T. et al., Órteses e Próteses e Materiais: Tecnologia Assistiva Fundamental para a Equiparação de oportunidades às Pessoas com Deficiência. In: CONGRESSO DE SECRETÁRIOS MUNICIPAIS DE SAÚDE DO ESTADO DE SÃO PAULO, n. XXX ,2016, São Paulo. Tema da experiência: Redes de Atenção à Saúde. São Paulo: PMSP, 2016.

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

BRASIL, Ministério da Saúde. *Guia para Prescrição, Concessão, Adaptação e Manutenção de Órteses, Próteses e Meios Auxiliares de Locomoção*. Brasília: Ministérios da Saúde, 2019.

BRASIL. Estatuto da Pessoa com Deficiência. Brasília: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portal da Saúde. TabNet DataSUS. 2022. Disponível em: http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=02. Acesso em: 30 nov. 2024.

COPELAND, C. et al. Functional performance and patient satisfaction comparison between a 3D printed and a standard transradial prosthesis: a case report. *BioMedical Engineering OnLine*, v. 21, n. 15, p. 1-12, 2022.

DAVIDS, W; MEYER, B. D. Prosthetic management of children with unilateral congenital below-elbow deficiency. *Journal of Bone and Joint Surgery*, New York, v. 88, p. 1294-1300, 2006.

DESTELI, E. E. et al. Comparison of upper limb amputees and lower limb amputees: A psychosocial perspective. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, Munich, v. 40, p. 735–739, 2014.

GOMES, D.; SOUZA, A. Symbolic aspects of lower limb amputation from the perspective of Jungian psychology. *Revista de Psicologia, Diversidade e Saúde*, Salvador, v. 10, n. 1, p. 94-105, mar. 2021.

GYLLINSKY, V. J, et al. Patient Self-assessment of 3D Printed Upper-extremity Prosthetics. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SMART COMPUTING (SMARTCOMP), Washington. *Patient Self-Assessment of 3D Printed Upper-Extremity Prosthetics*. Washington: IEEE, 2019.

INSTITUTE FOR HUMAN AND MACHINE COGNITION (IHMC). CmapTools (versão 6.04) [Software]. Pensacola, FL: IHMC, 2022. Disponível em: https://cmap.ihmc.us. Acesso em: 03 jan. 2025.

JORGE, A. *Dados epidemiológicos nacionais de amputação e proposta de dispositivo para treinamento de usuários de próteses de membro superior*. 2020. 145 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

KURET, Z. et. al. Adjustment to finger amputation and silicone finger prosthesis use. *Disability and Rehabilitation*, p. 1-6, jan. 2018.

LAKE, C.; DODSON, R. Progressive upper limb prosthetics. P*hysical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, Philadelphia, v. 17, p. 49-72, 2006.

LEE, M. Y. et al. Functional improvement by body-powered 3D-printed prosthesis in patients with finger amputation: two case reports. *Medicine*, Waltham v. 101, n. 25, mar.2022.

LLORENTE, L. et al. Impacto funcional y psicosocial del uso de prótesis de bajo costo en impresión 3D en amputado unilateral de antebrazo: estudio de un caso. *Rehabilitación Integral*, Chile, v. 14, n. 1, p. 16-21, abr. 2019.

LUZA, L. M. et al. Psychosocial and physical adjustments and prosthesis satisfaction in amputees: a systematic review of observational studies. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, Abingdon, v. 15, n. 5, p. 582-589, 2019.

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*, Basle, v. 16, n. 9, p. 3-15, 2019.

MORIMOTO, S. Y. U. et al. Órteses e próteses de membro superior impressas em 3D: uma revisão integrativa. *Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional*, São Carlos, v. 29, p.1-14, 2021.

PEREIRA, J. de S. et al. 3D-printed orthoses and prostheses for people with physical disability in rehabilitation centers: a scoping review. *BMC Musculoskeletal Disorders*, Londres, v. 25, p. 1-10, 2024.

RĂDUICĂ, F. F. et al. A Perspective on Rehabilitation Through Open-Source Low-Cost 3D-Printed Distal to the Wrist Joint Transitional Prosthetics: Towards Autonomous Hybrid Devices. *Machines*, v. 12, p.1-30, 2024.

RIBEIRO, A. A. et al. Impressão 3D e amputação: uma revisão do escopo. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, Abingdon, v. 16, n. 2, p. 221–240, 2019.

THOMAS, A. MUÑECAS, T. A rehabilitation protocol for the use of a 3D-printed prosthetic hand in pediatrics: A case report. *Journal of Hand Therapy*, Miami, p. 967–973, nov. 2022.

TIMM, L. *Design and development of an open-source ADL-compliant prosthetic arm for trans-radial amputees.* 2021. Dissertation (Division of Biomedical Engineering), University of Cape Town, Cape Town, 2021.

Xu, G. et al. Three-dimensional-printed upper limb prosthesis for a child with traumatic amputation of right wrist A Case report. *Medicine*, Waltham, v. 96, n.52, p.1-5,2017.

YOUNG, K. J. et al. Assessment of body-powered 3D printed partial finger prostheses: a case study. *3D Printing in medicine*, v. 5, n. 1, p. 1-8, 2019.

ZUNIGA, J. et al. Functional changes through the usage of 3D-printed transitional prostheses in children. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, Abingdon, v. 14, n. 1, p. 68–74, jan.2019.

Uma Análise do Fluxo de Produção de Órteses por Manufatura Aditiva: Uma Revisão na Literatura

Morona, Álvaro Cacciatori[1]*; Figueiredo, Luiz Fernando Gonçalves[2]*

1 – Departamento de Gestão, Mídias e Tecnologia, UFSC, alvaro.morona@hotmail.com

2 – Departamento de Gestão, Mídias e Tecnologia, UFSC, lff@cce.ufsc.be

* - Correspondência: Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, Trindade, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, 88040-900.

DOI 10.52050/9788579177149-11

RESUMO

Órteses são dispositivos personalizados desenvolvidos para atender necessidades específicas de usuários. A Manufatura Aditiva (MA) surge como um meio para sua produção. Este trabalho analisa o fluxo de fabricação de órteses via MA. Uma Revisão na Literatura de estudos de 2020 a 2025 foi conduzida para avaliar processos, materiais e criação da geometria. Identificou-se padrões no método de fabricação, nos processos, diversidade de materiais e avanços na tecnologia de captação e modelagem digital. A integração da MA com novos materiais e tecnologias digitais promove uma produção eficiente e personalizada de órteses.

Palavras-chave: órtese, manufatura aditiva, design

ABSTRACT

Orthoses are custom devices developed to meet specific user needs. Additive Manufacturing (AM) has emerged as a means for their production. This paper analyzes the AM manufacturing of orthoses from the perspective of Design for Additive Manufacturing (DfMA). A literature review of studies from 2020 to 2025 was conducted to evaluate processes, materials, and geometry creation. Patterns in manufacturing methods, processes, material diversity, and advances in digital acquisition and modeling technology were identified. The integration of AM with new materials and digital technologies promotes efficient and customized orthosis production.

Keywords: *orthosis, additive manufacturing, design*

1. INTRODUÇÃO

Órteses são dispositivos assistivos personalizados que buscam oferecer uma maior assistência ao corpo humano de um indivíduo para melhorar seu desempenho ou restaurar sua autonomia. A Organização Internacional de Padronização (ISO) conceitua tais ferramentas como dispositivos externos de compensação de funções relacionadas ao sistema esquelético e neuromuscular, de acordo com a norma 9999 (NOURI *et al.*, 2023), na medida que buscam melhorar a qualidade de vida do indivíduo através da restauração da mobilidade, proteção, imobilização e estabilização do membro (ALQAHTANI *et al.*, 2019), como botas, palmilhas, coletes, talas e muletas voltadas para uso ortopédico.

Órteses podem ser classificados em relação à localização dos membros, que podem ser para superiores (*upper limb*), como punhos, mãos e cotovelos, para coluna (*spinal*), que compreende a área cervical, torácica, lombar e lombossacral, e para inferiores (*lower limb*), como quadris, joelhos, tornozelos e pés (NOURI *et al.*, 2023). Estes produtos necessitam de uma forma de fabricação que permita uma alta taxa de personalização a partir de necessidades específicas dos usuários.

Tradicionalmente, órteses são produzidas através de processos tradicionais de usinagem, porém, estes possuem limitações nas criações de geometrias complexas, de lidar com diferentes espessuras, de padronização da produção e de produzir peças pequenas (MURIEL *et al.*, 2020; BROGNARA *et al.*, 2022; ALQAHTANI *et al.*, 2019). A

Manufatura Aditiva (MA) surge como uma alternativa na criação de órteses na medida que permite a personalização de uma forma econômica em custo e tempo. (ALQAHTANI *et al.*, 2019). Tecnologias aditivas, criadas na década de 1980, constroem objetos tridimensionais através da adição de material na forma camada por camada através das instruções concebidas por um CAD (*Computer Aided Design*), sem a necessidade de moldes (VOLPATO, 2007).Diferentes princípios aditivos influenciam o sistema de fabricação. ALQAHTANI *et al.* (2019) concluiu que há três processos mais utilizados na fabricação de órteses: Extrusão de Material (MEX), em que material é extrudado através de um bico aquecido, Fotopolimerização em Cuba (VAT), uma luz UV cura resina fotossensível em uma cuba e a Fusão em Leito de Pó (PBF), um leito de pó é seletivamente fundido através de uma energia térmica (TOFAIL *et al.*, 2018).

Além da evolução da tecnologia dos equipamentos aditivos e da ciência dos materiais, novos equipamentos de captação de imagens, como tomografia computadorizada (CT), ressonância magnética (MRI) e escâneres, e de ferramentas digitais CAD, como Mimics e InVesalius, otimizam o fluxo produtivo

de órteses e possibilitam uma fabricação personalizada de acordo com a necessidade do usuário (ALQAHTANI *et al.*, 2019).

LAZZERI *et al.* (2022) criou uma estrutura para o fluxo de fabricação de órteses por MA, baseado em: (I) aquisição da anatomia na forma de dados tridimensionais; (II) modelagem do dispositivo através de um CAD; (III) fabricação através de um processo aditivo. Para uma análise do panorama da fabricação de equipamentos ortopédicos é necessário explorar projetos com essa abordagem.

O presente trabalho tem como objetivo analisar a fabricação de dispositivos ortopédicos a partir de uma abordagem do DfMA, em relação a influência do processo aditivo e materiais utilizados e da concepção da geometria, e como ela afeta o fluxo produtivo necessário para uma funcionalidade eficiente. Uma revisão sistemática na literatura foi realizada em trabalhos de 2020 até 2025 que abordem a fabricação de diversos tipos de órteses através da MA.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Uma revisão na literatura foi realizada a partir do banco de dados da plataforma de busca *Scopus*. Foi realizada a análise de trabalhos que abordam a fabricação de órteses por meio da MA a fim de analisar comparativamente o fluxo de fabricação de órteses e como os elementos "princípios aditivos", "materiais" e "criação da geometria" se relacionam. A pesquisa realizou-se nos seguintes critérios de busca: (I) Documentos que contém "Título, Palavras-Chaves e Resumo" com a temática "orthosis AND manufacturing"; (II) Datas filtradas no período de 2020 até 2025; (III) Documentos do tipo "artigo" advindos de Revistas (*Journal*) ou de Congressos; (IV) Limitados às áreas de Engenharia, Ciências dos Materiais, Medicina, Multidisciplinar e Ciências Sociais; (V) Palavras chaves pesquisadas por "*Article*", "*Human*", "*Humans*", "*Additive Manufacturing*", "*Three Dimensional Printing*", "3D *Printing*", "*Controlled Study*", "*Orthoses*" e "*Material Testing*"; (VI) Limitados a trabalhos de língua inglesa; (VII) Apenas trabalhos de acesso aberto (*Open Source*).

Foram encontrados pela plataforma 235 documentos coerentes com a busca. Foirealizada uma análise qualitativa e exploratória como método de inclusão em que foram considerados artigos que abordam a Fabricação de Órteses por Manufatura Aditiva, cujo objetivo está no método de produção, foram excluídos artigos cujo resultado estava pautado em outros critérios, como percepção de usuários e resistência mecânica de materiais.

Após a aplicação dos critérios, 27 trabalhos foram aceitos para a análise da literatura. Foram recolhidas informações referentes à localização da órtese do corpo, o processo aditivo utilizado, os materiais e formas de criação da geometria. Uma discussão foi levantada a respeito da análise dos resultados.

3. RESULTADOS

A Tabela 01 representa os resultados obtidos a partir da revisão. Três tipos de órteses foram identificadas: Membros superiores (braços, dedos, pulso e mãos), Coluna (região cervical, espinhal e cabeça) e Membros inferiores (joelho, tornozelo, pé e sola).

Tabela 01 - Tipos de Órteses encontrada nos dispositivos ortopédicos revisados.

Localização da Órtese	Tipo de Órtese	Trabalhos
Membro Superior	Talas para imobilização de braço Tala para imobilização de dedos Suporte para o Cotovelo Órtese para mão-pulso	SCHRANZ *et al*. (2024), LAZZERI *et al*. (2022), CIRELLO *et al*. (2024), RICOTTA *et al*. (2020), SALA *et al*. (2022), SALA *et al.* (2023), AMIN *et al*. (2024),FRANCO *et al*. (2023), GÓRSKI *et al*. (2020), POPESCU *et al*. (2024), VOULGARIS *et al*. (2024), RANALDO *et al*. (2023)
Coluna	Coletes para correção postural Fixação cervical Capacete para correção	FRIEDRICH *et al*. (2024), XU *et al*. (2022), AMBU *et al*. (2023), KROPLA *et al*. (2023)
Membro Inferior	Palmilha Botas para Tornozelo-Pé Órtese para joelho	HUDAK *et al*. (2022), KRUMMENACKER*et al*. (2025), HERNANDEZ *et al*. (2025), JANARTHANAN *et al*. (2024), LIN *et al*. (2021), POPESCU *et al*. (2024), STECK *et al*. (2023), KUMAR *et al*. (2023), POPISTER et al. (2024), BROGNARA *et al*. (2022), PENG *et al*. (2024)

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

As principais funcionalidades observadas foram para imobilização e recuperação de lesões. A seguir serão analisados os princípios de adição, materiais e a forma de criação da geometria.

3.1. Princípios de Adição

Nos trabalhos analisados, constatou-se três tecnologias aditivas utilizados para a fabricação de dispositivos ortopédicos: Extrusão de Material (MEX), Fotopolimerização em Cuba (VAT) e Fusão em Leito de Pó (PBF). A Tabela 02 apresenta todas as tecnologias de MA e exemplos de utilizações encontradas nos trabalhos revisados, assim como os materiais e o avaliações dos determinados usuários.

Tabela 02 - Processos Aditivos na fabricação de órteses.

Tecnologias de MA	Número[1] de Trabalhos	Materiais
MEX	19	ABS, PLA, PET-G, TPU, PA Compósitos
VAT	6	Resina Fotossensível, Poliuretano Elastômero
PBF	3	Derivados de Poliamida (PA)

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A tecnologia aditiva mais utilizada foi a MEX, encontrada nas três localizações de órteses e empregados, sobretudo, para imobilização (Lazzeri et al., 2022) . Está se utilizou do maior número de materiais, ABS, PLA, PET-G, TPU, Poliamida (PA) e Compósitos.

Os processos fotopoliméricos foram empregados para a utilização de resinas fotossensíveis, flexíveis e rígidas. A MA por Fusão em Leito de Pó foi empregada em órteses fabricadas por derivados de PA.

3.2. Materiais

Verificou-se diferentes materiais utilizados, todos de origem polimérica (termoplásticos ou termorrígidos). A Tabela 03 representa os insumos empregados na fabricação das órteses dos trabalhos revisados.

Tabela 03 - Materiais utilizados nas órteses.

Materiais	Número de Trabalhos[2]	Princípio Aditivo
ABS / PLA	16	MEX
PET-G	6	MEX
Poliamida (*Nylon*)	6	PBF/MEX
Compósitos (Onyx, HIPS, HBP, PETG-CF15, PA12CF)	5	MEX
Resinas Fotossensíveis	4	VAT
Elastômeros (TPU, Poliestileno Elâstomero, Resina Fotossensível Flexível)	3	VAT/MEX

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

1 Popescu *et al.* (2024) desenvolveu duas órteses de imobilização para punho, uma com a utilização da Tecnologia FFF de Extrusão de Material e outra com a utilização da tecnologia DLP de Fotopolimerização em Cuba

2 Alguns trabalhos desenvolveram órteses de mais de um tipo de material, como BROGNARA *et al.* (2022), que desenvolveu órteses planares de ABS, PETG e PLA, PENG *et al.* (2024), que se utilizou de PA12, PLA e PA12-CF, e GÓRSKI *et al.* (2020) que empregou ABS, PLA e PA12.

Os principais materiais verificados foram insumos convencionais para Manufatura Aditiva, como ABS, PLA e PETG, fabricados a partir da tecnologia MEX e utilizados sobretudo para imobilização (SALA *et al.*, 2020; AMBU *et al.*, 2023; RANALDO *et al.*, 2023). Órteses flexíveis também foram produzidas a partir da exigência de uma moldagem maior em relação à parte do corpo em que está sitiada, como palmilhas (Janarthanan et al., 2024; Hudak et al., 2022) e órtese para punho-mão (Popescu et al., 2024).

Resinas Fotossensíveis também foram utilizadas para a imobilização e foram associadas exclusivamente ao processo VAT. POPESCU *et al.* (2024) fabricou duas órteses para punho e mão a partir de PLA e Resina Fotossensível e reportou uma menor mobilidade em relação à órtese produzida a partir do segundo material.

Derivados de Poliamida, como PA 6, PA 12 e PA 2200, foram verificados em dois princípios aditivos, MEX e PBF, ambos com 3 trabalhos cada. PENG et al. (2024) verificou que PA 12 e PLA apresentam semelhantes desempenhos mecânicos.

Compósitos foram utilizados a fim de fornecer qualidades adicionais nos materiais, porém pouco frequentes em relação aos outros materiais. Kumar et al. (2023), por exemplo, utilizou Onyx (nylon com microfibra de carbono) para fabricar um suporte para uma panturrilha para uma órtese de tornozelo-pé. Górski et al. (2020) produziu uma luva de imobilização para fraturas a partir do HIPS (Poliestireno de Alto Impacto), porém demonstrou menor resistência mecânica em relação ao PA e ao PLA. E Ambu et al. (2023) produziu um colar cervical a partir de HBP, um composto de PLA com fibra de cânhamo.

Apenas um trabalho utilizou materiais biocompatíveis. SCHRANZ *et al.* (2024) produziu talas protetoras para pacientes com Alodinia com resina biocompatível (*Formlab Dental LT Clear Resin*).

3.3. Criação da Geometria

Foram utilizadas a digitalização de dados para a coleta de informações iniciais referentes ao membro em que a órtese será destinada. Quatro meios foram empregados, conforme representados pela Tabela 03: escâner, fotogrametria, Sensores Resistivos de Força (FSRs) e Tomografia Computadorizada (CT).

Tabela 03 - Digitalização de Dados de órteses.

Digitalização de dados	Número de Trabalhos	Exemplos de equipamentos utilizados
Escâneres	22	Dispositivos portáteis como *Structure Sensor Mark II* (RANALDO *et al.*, 2023); Suportados por braço de apoio como David SLS-3 (Górski *et al.*, 2020)
Fotogrametria	2	Sensores como *Eight Intel RealSense SR3* (Lazzeri *et al.*, 2022); Dispositivo Móvel (CIRELLO *et al.*, 2024)
Sensores Resistivos de Força (FSRs)	1	Sensor de identificação de ponto de pressão FSR 402 (JANARTHANAN *et al.*, 2024)
Tomografia Computadorizada (CT)	1	Máquina de Tomografia guiada por computador que utiliza raios X para digitalizar uma parte do corpo (XU *et al.*, 2022)

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Apenas um dos trabalhos analisados, POPESCU *et al.* (2024), não se utilizou da digitalização de dados para a captação da geometria, e sim, de um *web app* (aplicativo via internet), Forte V2, que projeta órteses através de coordenadas e configurações pré- programadas.

Após a aquisição da anatomia por meio da digitalização de dados, os modelos das órteses foram criados através de programas CADs. O processo envolveu duas etapas principais: a primeira, referente ao tratamento da digitalização, incluiu a correção de imperfeições na captura e a suavização da malha; a segunda, focou no *design* dos modelos digitais das órteses, que serão exportados posteriormente para equipamentos de MA. A Tabela 04 ilustra os CADS utilizados para os tratamentos da digitalização de dados e para o *design* dos modelos com a indicação da quantidade de trabalhos entre parênteses.

Tabela 04 - CADs para o refinamento e criação do modelo das órteses.

Função do CAD	CADs Utilizados[3]
Tratamento da Digitalização de Dados	*Autodesk MeshMixer* (6), *Geomagic Studio* (3), *Mimics* (3), *VXElements* (2), *ArtecStudio* (1), *Azure Kinect SDK* (1), *MeshLab* (1)

3 Alguns trabalhos não especificaram o CAD utilizado, como verificado em KRUMMENACKER *et al.* (2025).

Função do CAD	CADs Utilizados[3]
Design do Modelo Digital da Órtese	*Rhinoceros 3D* (5), *SolidWorks* (4), *Autodesk Fusion 360* (3), *nTopology* (2), *Altair Inspire Studio* (2), *Materialize 3-matic* (2), *Autodesk Inventor* (2), CATIA V5 (1), *FitFoot* 360 (1), *FinalSurface* (1), *MSLattice* (1), ANYSIS (1)

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

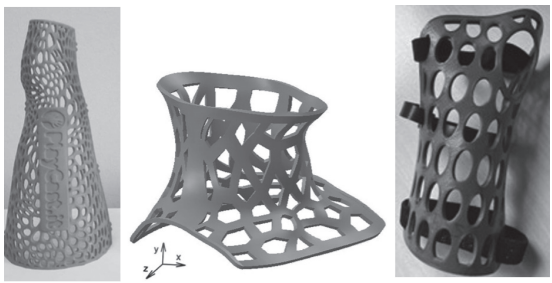
Verifica-se, além da grande variedade de CADs utilizados, um sistema de *design* que se utiliza de múltiplos programas e ferramentas. KOPLA *et al.* (2023), por exemplo, utiliza o *Mimics* para o refinamento do modelo escaneado, *Geomagic Studio* para a suavização da superfície, *Altair Inspire Studio* para otimização da topologia e Materialize 3-matic para ajustes finais. Porém, alguns trabalhos, como SCHRANZ *et al.* (2024) e LIN *et al.* (2021), empregaram apenas um CAD para todo o processo, no caso, o *Autodesk MeshMixer*.

Apesar da existência de programas específicos para o *design* de próteses e órteses, como o *FitFoot* 360, utilizado por HUDAK *et al.* (2022), houve a predominância por CADs comerciais, como *Fusion* 360, *Rhinoceros* e *SolidWorks*. Alguns programas foram empregados para funções específicos, como o *MSLattice* para a criação de treliças (JANARTHANAN *et al.*, 2024) e *nTopology* para a otimização da malha da superfície do modelo digital (AMIN *et al.*, 2024; JANARTHANAN *et al.*, 2024).

Verificou-se o emprego de programação para otimizar o processo de modelagem por parte de alguns trabalhos, como SALA *et al.* (2022) que desenvolveu uma Interface Gráfica através da linguagem de programação Python que utiliza de comandos semi-automáticos para modelar os arquivos dos dados advindos do escâner, e RICOTTA *et al.* (2020), que empregou a linguagem visual *Grasshopper*, incluso no *Rhinoceros*, para facilitar a criação de elos para órteses flexíveis de cotovelo.

Além de superfícies lisas, observou-se a utilização do padrão Voronoi em 9 modelos de órteses, exemplificado na Figura 01 por RANALDO et al. (2023), AMBU et al. (2023) e POPESCU *et al.* (2024). O determinado *design* tem como objetivo fornecer uma maior sustentação mecânica e de tensão, além do aumento da ventilação (AMBU *et al.*, 2023)

Figura 01 - Exemplo de padrão Voronoi em órteses.



Fonte: RANALDO *et al.* (2023); AMBU *et al.* (2023); POPESCU *et al.* (2024).

4. DISCUSSÃO

A análise dos trabalhos revisados, referentes ao sistema de manufatura das órteses, corroborou com a estrutura do fluxo de produção sugerido por LAZZERI *et al.* (2022), em que a anatomia é adquirida através da captação de dados, para ser usada como modelo para o *design* dos dispositivos e produzidos através de processos da MA. Foram encontrados órteses para as três localizações de membros do corpo, com a principal funcionalidade da imobilização e recuperação de lesões.

Os princípios aditivos verificados corroboram com a afirmação advinda de ALQAHTANI *et al.* (2019), em que há o predomínio de três tecnologias para a fabricação de órteses por MA. A majoritária utilização do princípio MEX nos trabalhos analisados sugere uma eficiência das características das órteses a partir de um relativo baixo custo, associado a materiais convencionais, como ABS, PLA e PETG. As outras tecnologias, VAT e PBF, foram associadas a materiais específicos, Resinas Fotossensíveis e PA , respectivamente.

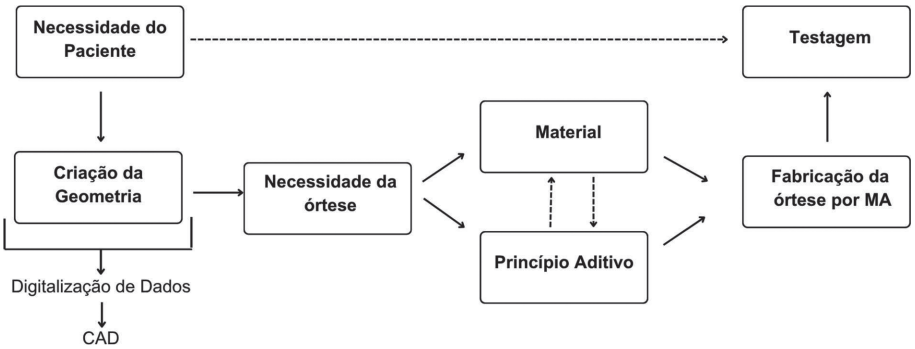
Observa-se apenas o uso de órteses fabricadas em polímeros (termofixos e termoplásticos), o que sugere que o aumento da variedade de materiais poliméricos permitiu uma diversidade de características químicas e mecânicas eficientes para a fabricação dos dispositivos.

A captação da geometria dos membros ocorreu, sobretudo, por digitalização de dados, com exceção de POPESCU *et al.* (2024). Observou-se equipamentos de baixo custo, como o uso de dispositivos móveis para fotogrametria, e de alto custo, como CT e escâneres com braço mecânico. Mais de 80% (22) dos trabalhos revisados empregaram o escaneamento como forma de captação da informação, o que sugere uma maior acessibilidade do equipamento em relação aos outros.

Constatou-se uma grande variedade de programas CADs disponíveis no mercado e alguns com funções específicas na geometria, porém não houveram relações entre o tipo de CAD utilizado e o princípio aditivo ou o material utilizado.

A Figura 02 ilustra o fluxo de fabricação das órteses analisadas nos trabalhos revisados.

Figura 02 - Fluxo de Fabricação de Órteses por MA.



Fonte: Desenvolvido pelo autor

5. CONCLUSÕES

O seguinte trabalho teve como propósito a análise do fluxo de fabricação de órteses através de processos aditivos, em que processos, materiais e geometrias foram relacionados a partir de uma revisão de trabalhos de 2020 a 2025. Foi identificado que o tipo de fabricação oferece uma alta personalização e construção de formas complexas, aliado a tecnologias de captação de dados tridimensionais, ferramentas de modelagem digital e materiais, que tornam a MA um meio eficiente para a construção de órteses.

Observou-se que materiais convencionais para MA, como ABS, PLA e PETG, para órteses, ofereceram resultados eficientes, apesar da verificação de insumos de maior performance, como compósitos derivados de fibra de carbono. O principal princípio aditivo utilizado foi a Extrusão por Material, que apresenta um relativo menor custo em relação a outras tecnologias de MA. A variedade das tecnologias de digitalização de dados e de programas CADs possibilitam uma grande opção de ferramentas de manipulação da geometria. Observou-se a necessidade de um grande conhecimento técnico nos sistemas de fabricação analisados.

Projetistas, *designers* e engenheiros, podem utilizar do fluxo de fabricação sugerido pelo presente trabalho, após a análise dos trabalhos revisados, para projetar órteses coerentes com a funcionalidade e características necessárias para atender o usuário. Estudos futuros podem ser realizados para explorar mais banco de dados de trabalhos referentes a fabricação ortopédica por MA e outros critérios podem ser analisados, como informações a respeito de características

mecânicas e testes em usuários. Uma investigação também pode ser realizada em outras formas de fabricação de órteses a fim de comparar com os resultados obtidos por processos aditivos.

REFERÊNCIAS

ALQAHTANI, MOHAMMED & AL-TAMIMI; ABDULSALAM & ALMEIDA; HENRIQUE & COOPER; GLEN &BARTOLO, PAULO. A review on the use of additive manufacturing to produce lower limb orthoses. Progress in Additive Manufacturing. 5. 10.1007/s40964-019-00104-7. 2020.

AMBU, RITA & OLIVERI; SALVATORE & CALÌ, MICHELE. Neck orthosis design for 3D printing with user enhanced comfort features. International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM). 18. 6055-6068. 10.1007/s12008-023-01507-1. 2023.

AMIN, M. R.; KHONDOKER; M.A.H. Design and Characterization of Additively Manufactured Patient-Specific Wrist Hand Orthosis. Engineering Proceedings, 76(1), 69. 2024.

BARRIOS MURIEL, J.; ROMERO-SÁNCHEZ, F.; ALONSO; F.; SALGADO, D. Advances in Orthotic and Prosthetic Manufacturing: A Technology Review. Materials. 13. 295. 10.3390/ma13020295. 2020.

Brognara L; Fantini M; Morellato K; Graziani G; Baldini N; Cauli O. Foot Orthosis and Sensorized House Slipper by 3D Printing. Materials (Basel). Jun 8;15(12):4064. doi: 10.3390/ma15124064. PMID: 35744123; PMCID: PMC9231166. 2022.

CIRELLO, A.; INGRASSIA, T.; MARANNANO, G.; MIRULLA, A. I.; NIGRELLI, V.; PETRUCCI, G. & RICOTTA; V. A New Automatic Process Based on Generative Design for CAD Modeling and Manufacturing of Customized Orthosis. Applied Sciences, 14(14), 6231. 2024.

FRANCO, S.; RAMOS, M.; CORDOVA, R.; OCHOA, E.; CCAMA, G. & MOLINA, A. Design, Manufacturing and Mechanical Evaluation of a 3D Printed Customized Wrist-Hand Orthosis for the Treatment of De Quervain Tenosynovitis. Engineering Proceedings, 83(1), 2. 2025.

FRIEDRICH, C.; ROTHSTOCK, S.; SLABON, L. & IHLENFELDT, S. Additive In-Time Manufacturing of Customised Orthoses. Journal of Manufacturing and Materials Processing, 8(2), 63. 2024.

GÓRSKI F; WICHNIAREK R; KUCZKO W; ŻUKOWSKA M; LULKIEWICZ M; ZAWADZKI P. Experimental Studies on 3D Printing of Automatically Designed Customized Wrist-Hand Orthoses. Materials (Basel).Sep 15;13(18):4091. doi: 10.3390/ma13184091. PMID: 32942625; PMCID: PMC7560329. 2020.

HERNÁNDEZ, A.; HUARCAYA, V.; ACUÑA, Í.; MARCOS, G.; CCAMA, G.; OCHOA, E.; & MOLINA, A. R. (2025). Additive Manufacturing of a Customized Printed Ankle–Foot Orthosis: Design, Manufacturing, and Mechanical Evaluation. Engineering Proceedings, 83(1), 24. 2025.

HUDAK YF; LI JS; CULLUM S; STRZELECKI BM; RICHBURG C; KAUFMAN GE; ABRAHAMSON D; HECKMAN JT; RIPLEY B; TELFER S; LEDOUX WR; MUIR BC; AUBIN PM. A novel workflow to fabricate a patient-specific 3D printed accommodative foot orthosis with personalized latticed metamaterial. Med Eng Phys. Jun;104:103802. doi: 10.1016/j.medengphy.2022.103802. Epub 2022 Apr 14. PMID: 35641072; PMCID: PMC9210925. 2022.

KROPLA, FABIAN & HOFFMANN; MARTIN & WINKLER; DIRK & KRAUSE; MATTHIAS & SCHOLZ; SEBASTIAN & GRUNERT, RONNY. Development of an individual helmet orthosis for infants based on a 3D scan. 3D Printing in Medicine. 9. 10.1186/s41205-023-00187-7. 2023.

KRUMMENACKER, JANNA & BLASS; ULRICH & MOTSCH-EICHMANN; NICOLE & HAUSMANN, JOACHIM. Adaptive Personalized Ankle-Foot-Orthosis: 3D Printing and On-Site Carbon Fiber Reinforcement for Tailored Stiffness. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. PP. 1-1. 10.1109/TNSRE.2025.3542116. 2025.

KUMAR, ROHIT & KUMAR; RAJESH & KALRA; PARVEEN & SAXENA; SOMYA & GUPTA; RANJEETKUMAR & SEHGAL, SHANKAR. Effectiveness of 3D printed carbon fiber composite strut in customized ankle foot orthosis. Composite Structures. 324. 117540. 10.1016/j.compstruct.2023.117540. 2023.

KUNDUMANI JANARTHANAN, A. K. & VAIDHYANATHAN, B. Additive Manufacturing of Smart Footwear Components for Healthcare Applications. Micromachines, 16(1), 30. 2025.

LAZZERI, SIMONE & TALANTI; EMILIANO & BASCIANO; SIMONE & BARBATO; RAFFAELE & FONTANELLI; FEDERICO & UCCHEDDU; FRANCESCA & SERVI; MICHAELA & VOLPE; YARY & VAGNOLI; LAURA &AMORE; ELENA & MARZOLA; ANTONIO & MCGREEVY; KATHLEEN & CARFAGNI, MONICA. 3D-Printed Patient-Specific Casts for the Distal Radius in Children: Outcome and Pre-Market Survey. Materials. 15. 2863. 10.3390/ma15082863. 2022.

LIN, K.-W.; CHOU, L.-W.; SU, Y.-T.; WEI, S.-H. & CHEN, C.-S. Biomechanical Effect of 3D-Printed Foot Orthoses in Patients with Knee Osteoarthritis. Applied Sciences, 11(9), 4200. 2021.

NOURI, ALIREZA & WANG; LIJING & LI, YUNCANG & WEN, CUIE. (2023). Materials and Manufacturing for Ankle–Foot Orthoses: A Review. Advanced Engineering Materials. 25. 2300238. 10.1002/adem.202300238. 2023.

PENG, CHENXI & TRAN; PHUONG & LALOR; SIMON & TIROSH; OREN & RUTZ, ERICH. Tuning the mechanical responses of 3D-printed ankle-foot orthoses: A numerical study. International Journal of Bioprinting. 3390. 10.36922/ijb.3390. 2024.

POPESCU, D.; IACOB, M. C.; TARBĂ, C.; LĂPTOIU, D. & COTRUŢ, C. M. Exploring a Novel Material and Approach in 3D-Printed Wrist-Hand Orthoses. Journal of Manufacturing and Materials Processing, 8(1), 29. 2024.

POPESCU, D.; LĂPTOIU, D. & CĂRUȚAȘU, N. L. Considerations on the Design, Printability and Usability of Customized 3D-Printed Upper Limb Orthoses. Applied Sciences, 14(14), 6157. 2024

POPIȘTER, F.; DRAGOMIR, M.; CIUDIN, P., & GOIA, H. Ș. Empowering Rehabilitation: Design and Structural Analysis of a Low-Cost 3D-Printed Smart Orthosis. Polymers, 16(10), 1303. 2024.

RANALDO D; ZONTA F; FLORIAN S; LAZZARO J. A facile, semi-automatic protocol for the design and production of 3D printed, anatomical customized orthopedic casts for forearm fractures. J Clin Orthop Trauma. Jun 24;42:102206. doi: 10.1016/j.jcot.2023.102206. PMID: 37529548; PMCID: PMC10388574. 2023.

RICOTTA, VITO & CAMPBELL; R.I. & INGRASSIA, TOMMASO & NIGRELLI, VINCENZO. Additively manufactured textiles and parametric modelling by generative algorithms in orthopaedic applications. Rapid Prototyping Journal. ahead-of-print. 10.1108/RPJ-05-2019-0140. 2020.

Sala, F., M. Carminati; G. D'Urso; C. Giardini, A feasibility analysis of a 3D customized upper limb orthosis, Procedia CIRP 110 207–212, https://doi. org/10.1016/j.procir.2022.06.038. 2022

SALA, F.; D'URSO, G.; & GIARDINI, C.Customized Wrist Immobilization Splints Produced via Additive Manufacturing—A Comprehensive Evaluation of the Viable Configurations. Prosthesis, 5(3), 792-808. 2023.

SCHRANZ S; CAMPANA L; GIROUD M; HERTIG S; EGGER C. 3D printed splint designed by 3D surface scanner for patients with hand allodynia. Hand Surg Rehabil. doi: 10.1016/j.hansur.2024.101646. PMID: 38296186. 2024

STECK, P.; SCHERB, D.; WITZGALL, C.; MIEHLING, J.; & WARTZACK, S. Design and Additive Manufacturing of a Passive Ankle–Foot Orthosis Incorporating Material Characterization for Fiber--Reinforced PETG-CF15. Materials, 16(9), 3503. 2023

TOFAIL, S. A. M. ET AL. Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. Materials today (Kidlington, England), v. 21, n. 1, p. 22–37. 2018.

VOLPATO, Neri. Prototipagem Rápida -Tecnologias e Aplicações. São Paulo: Edgard Blucher, 2007.
VOULGARIS, S.; Kousiatza, C.; Kazakis, G.; Ypsilantis, K.-I.; Galanis, D.; Mitropoulou, C. C.; Gkara, M.; Georgantzinos, S. K.; Soultanis, K. & Lagaros. Upper Limb Orthoses: Integrating Topology Optimization and 3D Printing for Custom Fit and Function. Applied Sciences, 15(2), 827. 2025.

XU Y; LI X; CHANG Y; WANG Y; CHE L; SHI G; NIU X; WANG H; LI X; HE Y; PEI B; WEI G. Design of Personalized Cervical Fixation Orthosis Based on 3D Printing Technology. Appl Bionics Biomech. Apr 30;2022:8243128. doi: 10.1155/2022/8243128. PMID: 35535322; PMCID: PMC9078801, 2022.

EIXO TEMÁTICO | Órteses e Próteses

RELATOS TÉCNICOS

Alternativa para a confecção de órteses no tratamento conservador da rizartrose utilizando impressão 3D

Percival, Diane Bernardes*[1]; Castro, João Henrique Dayrell[2]; Damião, Leísa Silva[3]; Stoppa, Marcelo Henrique[4]

1 – Terapia Ocupacional, Uniasselvi, diane.percival@gmail.com
2 – Odontologia, Unicerrado, joaohdc@yahoo.com.br
3 – Odontologia, Unicerrado, isadcatalao@hotmail.com
4 – Eng. Mecatrônica-IMTEC, UFCAT, mhstoppa@ufcat.edu.br
*-Correspondência: Rua 27, 375, Margon I, Catalão, GO, Brasil, 75711-050.

DOI 10.52050/9788579177149-12

RESUMO

A rizartrose demanda órteses para tratamento conservador, porém, as convencionais apresentam alto custo e desafios de acesso, limitando o tratamento. O objetivo do estudo foi apresentar uma metodologia alternativa e acessível para fabricação de órteses para rizartrose por meio de manufatura aditiva de extrusão de filamento em PLA, utilizando programas gratuitos. Partiu-se da digitalização de molde 2D, processado com ferramentas *on-line* e CAD (Projeto Auxiliado por Computador) livre para criar um modelo 3D com padrão Voronoi, que foi impresso em PLA e moldado. Obteve-se uma órtese funcional, mais leve, ventilada e com custo de material 96% inferior ao tradicional. Concluiu-se ser uma abordagem viável que democratiza o acesso a órteses, beneficiando as áreas da Saúde, Engenharia, *Design* e Tecnologia Assistiva ao baratear e facilitar a produção personalizada.
Palavras-chave: órtese, rizartrose, impressão 3D.

ABSTRACT

Rhizarthrosis requires orthoses for conservative treatment; however, conventional ones have high costs and access challenges, limiting treatment. The study's objective was to present an alternative and accessible methodology for manufacturing rhizarthrosis orthoses through filament extrusion additive manufacturing in PLA, *using free software. The process started with the digitalization of a 2D mold, which*

was processed with online tools and free CAD to create a 3D model with a Voronoi pattern, which was then printed in PLA and molded. The result was a functional, lighter, ventilated orthosis with a material cost 96% lower than the traditional one. It is concluded that this is a viable approach that democratizes access to orthoses, benefiting the fields of Health, Engineering, Design, and Assistive Technology by making customized production cheaper and easier.
Keywords: *Ortheses, Rhizarthrosis, 3D Printing.*

1. INTRODUÇÃO

O Estado garante a saúde como direito universal (BRASIL, 2013). Apesar da Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência e avanços constitucionais (como no Brasil em 1988) terem ampliado direitos, a América Latina enfrenta desafios na inclusão laboral e social desse grupo. Países como o Brasil oferecem Reabilitação Profissional para promover a inserção no trabalho (SANTOS, 2017).

Dentre os problemas que carecem de reabilitação, essencialmente de mãos, destaca-se a rizartrose, que é uma artrose degenerativa que afeta a articulação trapeziometacarpiana (TMC) do polegar, sendo a frouxidão ligamentar e o estresse mecânico seus principais fatores predisponentes (Colditz & Koekebakker, 2010; Egan & Brousseau, 2007).

No Brasil, sua prevalência varia entre 6% e 12% da população adulta, com maior incidência em mulheres pós-menopáusicas. Os sintomas incluem dor na base do polegar durante movimentos de preensão e manuseio de objetos (O'Brien & Giveans, 2013).

Segundo Eaton & Littler (1973), a rizartrose é classificada em quatro estágios. Os estágios I e II são caracterizados por dor intensa, redução do espaço articular e esclerose óssea, onde se emprega tratamento conservador. E os estágios III e IV que apresentam degeneração avançada, osteófitos e comprometimento articular adjacente carecendo de tratamento cirúrgico (Egan & Brousseau, 2007).

Os pacientes com rizartrose frequentemente apresentam limitações funcionais em atividades cotidianas, como escrita, abertura de potes e uso de torneiras, podendo desenvolver compensações articulares (Weiss *et al.*, 2000).

Órteses são dispositivos externos que visam modificar, proteger ou auxiliar a função do sistema musculoesquelético, podendo imobilizar, corrigir deformidades ou melhorar a estabilidade durante atividades diárias (Assumpção, 2006; Mertz, 2013). No tratamento da rizartrose, são utilizadas nos estágios I e II da Rizartrose, órteses curtas (dorsais ou ventrais), cuja seleção depende das necessidades individuais do paciente (Souza, 2006).

De acordo com Marinho *et al.* (2020), em um estudo realizado com pacientes onde aplicou-se a avaliação pela Escala Visual Analógica (EVA), 83,3% dos casos apresentaram redução de dor, por meio de órteses no tratamento de rizartrose e reabilitação do polegar.

Entretanto, a confecção de órteses personalizadas enfrenta desafios, como alto custo de materiais (termoplásticos) e barreiras institucionais, limitando seu acesso (Almeida *et al.*, 2016). Como alternativa, a impressão 3D (Manufatura Aditiva) tem se destacado por oferecer órteses leves, customizáveis e de menor custo, utilizando programas de modelagem tridimensional.

Miranda *et al.* (2022) realizaram um estudo com o objetivo de analisar os tratamentos tradicionais em comparação às novas tecnologias terapêuticas, como as impressões de órteses em 3D, produzidas a partir de PLA. Como matéria-prima, empregou-se o Ácido Polilático (PLA). Este termoplástico apresenta faixa de fusão entre 180 a 220°C, enquanto sua transição vítrea ocorre entre 55 e 60°C, temperatura ideal para moldagem direta no paciente, afetando apenas a porção amorfa do material e conferindo flexibilidade adequada.

A produção de órteses permite adaptação individualizada, pois o material, aquecido a 60°C, é modelado diretamente no paciente para ajuste preciso e conforto. Elas mantêm suas propriedades mesmo com líquidos, o que, junto às outras características, permite aos pacientes continuar suas atividades diárias e minimizar limitações funcionais.

A Manufatura Aditiva (conhecida popularmente por impressão 3D) baseada na Fabricação por Filamento Fundido (FFF) é uma das técnicas mais utilizadas em impressão 3D. Segundo Dunck (2021), essa tecnologia se destaca pela acessibilidade de custo e pela facilidade de operação, sendo amplamente adotada no mercado. O processo consiste na deposição de material termoplástico derretido, camada por camada, até a criação do objeto tridimensional completo.

Esse processo começa com a criação de um modelo digital utilizando programa CAD (Desenho Assistido por Computador), o qual é depois processado em um programa de planejamento de processo (popularmente conhecido por fatiador) gerando o arquivo com os comandos a serem executados pela impressora 3D. Segundo Neto (2017), as etapas envolvidas são: desenvolvimento do modelo virtual, divisão em camadas digitais, fabricação para obtenção do objeto impresso.

Como aplicabilidade da FFF à saúde, Castro e Stoppa (2018) investigaram o uso dessa tecnologia no campo odontológico, especialmente na criação de protótipos que auxiliam no planejamento de cirurgias, proporcionando uma visualização detalhada da anatomia do paciente, o que contribui para a diminuição de erros e aumentando a previsibilidade dos resultados.

Por outro lado, tradicionalmente a fabricação das órteses utiliza termoplásticos de baixa temperatura moldados diretamente no paciente, método que apresenta limitações como desconforto durante o processo, custo elevado e baixa adesão ao tratamento (Rodrigues; Cavalcanti; Galvão, 2011).

Neste contexto, este trabalho apresenta uma forma alternativa para a confecção de órteses no tratamento conservador da rizartrose utilizando Manufatura Aditiva, especificamente com o uso de impressão 3D de PLA. No pré-processamento dos arquivos para impressão, são utilizados programas de fácil acesso e sites *on-line*, amplificando a acessibilidade das ferramentas para uso da metodologia proposta.

2. DESENVOLVIMENTO

A elaboração de órteses inicia-se com avaliação detalhada do paciente, incluindo histórico clínico, análise goniométrica, avaliação de força, sensibilidade e atividades de vida diária (Belkin & Yasuda, 2005). A mão, composta por 27 ossos articulados com complexo sistema ligamentar e muscular (Sauron, 2003), requer atenção especial quanto à posição funcional durante a confecção, considerando aspectos como supinação e pronação.

A escolha do material baseia-se nas características do paciente e no diagnóstico. Termoplásticos devem apresentar adaptação aos contornos anatômicos (conformabilidade); manutenção da forma após aquecimento (resistência ao estiramento); capacidade de remodelagem (memória); resistência à deformação (rigidez) e coesão entre partes (autoaderência) (Assumpção, 2006).

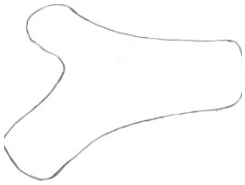
Materiais com espessura entre 2,4 mm e 3,2 mm são selecionados conforme a necessidade de rigidez. Embora os termoplásticos de baixa temperatura sejam os mais utilizados por permitirem moldagem direta, seu alto custo limita o acesso. Alternativas como PVC apresentam custo reduzido, mas exigem equipamentos específicos (Gradim e Paiva, 2018).

O processo de fabricação tradicional compreende: (a) criação de molde bidimensional considerando referências anatômicas (Assumpção, 2006); (b) transferência das medidas para termoplástico; (c) corte com instrumentos específicos; (d) aquecimento em água a 70–75 °C (Coppard & Lynn, 2001); (e) modelagem direta no paciente com cuidados para evitar pontos de pressão (Belkin & Yasuda, 2005); (f) ajuste de bordas e aplicação de sistemas de fixação (velcro, rebites) e (g) avaliação contínua durante o tratamento (Coppard, 2001).

3. RESULTADOS

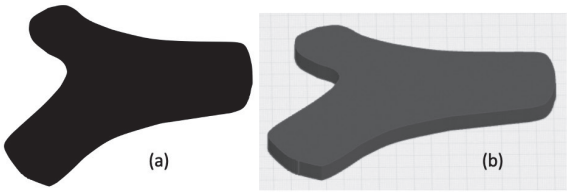
Considerando o processo descrito no final da última seção, parte-se do item (a), ou seja, da utilização do molde dimensional (Fig. 1) que deve ser escaneado de modo a criar um modelo digitalizado. É importante que se utilizem técnicas que preservem as dimensões originais do modelo.

Figura 1 - Molde bidimensional do paciente



Caso necessário, pode ser utilizado um programa para eliminação do fundo da imagem, preservando apenas o traçado do molde. Neste trabalho, utilizou-se o site https://www.iloveimg.com/pt/remover-fundo. Na sequência, utilizando um editor de imagens deve ser preenchido todo o traço, preferencialmente de preto, conforme a Fig. 2a. Para isto foi utilizado o programa *PaintBrush*© nativo do *Windows*©.

Figura 2 - (a) Traço do molde preenchido de preto; (b) Sólido do molde gerado a partir do SVG no Tinkercad



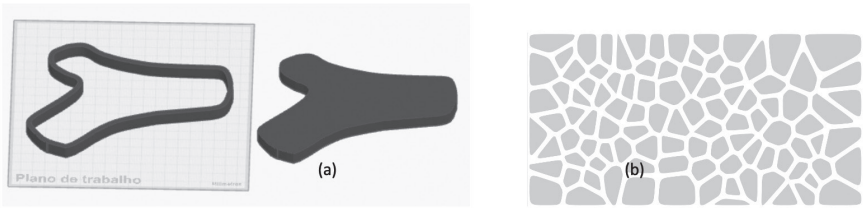
O próximo passo é exportar esta imagem como arquivo extensão JPG e utilizar o site https://convertio.co/pt/image-converter/ para convertê-lo para extensão SVG.

Aqui foi utilizado o programa CAD livre Tinkercad (www.tinkercad.com) para geração do modelo virtual que será confeccionado por impressão 3D. Importa-se o arquivo SVG, oriunda da Fig. 2a de modo que é gerado o sólido conforme a Fig. 2b.

Este sólido deve ser duplicado onde uma das partes será a borda da órtese (Fig 3a) e a outra será aplicado ao padrão Voronoi (Fig. 3b). Para criação deste padrão utilizou-se o site https://voronoi-editor.web.app/ onde foram escolhidas

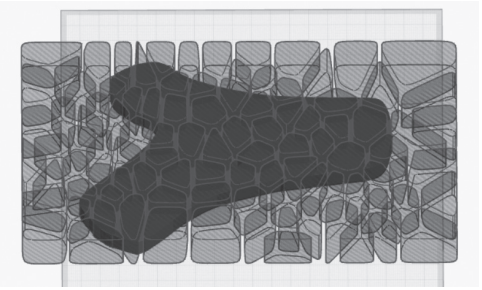
100 células com formato cúbico com 5mm entre células. O próprio site já permite a exportação do arquivo em formato SVG.

Figura 3 - Padrão Voronoi utilizado para criação da órtese



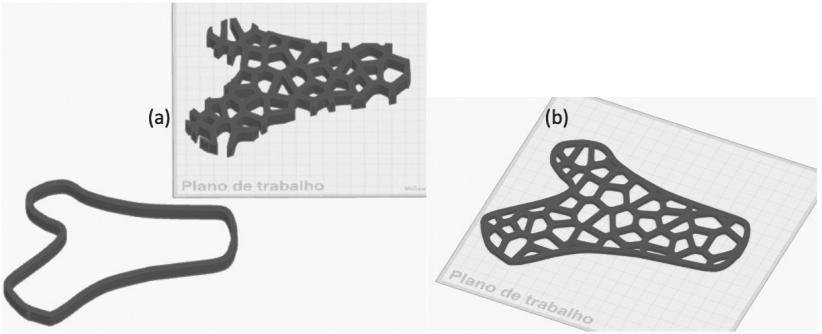
Ao importar o arquivo SVG do Voronoi, é criado um sólido que deve ser ajustado para uma espessura maior que o padrão existente e colocado no formato "orifício" (vazado) e adequadamente alinhado ao sólido maciço (Fig. 4).

Figura 4 - Geração do padrão Voronoi interno da órtese



A união dos dois sólidos (borda e Voronoi) (Fig. 5a) resulta na órtese plana final (Fig. 5b). Basta agora exportar este sólido como objeto STL.

Figura 5 - Finalização da construção do modelo 3D da órtese

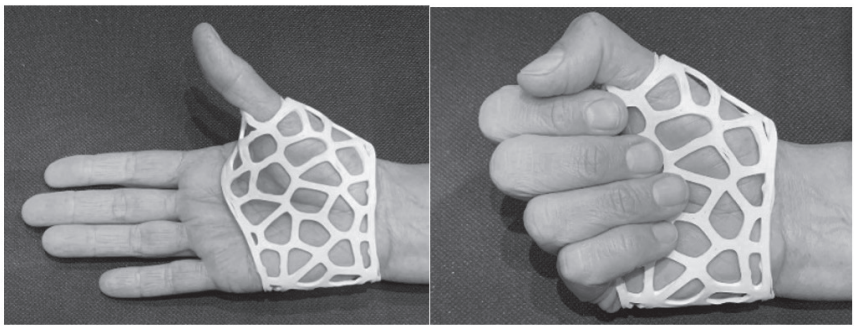


Então o arquivo STL da órtese gerada passou por processo de fatiamento onde foi utilizado o programa CURA, no qual as configurações principais foram:

altura de camada 0.3mm, 6 linhas de parede e 50% de preenchimento para uma impressora Ender3 da Creality. O filamento usado foi o PLA *Speed Premium* branco da 3DLAB a uma temperatura de 195° para o extrusor e 60° para a mesa. O tempo de impressão foi de 55 minutos e a quantidade de material utilizado foi 13 gramas.

Após a finalização da impressão, a órtese foi colocada em água quente a uma temperatura de 65°C e moldada na mão de uma das autoras deste trabalho, conforme exibe a Fig. 6.

Figura 6 - Órtese final impressa em 3D



É interessante ressaltar que a órtese impressa é mais leve que a produzida em material termoplástico tradicional, sendo 43,75% da massa desta. Além disso, o padrão Voronoi pela sua peculiaridade geométrica permite uma maior ventilação para a pele do paciente, proporcionando maior conforto e leveza.

Outro aspecto interessante é o fator econômico. Considerando que uma placa de termoplástico de 46 cm x 61 cm x 2,4 cm custa cerca de R$380,00 em lojas especializadas, e a área (aproximadamente 234 cm^2) para confecção da órtese custaria cerca de R$32,00. Por outro lado, considerando o PLA utilizado para a órtese impressa, considerando que o Kg do PLA custa cerca de R$95,00, o custo de produção (14 g) fica em torno de R$1,33, ou seja, algo em torno de 4% do custo com o material tradicional.

Então, este trabalho traz não apenas uma metodologia alternativa para a construção de órteses por meio de impressão 3D, que pode servir pelo menos para fins didáticos na área da saúde, mas também uma possibilidade de redução de custos no processo produtivo. A contribuição mais relevante é o pré-processamento que não carece de programas proprietários e nem de hardware de grande desempenho, se colocando como uma estratégia que pode aumentar a acessibilidade de quem usa ou produz órteses.

Ademais, outros testes precisam ser efetuados, com relação às características mecânicas, conforto do usuário, durabilidade do material dentre outros aspectos, que ficam como propostas de continuidade da pesquisa.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo teve como propósito apresentar uma metodologia alternativa e acessível para a confecção de órteses destinadas ao tratamento conservador da rizartrose, utilizando a Manufatura Aditiva, especificamente a impressão 3D com filamento PLA, e empregando programas de fácil acesso e ferramentas *on-line* para o pré-processamento dos arquivos. Confirma-se que os objetivos foram plenamente alcançados, uma vez que a metodologia proposta foi detalhadamente descrita e executada, resultando na produção de uma órtese funcional em PLA, demonstrando a viabilidade do processo desde a digitalização de um molde bidimensional até a impressão e moldagem final na mão do usuário.

As contribuições práticas deste trabalho para os usuários de Tecnologias Assistivas são particularmente relevantes no que tange à democratização do acesso e à melhoria da experiência de uso. A significativa redução de custos de material – onde a órtese impressa custou aproximadamente 4% do valor do material termoplástico tradicional – combinada com a utilização de programas gratuitos e ferramentas *on-line* de manipulação intuitiva, diminui expressivamente as barreiras financeiras e tecnológicas. Para o usuário final, isso se traduz na possibilidade de acesso a uma órtese mais leve (43,75% da massa da tradicional) e com maior ventilação devido ao padrão Voronoi, características que promovem maior conforto e, consequentemente, potencializam a adesão ao tratamento da rizartrose. Esta abordagem não apenas viabiliza a produção em contextos com recursos limitados, mas também oferece uma alternativa que pode ser mais rapidamente personalizada às necessidades individuais.

Para o desenvolvimento e aperfeiçoamento futuro desta Tecnologia Assistiva, sugere-se a realização de estudos clínicos comparativos com um grupo de pacientes diagnosticados com rizartrose, a fim de avaliar objetivamente a eficácia da órtese impressa em 3D na redução da dor (utilizando escalas para aferir a intensidade da dor, como a EVA – Escala Visual Analógica), na melhora da função da mão e no nível de satisfação do usuário, além da durabilidade e aspectos de segurança em relação às órteses confeccionadas pelo método tradicional. Recomenda-se, ainda, investigações aprofundadas sobre as propriedades mecânicas do PLA e de outros filamentos alternativos, como sua resistência à fadiga e durabilidade em uso contínuo, além da exploração de diferentes designs e padrões de preenchimento que possam otimizar a relação entre rigidez estrutural, leveza e conforto. Para ampliar o alcance e impacto

desta tecnologia, sugere-se a criação de um repositório de modelos digitais de órteses e o desenvolvimento de guias de boas práticas para customizá-las e imprimi-las.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEG e CNPq pelo apoio financeiro que contribuíram para a realização e divulgação do presente estudo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. H. T. Q.; PONTES, T. B.; ROSSI, J. R. L.; SANTOS-COUTO-PAZ, C. C.; MACDERMID, J. C.; MATHEUS, J. P. C. Órteses para o paciente com osteoartrite do polegar: o que os terapeutas ocupacionais no Brasil indicam? Revista de Terapia Ocupacional da Universidade de São Paulo, SP, v. 27, p. 289-296, 2016.

ASSUMPÇÃO, T. S. Órteses: princípios básicos. In: FREITAS, P. P. (Org.). Reabilitação da mão. São Paulo: Atheneu. p. 539-553, 2006.

BELKIN, J.; YASUDA, L. Ortótica. In: PEDRETTI, L. W.; EARLY, M. B. Terapia ocupacional capacidades práticas para as disfunções físicas. 5ª ed. São Paulo: Roca p. 557-95, 2005.

BRASIL. Secretaria de Direitos Humanos da Presidência da República. Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. Viver sem Limite - Plano Nacional dos Direitos da Pessoa com Deficiência. Brasília: Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência, 2013.

CASTRO, J. H. D.; STOPPA, M. H. Prototipagem 3D aplicada a cirurgias de implantes dentários. HOLOS, Natal, v. 34, n. 8, p. 49-58, 2018.

COLDITZ, J.; KOEKEBAKKER, N. A new splint design for the thumb CMC joint. Maastricht-Airport: Nea International bv, 2010.

COPPARD, B. Anatomical and Biomechanical Principles of Splinting. In: B.M. COPPARD and H. LOHMAN, eds, Introduction to Splinting: A clinical-reasoning & problem-solving approach. Second Edition. St Louis, MO.: Mosby, Inc., pp. 34-72, 2001.

COPPARD, B.M. and LYNN, P. Introduction to Splinting. In: B.M. COPPARD and H. LOHMAN, eds, Introduction to Splinting: A clinical reasoning & problem-solving approach. Second Edition. St Louis, MO.: Mosby, Inc., pp. 1-33, 2001.

DUNCK, D. A. S. DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE DISPOSITIVO AUXILIAR PARA REALIZAÇÃO DE TAREFAS ADMINISTRATIVAS POR PESSOAS COM DEFICIÊNCIA DE MEMBRO SUPERIOR. 2021. Dissertação (Mestrado em Gestão Organizacional) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021.

EATON, R.; LITTLER, J. Ligament reconstruction for the painful thumb carpometacarpal joint. The Journal of Bone & Joint Surgery, Needham, v. 55, n. 8, p. 1655-1666, 1973.

EGAN, M. Y.; BROUSSEAU, L. Splinting for osteoarthritis of the carpometacarpal joint: a review of the evidence. The American Journal of Occupational Therapy, Bethesda, v. 61, n. 1, p. 70-78, 2007.

GRADIM, L. C. C.; PAIVA, G. Modelos de órteses para membros superiores: uma revisão da literatura. Cadernos Brasileiros De Terapia Ocupacional, São Carlos, v. 26, n. 2, p. 479-488, 2018.

MARINHO, F. D.; SANTOS, P. M. dos; NARDI, S. M. T.; SIME, M. M.; COUTINHO, G. C. Uso de órtese impressa em 3D e tratamento terapêutico ocupacional na rizartrose. Cadernos Brasileiros De Terapia Ocupacional, São Carlos, v. 28, n. 4, p. 1151-1164, 2020.

MIRANDA, J. C. T.; BARROS, L. N. de; MARCON, H. B. APLICAÇÃO DE ÓRTESES EM IMPRESSÃO 3D PARA TRAUMAS NAS FALANGES DOS MEMBROS SUPERIORES. In: SEMANA MÉDICA DA UNIVÁS, n. 52, 2022, Pouso Alegre. Anais eletrônicos da 52ª Semana Médica da Univás. Pouso Alegre: Univás, 2022.

NETO, G. F. Modelagem e Desenvolvimento de Prótese de Mão Mecatrônica com Acionamento Individual de Dedos. 2017. Dissertação (Mestrado em Modelagem e Otimização) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

WEISS, S.; LASTAYO, P.; MILLS, A.; BRAMLET, D. Prospective analysis of splinting the first carpometacarpal joint: an objective, subjective and radiographic assessment. Journal of Hand Therapy, Philadelphia, v. 13, n. 3, p. 218-226, 2000.

RODRIGUES, A. V. N.; CAVALCANTI, A.; GALVÃO, C. Órteses e próteses. In: Terapia ocupacional – Fundamentação e prática. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan,. 2011.

SAURON, F. N. Órteses para membro superiores. In: TEIXEIRA, E *et al.* Terapia Ocupacional na Reabilitação Física. São Paulo: Roca, p. 265-96, 2003.

O'BRIEN, V. H., GIVEANS, M. R. Effects of a dynamic stability approach in conservative intervention of the carpometacarpal joint of the thumb: a retrospective study. Journal of Hand Therapy, 26(1), 44-52, 2013.

ASSUMPÇÃO, T. S. Órteses: princípios básicos. In P. P. Freitas. Reabilitação da mão (pp. 539-553). São Paulo: Atheneu, 2006.

Capacitação em design digital para promoção da autonomia profissional na produção de tecnologia assistiva

Sierra, Isabella de Souza*[1]; Figueiredo, Luiz Fernando Gonçalves[2]

1 – Programa de Pós-graduação em Design, Departamento de Design, UFSC, isabella.sierra@ufpr.br.

2 – Programa de Pós-graduação em Design, Departamento de Design, UFSC, lff@cce.ufsc.br.

* - Correspondência: Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, Trindade, Florianópolis, Santa Catarina - Brasil, 88040-970.

Área reservada para DOI

DOI 10.52050/9788579177149-13

RESUMO

Este trabalho relata a identificação de demandas e a realização de oficinas de capacitação voltadas à profissionais da Fundação Catarinense de Educação Especial, com ênfase no design e na fabricação digital de produtos de tecnologia assistiva, como órteses e assentos adaptados. As oficinas abordaram, desde a digitalização 3D até a modelagem e a fabricação por meio de impressão 3D e fresamento CNC. O objetivo foi promover a autonomia dos profissionais, otimizando tempo, custos e qualidade. Como resultado, constatou-se o engajamento dos participantes, a viabilidade técnica e o potencial de aplicação prática nos contextos de reabilitação e educação especial.

Palavras-chave: Tecnologia assistiva, Fabricação digital, Capacitação profissional

ABSTRACT

This paper reports on the identification of needs and the implementation of training workshops for professionals at the Fundação Catarinense de Educação Especial, with an emphasis on the design and digital fabrication of assistive technology products, such as orthoses and customized seating. The workshops covered the entire process, from 3D scanning to modeling and fabrication using 3D printing and CNC milling. The goal was to promote professional autonomy by optimizing time, cost, and quality. As result, participant engagement, technical feasibility, and the potential for practical application in rehabilitation and special education contexts were observed.

Keywords: *Assistive technology, Digital fabrication, Professional training*

1. INTRODUÇÃO

Uma das principais dificuldades no desenvolvimento de recursos de tecnologia assistiva (TA) adaptada é sua natureza multidisciplinar. Profissionais de áreas como design, engenharia, terapia ocupacional e fisioterapia atuam raramente de forma integrada (Layton et al., 2022; Santos; Silveira, 2021; Cook; Polgar; Encarnação, 2019). Em geral, a necessidade de um produto assistivo é identificada por profissionais da saúde em contato com as pessoas com deficiência, mas muitas vezes não possuem formação técnica em design ou tecnologia, o que dificulta as etapas de concepção, modelagem e fabricação (Scherer, 2017). Já profissionais com experiência em design e fabricação digital, têm capacidade técnica para desenvolver soluções padronizadas e replicáveis, mas nem sempre têm acesso direto às demandas reais dos clientes (Buehler et al., 2015; Lane, 2015).

Para reduzir essas lacunas, têm sido promovidos cursos e oficinas voltados à fabricação digital com foco em TA (Giraud; Jouffrais, 2016). Apesar disso, a etapa intermediária entre a identificação da necessidade e a fabricação final, ou seja, o design e especialmente a modelagem 3D, costuma ser negligenciada. A literatura destaca que essa etapa é considerada difícil de ensinar e executar (Slegers, Krieg e Lexis, 2022; Buehler et al., 2015).

Uma solução frequentemente adotada é o uso de modelos prontos, disponíveis em sites como o Thingiverse, o que facilita o acesso a produtos adaptados (Buehler et al., 2015). No entanto, essa estratégia é limitada quando há necessidade de personalização, como para órteses, próteses e assentos adaptados (Slegers, Krieg e Lexis, 2022; Kim et al., 2021).

Para suprir essa lacuna, surgem iniciativas intermediárias, laboratórios universitários, grupos de pesquisa e empresas, que assumem a etapa de design (Lane, 2015; Hurst; Kane, 2013). Embora eficazes, essas iniciativas não promovem a autonomia dos profissionais que identificam as necessidades, prolongando os prazos e elevando os custos.

Esse cenário é o foco do estudo de caso apresentado neste trabalho, realizado na Fundação Catarinense de Educação Especial (FCEE), onde atua o Centro de Estudos em Reabilitação e Tecnologia Assistiva (CERTA) (FCEE, 2025). Atualmente, a etapa de modelagem digital, especialmente para assentos adaptados, é terceirizada.

O objetivo do estudo foi capacitar os profissionais da FCEE no processo de design de tecnologia assistiva personalizada, com foco em modelagem 3D e fabricação digital, promovendo sua autonomia, reduzindo custos e otimizando

o desenvolvimento, com maior qualidade e agilidade. O trabalho foi dividido em duas etapas principais: diagnóstico do processo atual, identificando gargalos e dependências; e oficinas de capacitação abordando quatro momentos essenciais: digitalização do corpo do cliente, tratamento do arquivo digital, modelagem do produto final e fabricação do produto com impressão 3D e usinagem CNC.

Nesse contexto, a capacitação atua como uma ferramenta, para uma abordagem sistêmica, onde se promove um ambiente de trabalho integrado e interdisciplinar, especialmente das áreas de design, tecnologia e saúde, que considera a importância da autonomia dos profissionais, das práticas clínicas e de design, bem como o contexto institucional em que essas práticas estão inseridas.

2. DESENVOLVIMENTO

A primeira etapa consistiu na avaliação diagnóstica dos processos já realizados na Fundação. Foram identificados dois processos. No primeiro, assentos adaptados, são confeccionados manualmente. A espuma é esculpida à mão, revestida com tecido e equipada com cintas, madeira e ferragens para fixação. O segundo, trata da contratação de uma empresa especializada na fabricação desses assentos adaptados digitalmente. Após a identificação da necessidade, é agendada uma sessão para capturar a geometria negativa do corpo do cliente por conformação a vácuo. Esse molde é digitalizado com um software proprietário da empresa, que realiza a modelagem e envia à Fundação um arquivo pronto para usinagem CNC.

Esse processo, no entanto, apresenta fragilidades. Há pouca transparência nas etapas intermediárias e não existem momentos de feedback antes da fabricação, o que gera erros, retrabalho e desperdício de material. Após a usinagem, são frequentemente necessários ajustes manuais, como adição de espuma ou remoção de excessos. As etapas finais continuam semelhantes: revestimento, colocação de cintos e fixação na cadeira.

Vale ressaltar que a digitalização e usinagem eram realizadas por apenas dois profissionais: uma terapeuta ocupacional, responsável pela prescrição e digitalização, e um funcionário encarregado da fabricação, o que gerava sobrecarga.

Esse diagnóstico evidenciou a necessidade de adotar uma lógica sistêmica no redesenho do fluxo de trabalho dos profissionais, promovendo a integração entre as diferentes áreas envolvidas, valorizando tanto o conhecimento técnico quanto a experiência prática dos profissionais da saúde, e considerando o contexto institucional presente. O objetivo foi criar um processo mais ágil,

colaborativo e sustentável, capaz de responder de forma eficiente às demandas dos clientes e participantes.

Como base para essa reestruturação, identificou-se a necessidade de capacitar mais profissionais para atuarem em todas as etapas do processo, da digitalização à fabricação, incluindo a limpeza e a modelagem dos arquivos. Ademais, foi identificada a necessidade de capacitar profissionais no desenvolvimento de assentos adaptados e também de órteses, elementos que ainda não eram desenvolvidos na fundação.

O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética da UFSC (nº 7.231.359), seguindo os procedimentos éticos vigentes. As oficinas ocorreram ao longo de três meses, com 30 horas de carga horária e participação de mais de 35 profissionais. Durante as atividades, os participantes realizaram todas as etapas do processo e desenvolveram dois produtos como estudo de caso: um assento adaptado e uma órtese, apresentados na sequência.

3. RESULTADOS

Foram realizadas quatro oficinas sequenciais que, juntas, capacitaram os profissionais a desenvolver assentos adaptados e órteses. Cada oficina abordava uma etapa do processo, iniciando pela digitalização, seguida pelo tratamento dos dados, modelagem 3D e fabricação digital. Os resultados estão organizados conforme as oficinas realizadas, acompanhados de uma breve discussão sobre o que ocorreu em cada etapa e os desdobramentos relativos aos dois estudos de caso desenvolvidos.

2.1. Oficina 1 - Digitalização Tridimensional

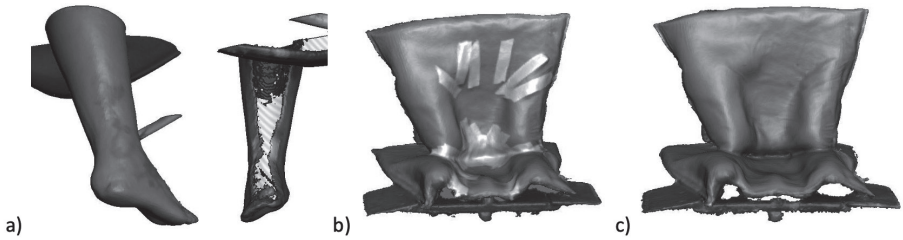
Na primeira oficina, foram apresentados os conceitos básicos de digitalização 3D, com exercícios práticos envolvendo partes do corpo e o corpo inteiro, utilizadas no design de TA. O objetivo foi demonstrar os cuidados necessários para uma digitalização adequada e gerar dados para as oficinas seguintes. Discutiram-se os principais tipos de escâneres de baixo-custo, o uso de softwares livres e proprietários, e as condições ideais para a digitalização, como iluminação, posição da pessoa e oclusão de partes do corpo, além do impacto desses fatores na qualidade do modelo gerado. Ainda, aprofundou-se no escâner disponível da fundação, o Kinect 360.

Dois elementos foram digitalizados para os estudos de caso. O primeiro foi a região do pé e panturrilha de um participante, para demonstrar o desenvolvimento de uma órtese. O segundo foi a impressão negativa, ou molde,

do corpo de uma criança, obtida com o assento de conformação a vácuo já utilizado pela Fundação.

Na digitalização do pé, discutiu-se a posição ideal e a viabilidade de escanear o pé na postura original, deixando eventuais correções para a etapa de modelagem. Uma pequena falha na região frontal do modelo (Figura 1a) foi mantida propositalmente para ser corrigida na oficina seguinte, dedicada ao tratamento dos arquivos digitais.

Figura 01 - Arquivos digitalizados.
Legenda: a) Modelo digitalizado de pé com falha frontal; b) Digitalização do assento com e c) sem aplicação de fitas.



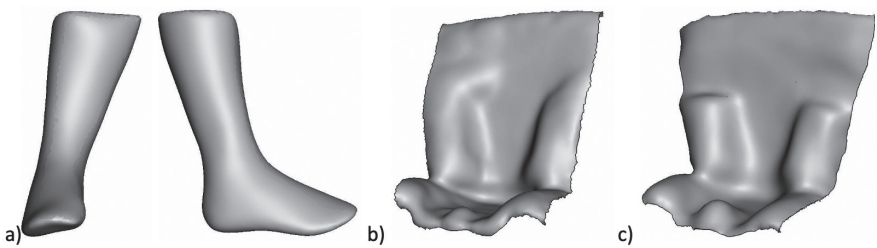
O segundo caso envolveu o assento de uma criança de seis anos que precisava de novo sistema de posicionamento na cadeira de rodas. Suas necessidades foram previamente avaliadas, com atenção ao suporte da coluna e à abdução das pernas. O molde a vácuo foi feito com a criança corretamente posicionada, gerando a geometria negativa usada na digitalização (Figura 1b). Anteriormente, a preparação do assento exigia aplicação de fitas crepe (Figura 1c) para corrigir imperfeições. Com o novo método aprendido na oficina, essa etapa se mostrou desnecessária, simplificando o processo.

2.2. Oficina 2 - Limpeza dos Arquivos Digitalizados

Com base nas digitalizações realizadas na oficina anterior, iniciou-se a segunda atividade: a limpeza e correção dos arquivos. Utilizou-se o software gratuito Meshmixer (da empresa Autodesk), escolhido por sua interface intuitiva e recursos adequados às tarefas propostas. Os participantes importaram os arquivos e realizaram procedimentos como remoção de geometrias indesejadas, fechamento de buracos, reconstrução de elementos e correção de falhas causadas por problemas na digitalização, como iluminação inadequada ou oclusão de partes do corpo.

No primeiro estudo de caso, referente ao pé, foram corrigidas falhas como a ausência da porção frontal e deformações no contorno, resultando em um modelo mais limpo para a modelagem posterior (Figura 2a).

Figura 02 - Arquivos corrigidos
Legenda: a) Pé após fechamento da malha; b) Assento corrigodo; c) Assento após escultura digital



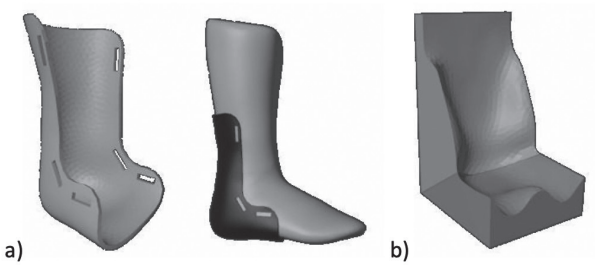
No segundo caso, do assento da criança, foram feitos ajustes como o fechamento entre assento e encosto, remoção de vincos profundos e recorte de excessos (Figura 2b). Na oficina, também foi apresentada uma ferramenta de escultura digital, disponível no mesmo programa, que permite adicionar ou modelar a geometria diretamente no modelo digital. Com base nas necessidades posturais, os participantes modelaram elementos como suportes laterais de tronco e um abdutor entre as pernas, tornando o modelo mais adequado ao uso funcional (Figura 2c).

2.3. Oficina 3 - Desenvolvimento dos Produtos de Tecnologia Assistiva

Com os arquivos corrigidos, iniciou-se a terceira etapa, o desenvolvimento dos produtos de tecnologia assistiva. Para isso, utilizou-se o software Blender, de código aberto, adequado à modelagem de geometrias complexas obtidas por digitalização. Foram apresentados os conceitos básicos do programa, sua interface e principais ferramentas. Com exemplos práticos, os participantes aprenderam a transformar arquivos digitalizados em produtos com geometria compatível com a fabricação.

No primeiro estudo de caso, a órtese, o modelo do pé, previamente corrigido, foi reposicionado com o uso de um esqueleto virtual para simular a postura correta. A órtese foi então modelada diretamente sobre a geometria ajustada (Figura 3a)

Figura 03 - Produtos desenvolvidos.
Legenda: a) Órtese; b) Assento adaptado.



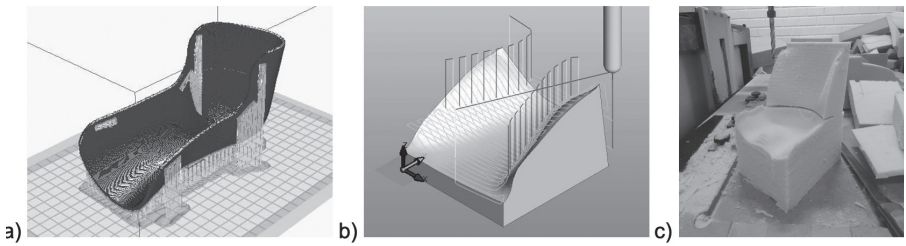
No segundo caso, o assento adaptado foi modelado a partir do arquivo já corrigido. Foram feitas operações de união e subtração de volumes para ajustá-lo à cadeira de rodas, com base na forma negativa do corpo. Em seguida, o assento e o encosto foram particionados para viabilizar a fabricação (Figura 3b).

2.4. Oficina 4 - Fabricação Digital dos Produtos de Tecnologia Assistiva

Considerando o contexto em que as oficinas foram realizadas, duas máquinas de fabricação digital estavam disponíveis: uma impressora 3D e uma fresadora CNC. Dessa forma, a quarta oficina foi planejada em duas etapas, para abranger os processos de fabricação, cada um com suas particularidades.

Na primeira etapa, abordou-se o processo de fabricação por impressão 3D, utilizando como exemplo a órtese do primeiro estudo de caso. Foram apresentados os conceitos fundamentais sobre o funcionamento da impressora 3D, o tipo de material utilizado, bem como o processo de preparação do arquivo no software fatiador. Em seguida, os participantes realizaram a configuração dos parâmetros de impressão, como preenchimento, suporte e fatiamento (Figura 4a) e a execução da impressão.

Figura 04 - Fabricação digital.
Legenda: a) Fatiamento da órtese para impressão 3D; b) Simulação de corte da Fresa CNC; c) Assento fabricado em escala.



Na segunda etapa, foi ensinado o processo de fabricação por fresamento CNC. Para isso, utilizou-se o software FreeMILL (MecSoft), que permite a criação do percurso de ferramenta a partir do modelo 3D (Figura 4b). Foi demonstrado como configurar o tipo de ferramenta, a profundidade de corte, a trajetória e a geração do código G. Além disso, os participantes conheceram a fresadora CNC da instituição, observando todo o processo de fixação do material, zero da máquina, envio do arquivo e execução do corte (Figura 4c).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do estudo foi capacitar os profissionais da FCEE no processo de design de tecnologia assistiva personalizada, com foco em modelagem 3D e fabricação digital, como parte de uma reestruturação de processos do sistema adotado pela Fundação. A hipótese foi que a capacitação realizada promoveria maior autonomia da instituição, reduzindo custos e otimizando o desenvolvimento, com maior qualidade e agilidade.

Após a realização das oficinas, algumas observações importantes puderam ser feitas. Em primeiro lugar, todas as atividades propostas foram realizadas com sucesso pelos participantes, o que indica que existe uma lacuna que pode ser preenchida com a devida atenção e tempo dedicado à formação desses profissionais.

Embora este estudo seja um relato técnico e não apresente dados numéricos exatos sobre economia de tempo e custos, já é possível identificar benefícios claros. As empresas contratadas costumam cobrar valores elevados pelo desenvolvimento de cada produto, enquanto, ao longo das oficinas, observou-se que todo o processo, desde a digitalização até a fabricação, pode ser realizado em cerca de 10 horas, e com gastos apenas associados com a manutenção e insumos necessários para a fabricação. Esse tempo é significativamente menor do que o tempo envolvido nos métodos previamente empregados. Vale destacar que essas 10 horas incluem as etapas de digitalização, limpeza dos arquivos, modelagem 3D e fabricação digital.

Outro ponto relevante diz respeito às dificuldades relatadas pelos profissionais capacitados. As principais barreiras mencionadas foram a limitação de tempo para inserir esse novo processo na rotina de trabalho e o receio de utilizar as tecnologias sem acompanhamento. Esse tipo de dificuldade já é apontado por outros estudos que tratam de capacitação técnica em novas tecnologias (Slegers, Krieg e Lexis, 2022; Buehler et al., 2015). No entanto, é interessante observar que as etapas de limpeza e modelagem, anteriormente realizadas exclusivamente pela empresa contratada, foram bem assimiladas, sem

relatos de dificuldade. Isso sugere que, com o acompanhamento por um curto período, esses profissionais podem alcançar autonomia no uso do processo.

Ainda que alguns profissionais não apliquem diretamente esses conhecimentos em sua prática diária, por não ser parte de suas atribuições, o aprendizado contribui para terem mais embasamento técnico ao solicitar produtos adaptados. Isso fortalece sua atuação profissional e melhora a adequação dos produtos às necessidades dos clientes, impactando positivamente sua qualidade de vida.

Concluiu-se, portanto, que o processo de capacitação é benéfico tanto para os profissionais que passam a desenvolver os produtos de forma autônoma quanto para aqueles que interagem com esse processo de maneira indireta. Para os primeiros, essa autonomia amplia suas possibilidades de atuação profissional e contribui para o aprimoramento da qualidade dos produtos de tecnologia assistiva desenvolvidos. Para os demais, a capacitação oferece ferramentas para exercer um papel mais ativo e crítico naproposição de soluções adaptadas às necessidades dos clientes.

Ademais, a reestruturação do processo de design de TA personalizada utilizado pela FCEE, a partir de uma abordagem sistêmica, promove maior autonomia para seus profissionais, melhora na qualidade dos resultados obtidos e diminui a dependência de serviços terceirizados. Como consequência, se promove a sustentabilidade econômica da instituição, além de um aumento nos atendimentos personalizados e redução no tempo de entrega dos produtos finalizados, fatores que, por si só, contribuem para uma melhor qualidade de vida das pessoas com deficiência.

AGRADECIMENTOS

Aos participantes das oficinas pelo engajamento, à FCEE pelo apoio institucional, ao CERTA pela parceria técnica, à UFSC como instituição supervisora e a CAPES pela concessão de bolsa de pós-doutorado (Financiamento 001).

REFERÊNCIAS

BUEHLER, E. et al. Sharing is caring: Assistive technology designs on thingiverse. In: *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. p. 525-534. 2015.

COOK, A. M.; POLGAR, J. M.; ENCARNAÇÃO, P. *Assistive technologies:* Principles & practice. Elsevier, 2019.

FCEE. *CERTA*. Disponível em: https://www.fcee.sc.gov.br/centros-de-atendimento/certa. Acesso em: 29 mai. 2025.

GIRAUD, S.; JOUFFRAIS, C. Empowering low-vision rehabilitation professionals with “do-it-yourself” methods. In: *Proceedings of Computers Helping People with Special Needs*: 15th International Conference, p. 61-68, 2016.

HURST, A.; KANE, S. Making” making” accessible. In: *Proceedings of the 12th international conference on interaction design and children,* p. 635-638, 2013.

KIM, J. H. et al. Clinical effectiveness of 3D-modeling-based customized off-loading pressure--relief cushions for spinal cord injury. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, v. 21, n. 10, p. 2140057, 2021.

LANE, J. P. Bridging the Persistent Gap Between R&D and Application: A Historical Review of Government Efforts in the Field of Assistive Technology. *Assistive Technology Outcomes & Benefits*, v. 9, n. 1, 2015.

LAYTON, N. et al. Towards co-design in delivering assistive technology interventions: reconsidering roles for consumers, allied health practitioners, and the support workforce. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 19, n. 21, p. 14408, 2022.

SANTOS, A. V. F.; SILVEIRA, Z. C. Design for assistive technology oriented to design methodology: a systematic review on user-centered design and 3D printing approaches. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, v. 43, n. 11, p. 483, 2021.

SCHERER, M. Matching person and technology. *Career paths in telemental health*, p. 269-275, 2017.

SLEGERS, K.; KRIEG, A. M.; LEXIS, M. A. S. Acceptance of 3D printing by occupational therapists: an exploratory survey study. *Occupational Therapy International*, v. 2022, n. 1, p. 1–13, 2022.

Clinical and user perspectives in 3D-printed distal radius fracture orthosis: innovating through iterative Design

Rorato, Eduardo Keller*[1]; Ganga, Thabata Alcantara Ferreira[2]; Tacza, Yeni Varillas[3]; Kunkel, Maria Elizete[4]

1 – Instituto de Ciência e Tecnologia, UNIFESP, ek.rorato@unifesp.br

2 – Instituto de Ciência e Tecnologia, UNIFESP, thabata.ganga@unifesp.br

3 – Instituto de Ciência e Tecnologia, UNIFESP, yeni.varillas@unifesp.br

4 – Instituto de Ciência e Tecnologia, UNIFESP, elizete.kunkel@unifesp.br

* - Correspondência: Rua Talim, 330, Vila Nair, São José dos Campos, São Paulo, Brasil, 12231-280.

DOI 10.52050/9788579177149-14

ABSTRACT

Distal radius fractures require tailored immobilization solutions to promote bone healing and restore function. This study aims to document an iterative, practice-based workflow for developing a custom 3D-printed orthosis guided by clinical and user feedback. Methodology included an initial hybrid thermoforming prototype, followed by 3D limb scanning, Blender- based modeling, and four cycles of additive manufacturing using PLA and ABS variants. Results demonstrated improved anatomical fit, enhanced breathability, and user comfort, with optimized shell thickness, refined ventilation patterns, and anatomically informed adjustments. These findings offer a replicable protocol for integrating advanced digital fabrication into clinical practice, education, and assistive technology development.
Keywords: *3D printing, distal radius fracture, orthosis design.*

1. INTRODUCTION

Distal radius fracture is the most common fracture affecting the upper extremity (Kong et al., 2025). Effective treatment focuses on restoring anatomical alignment and joint stability, controlling pain, promoting functional recovery, and preventing complications to ensure optimal rehabilitation outcomes (Kuloor & Shareef, 2019). While plaster casts are traditionally used due to their cost-effectiveness, newer thermoplastic orthoses offer improved

comfort, hygiene, and usability without compromising clinical outcomes (Klopfer et al., 2023; D'Amado et al., 2024).

An orthosis is an externally applied device designed to support or restrict movement of a body segment following injury, deformity, or surgery. Thermoplastic orthoses, while offering advantages over plaster casts, often suffer from poor ventilation, localizeddiscomfort, and technical challenges during fabrication (Bakshi et al., 2023).

The fabrication of traditional thermoplastic orthoses for the upper limb starts with the creation of a flexible template, drawn onto a sheet of paper or fabric with the patient's hand positioned on top. This template is cut out and briefly tested on the patient to check the fit. Once adjusted, the final template is traced onto a thermoplastic sheet, which is then cut, heated, and molded over the patient's limb to achieve the correct shape. This process requires skill and experience to ensure comfort and proper function, as each patient's anatomy and clinical needs may present unique challenges (Savoldelli et al., 2024).

The integration of new materials and advanced manufacturing technologies, particularly computer-aided design (CAD), computer-aided engineering (CAE), and computer-aided manufacturing (CAM), significantly enhances the design and production of customized orthoses (Tobler-Ammann et al., 2025). These technologies facilitate the creation of lighter, more comfortable, accessible and personalized orthotic devices, which can lead to improved user acceptance and continuous use (Alqahtani et al., 2020; Barrios-Muriel et al., 2020). Structured digital workflows, integrating 3D scanning and additive manufacturing, now enable the in-hospital production of highly customized, anatomically compliant orthoses (Buonamici et al., 2018; Guida et al., 2019).

High-resolution anatomical scans are used in CAD to create detailed 3D models, allowing for precise visualization and customization tailored to each patient (Sala & Richert, 2025). These digital models can then be functionally validated and stress-tested in virtual biomechanical simulations using CAE, ensuring optimal performance and durability. Once validated, CAM software converts the designs into precise tool paths, supporting efficient and reproducible fabrication through additive manufacturing technologies (Choubey, 2025).

Additive manufacturing, particularly Fused Deposition Modeling (FDM), has transformed orthosis fabrication by enabling fast, customized production of complex devices. FDM involves the layer-by-layer extrusion of various thermoplastics, selected according to their specific mechanical or thermal properties. For instance, polylactic acid (PLA) is known for rigidity and minimal deformation, acrylonitrile butadiene styrene (ABS) and polyethylene

terephthalate glycol (PETG) offer better impact resistance, and thermoplastic polyurethane (TPU) provides flexibility. Recent studies highlight how appropriate material choice and geometric design significantly influence the stiffness, flexibility, and comfort of orthoses, allowing tailored solutions for different neuromusculoskeletal conditions (Serrano et al., 2024).

Despite recent advances in digital fabrication and materials, integrating these technologies into routine clinical practice remains challenging, especially within the Brazilian healthcare system, where solutions must be accessible, efficient, and adaptable to local conditions. Motivated by a personal experience of sustaining a distal radius fracture, this work documents the iterative design and advanced manufacturing process of a custom orthosis, aiming not only at technical refinement but also at building essential expertise for future training programs, knowledge dissemination, and broader implementation ofpersonalized orthotic solutions within the Brazilian public health system (SUS).

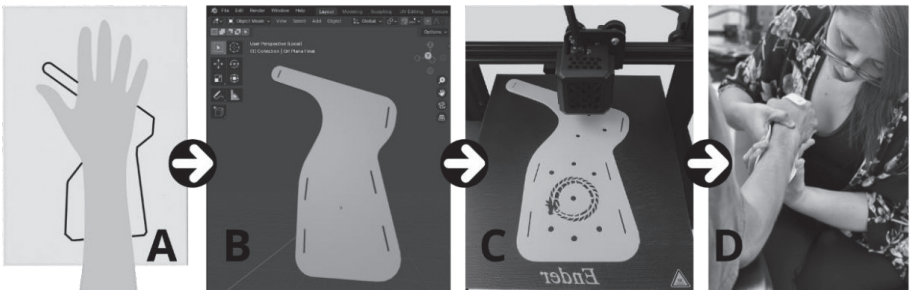
2. DEVELOPMENT

The development of the custom distal radius fracture orthosis was carried out in two major phases. Phase 1 established a hybrid workflow that combined traditional thermoforming with additive manufacturing to produce an initial functional prototype. Phase 2 transitioned to a fully digital process—beginning with 3D limb scanning and unfolding across four iterative design cycles of biomodel manipulation, orthosis sculpting, slicing, and FDM printing.

Phase 1 – Integrated Prototype: Additive Manufacturing Integrated with Traditional Thermoforming

The first prototype was developed collaboratively with an occupational therapist experienced in traditional thermoplastic orthoses. Key steps included manual template creation, limb fit testing, and digital modeling of the orthosis shape using Blender software (version 3.6 LTS). The orthosis featured a 2.5 mm wall thickness, small ventilation holes, Velcro strap slots, and an ouroboros aesthetic feature. It was fabricated in PLA using a Creality Ender 3 printer, with slicing performed in Ultimaker Cura. Post-printing adjustments involved gradual thermoforming directly onto the patient's limb, with continuous assessment by the occupational therapist to identify and document areas requiring refinement. Figure 1 illustrates the step-by-step process of the first prototype's development, from manual template creation to digital modeling, 3D printing, and thermoforming for clinical fitting.

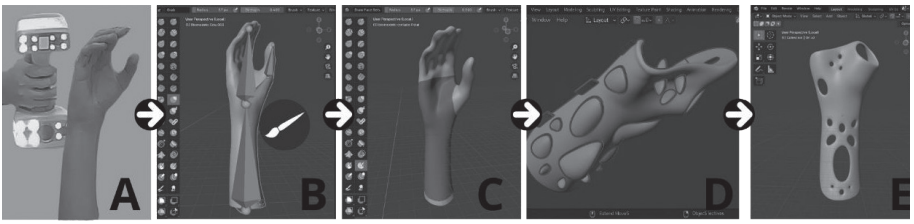
Figure 01 - Paper mold of the orthosis (A); 3D model in Blender (B); Orthosis during printing (C); Orthosis thermoforming (D).



Phase 2 – Transition to Fully Digital Workflow: 3D Scanning and Iterative Modeling

The transition to a fully digital workflow began with the acquisition of a high-resolution 3D scan of the affected limb using a Shining H2 scanner (Figure 2A). The resulting mesh was then imported into Blender (version 3.6 LTS), where it was manipulated and optimized for orthotic modeling (Figure 2B). In Blender's sculpt mode, a custom mask was outlined on the biomodel to define the orthosis coverage (Figure 2C); this outline was then used to generate the orthosis shell with offset and a uniform wall thickness. Ventilation holes were integrated into the design (Figure 2D), and the final 3D model was exported for fabrication (Figure 2E).

Figure 02 - 3D limb scanning with Shining H2 (A); Refined biomodel (B); Custom orthosis mask outline (C); Integrated ventilation holes (D); Orthosis model exported for fabrication (E).



The digital workflow was applied in four prototyping cycles, each using a 1 mm offset from the scanned biomodel. In the first iteration, a 3 mm shell was created with ventilation holes Boolean-cut directly into the orthosis mesh. The second iteration maintained the 3 mm thickness but moved hole placement into the mask outline before printing. In the third and fourth iterations, the biomodel underwent additional refinement, the shell thickness was raised to 4 mm, and the mask-based ventilation pattern was maintained.

Alongside these design refinements, each iteration also employed specific printer, material, and slicing software combinations (Table 1). The first digital prototype used ABS on a Creality CR200B with Ultimaker Cura. The second iteration printed carbon fiber– reinforced PLA (PLA–CF) on a Bambu Lab X1 Carbon using Bambu Studio. Both the third and fourth cycles returned to ABS on a Creality K1 Max, also sliced in Bambu Studio. In every cycle, printing parameters were initially set to the slicing software's recommended presets and then fine-tuned as needed; these adjustments are detailed in the Results section.

Table 01 - Printer, material, and slicing software used in each Phase 2 prototyping cycle.

ITERATION	1	2	3 and 4
PRINTER	 CR200b	 X1C	 K1 Max
MATERIAL	ABS	PLA-CF	ABS
SLICER	Cura	Bambu Studio	Bambu Studio

3. RESULTS

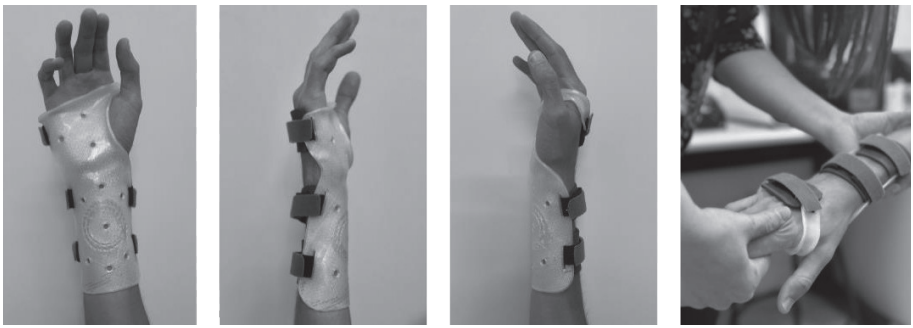
This section presents results related to the manufacturing process—covering material selection, printer limitations, and slicing strategies—followed by outcomes from each phase of iterative prototyping and design.

Phase 1 – Integrated Prototype: Additive Manufacturing Integrated with Traditional Thermoforming

Under the occupational therapist's guidance, the final orthosis configuration positioned the wrist in slight ulnar deviation with three-point fixation (hand, wrist, and forearm) and incorporated palm support for optimal stability (Figure 3). Shaping the PLA device directly on the patient's limb proved more demanding than conventional methods, necessitating multiple heat-and-fit cycles to achieve a satisfactory fit. After one week of wear, a targeted modification relieved

pressure over the bony prominence at the thumb base, further enhancing comfort.

Figure 03 - Phase 1 orthosis prototype.



PLA was selected for its well-established thermoforming properties, and the shell's 2.5 mm wall thickness replicated conventional thermoplastic sheets—ensuring both formability and structural integrity. Printing on the entry-level Creality Ender 3 revealed a limited build area that constrained the wrist-to-elbow span. Reducing the extrusion temperature to 180– 190 °C—particularly when using older PLA spools—significantly improved surface quality.

Phase 2 – Transition to Fully Digital Workflow: 3D Scanning and Iterative Modeling

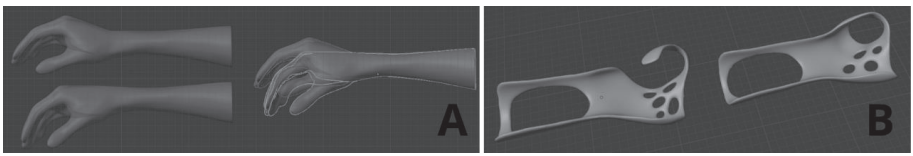
The first fully digital prototype introduced a thumb-wrapping design, smooth organic borders, and added padding over the wrist's bony prominence. It used off-the-shelf, auto- attachable Velcro straps inserted through Boolean-cut slots, but the Boolean modifier caused occasional mesh errors. Moreover, the excessive number and size of holes revealed minor structural weaknesses in the 3 mm shell. In the second iteration, those straps were bonded directly to the shell, allowing the lateral walls to be lowered for enhanced comfort and mobility. Ventilation holes were then outlined on the mask itself—streamlining the modeling process and optimizing breathability, surface aesthetics, and mechanical strength. Figure 4 presents the two first prototypes of Phase 2.

Figure 04 - Prototype 1 and 2 of Phase 2



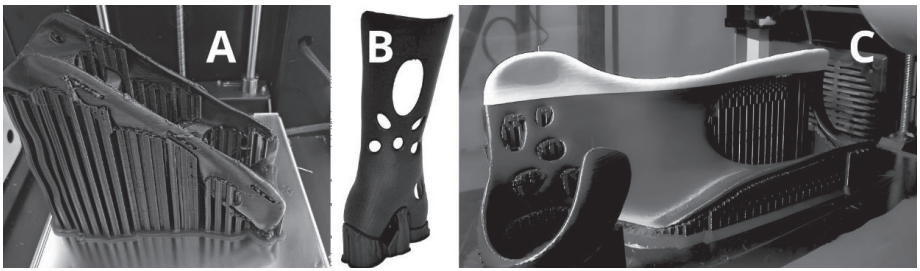
Building on clinical feedback, advanced rigging techniques in Blender allowed precise anatomical adjustments to the biomodel. At an orthopedist's recommendation, the wrist was repositioned into increased dorsal extension (Figure 5A), beneficial for conditions like carpal tunnel syndrome and post-operative immobilization. Two final prototypes were then produced: one retaining the thumb-wrapping design for maximal stability, and the other reverting to the original thumb-free configuration from Phase 1 to maximize hand mobility (Figure 5B). Both configurations demonstrated improved palmar and lateral movement, and are being presented to orthopedic specialists for comparative validation, with the goal of identifying the optimal design for specific clinical scenarios.

Figure 05 - Anatomical rigging adjustment showing increased dorsal wrist extension (A); Comparison of the two final prototype configurations: thumb-wrapping design (right) and thumb-free design (left) (B).



Printing the first digital prototype on the Creality CR200B demanded angled orientation and substantial support structures due to its limited build area, resulting in increased material waste (Figure 6A). Consistent ABS prints were obtained by reducing the first-layer speed to 40 mm/s and adding a brim to enhance bed adhesion. The Bambu Lab X1 Carbon, using PLA–CF, produced rigid, matte-finished orthoses; print orientation was adjusted to minimize support usage, though at the expense of ideal mechanical strength (Figure 6B). Finally, the Creality K1 Max delivered both high print quality and cost-effectiveness. In this phase, the optimal orientation for mechanical strength was employed (Figure 6C), combined with a high support–interface density and a one–layer gap to ensure easy support removal and an excellent surface finish.

Figure 06 - Angled ABS print on Creality CR200B with extensive supports (A); Support oriented matte-finished PLA–CF prototype (B); ABS orthosis on Creality K1 Max using optimal orientation and high-density support interface (C).



4. DISCUSSION AND CONCLUSION

Addressing the challenges of implementing advanced fabrication in the Brazilian healthcare system—where accessibility, efficiency, and adaptability are paramount—this work documented a practice-based, iterative methodology for creating a custom 3D-printed orthosis for distal radius fractures. Inspired by the author's personal injury experience, the study confirmed that combining hybrid thermoforming and fully digital workflows can yield patient-specific devices that meet clinical requirements and support local resource constraints.

Practically, the project established a streamlined protocol encompassing 3D limb scanning, Blender-based modeling, and FDM production; identified optimal shell thicknesses (3–4 mm) and ventilation strategies; and validated material–printer pairings that balance strength, aesthetics, and comfort. The resulting orthoses demonstrated improved fit, breathability, and user satisfaction compared to traditional methods, while reducing manual molding effort and patient discomfort.

Looking ahead, we recommend integrating finite element analysis to anticipate stress points, evaluating new biocompatible and sustainable materials, and conducting formal clinical trials—particularly to compare thumb-wrapping versus thumb-free configurations across diverse patient groups. These steps will support the development of training programs and knowledge-sharing initiatives, furthering the adoption of personalized orthotic solutions within the SUS and similar healthcare environments.

ACKNOWLEDGMENT

The authors gratefully acknowledge the support of the Secretária da Informação e Saúde Digital do Ministério da Saúde (SEIDIGI), the Programa de Educação pelo Trabalho para a Saúde – PET Saúde Digital, the Conselho Nacional

de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), and the Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) for their funding and technical assistance in this project.

REFERENCES

ALQAHTANI, Mohammed; ALQAHTANI, Mohammed; AL-TAMIMI, Abdulsalam Abdulaziz; AL-TAMIMI, Abdulsalam Abdulaziz; ALMEIDA, Henrique A.; COOPER, Glen; BARTOLO, Paulo Jorge da Silva. A review on the use of additive manufacturing to produce lower limb orthoses. v. 5, n. 2, p. 85–94, 2020. DOI: 10.1007/S40964-019-00104-7.

BAKSHI, Priya; CASTILLO, Daisy; MITCHENER, Heidi; LAGERHAUSEN, Zoee; PAISLEY, Lauren; QUINLIVAN, Amanda; ANDREAE, Brandi. Thermoplastic material selection and barriers to custom orthotic fabrication: A survey of occupational and physical therapists. The Open Journal of Occupational Therapy, v. 11, n. 4, p. 1–13, 2023. DOI: 10.15453/2168-6408.2143.

BARRIOS-MURIEL, Jorge; ROMERO-SÁNCHEZ, Francisco; ALONSO-SÁNCHEZ, Francisco Javier; RODRÍGUEZ SALGADO, David. Advances in Orthotic and Prosthetic Manufacturing: A Technology Review. Materials, v. 13, n. 2, p. 295, 2020. DOI: 10.3390/MA13020295.

BUONAMICI, Francesco; FURFERI, Rocco; GOVERNI, Lapo; LAZZERI, Simone; MCGREEVY, Kathleen S.; SERVI, Michaela; EMILIANO, Talanti; UCCHEDDU, Maria Francesca; VOLPE, Yary. A CAD-based procedure for designing 3D printable arm-wrist-hand cast. Computer-Aided Design and Applications, v. 16, n. 1, p. 25–34, 2018. DOI: 10.14733/CADAPS.2019.25-34.

D'AMADO, Marcelo P.; ALBUQUERQUE, João Bourbon de; BEZOLD, Will A.; CRIST, Brett D.; COOK, JamesL. Biomechanical comparison of traditional plaster cast and 3D-printed orthosis for external coaptation of distal radius fractures. Annals of 3D Printed Medicine, v. 10, p. 100146, 2024. DOI: 10.1016/j.stlm.2024.100146.

GUIDA, P.; CASABURI, A.; BUSIELLO, T.; LAM BERTI, D.; SORRENTINO, A.; IUPPARIELLO, L.; D'ALBORE, M.; COLELLA, F.; CLEMENTE, F. An alternative to plaster cast treatment in a pediatric trauma center using CAD/CAM technology to manufacture customized three-dimensional-printed orthoses in a totally hospital context: a feasibility study. Journal of Pediatric Orthopaedics B, v. 28, n. 3, p. 248–255, 2019. DOI: 10.1097/BPB.0000000000000589.

KONG, Mingdong; FANG, Christian; YUNG, Colin Shing-Yat; KWOK, Theresa; LEUNG, Keith Sai Kit; LEUNG, Frankie. Evaluation of using grip strength and hand muscle cross-sectional area to predict secondary fractures post distal radius fracture. Archives of Osteoporosis, v. 20, n. 1, p. 1–12, 2025. DOI: 10.1007/s11657-024-01465-5.

KLOPFER, Tim; HEMMANN, Philipp; RUPPRECHT, Verena; STUBY, Fabian; STÖCKLE, Ulrich; MEDER, Adrian. Outcome analysis of distal radius fracture with orthosis versus cast immobilization after palmar plate osteosynthesis: A randomized controlled study. Journal of Personalized Medicine, v. 13, n. 1, p. 130, 2023. DOI: 10.3390/jpm13010130.

KULOOR, Subraya Bhat; SHAREEF, Abdul Jameel. Distal radius fractures with unstable distal radioulnar joint treated by volar plate: a comparative study of immobilization versus early mobilization. Journal of Orthopaedic Association of South India, v. 16, n. 3, p. 45–50, 2019. DOI: 10.4103/JOAS.JOAS_6_19.

SAVOLDELLI, Veruschka; POZZI, Jaqueline; TREVELIN, Marília; OLIVEIRA, Rosana. Curso Mãos à Órtese. [híbrido], Santos (SP): Hamato Reabilitação, maio 2024. 20h.

SERRANO, Katherine Dayana Alberto; SILVA, Jorge Vicente Lopes da; LEIVA, Karla Miriam Reyes. Finite element analysis on solid ankle-foot orthosis with additive manufacturing materials. 2024. DOI: 10.1109/ehb64556.2024.10805597.

Confecção de uma prótese estética de baixo custo para membro superior

Leite, William Bezerra[*1]; Santos, Vivian Cerqueira[2]; Santos, Pablio Cerqueira[3]; Mota, Renata de Souza[4]; Souza, Nilmar[5]

1 – Departamento da Área de Conhecimento Interdisciplinar, UFRB, wbl.fisio@gmail.com
2 – Departamento de Engenharias, UFRB, viviansantos@aluno.ufrb.edu.br
3 – Departamento de Engenharias, UFRB, pabliocerqueira@aluno.ufrb.edu.br
4 – Departamento da Área de Conhecimento Interdisciplinar, UFRB, renatamota@ufrb.edu.br
5 – Departamento de Engenharias, UFRB, nilmar@ufrb.edu.br
* - Correspondência: Av. Centenário, 697, Bairro Sim, Feira de Santana, Bahia, Brasil, 44042-280.

DOI 10.52050/9788579177149-15

RESUMO

As próteses estéticas de membro superior trazem ao indivíduo uma sensação de conforto emocional e melhora no equilíbrio corporal. Estas próteses são confeccionadas a partir de materiais diversos, conforme cada sujeito, considerando fatores como: financeiro, nível da função e material adequado ao objetivo da prótese. O objetivo do trabalho foi desenvolver uma prótese estética de membro superior de baixo custo de maneira artesanal. Foi utilizado materiais como: garrafa pet, flutuador espaguete, mão de borracha, fita crepe, ombreira de neoprene com cinta e uma luva de braço. A prótese trouxe melhora na consciência corporal, equilíbrio e bem-estar emocional ao participante, sendo uma alternativa eficaz e barata para casos de difícil acesso a tecnologias e manufatura aditiva.

Palavras-chave: Tecnologia assistiva, Braço artificial, Tecnologia de baixo custo.

ABSTRACT

Aesthetic upper limb prostheses provide the individual with a feeling of emotional comfort and improved body balance. These prostheses are made from a variety of materials, depending on the individual, taking into account factors such as: finances, level of function and material suited to the purpose of the prosthesis. The aim of this study was to develop a low-cost, handmade aesthetic upper limb prosthesis. The materials used were: a pet bottle, a spaghetti float, a rubber hand,

crepe tape, a neoprene shoulder strap and an arm glove. The prosthesis improved the participant's body awareness, balance and emotional well-being, and is an effective and inexpensive alternative for cases where access to technology and additive manufacturing is difficult.
Keywords: *Assistive technology, Artificial arm, Low-cost technology.*

1. INTRODUÇÃO

Dados da Organização Mundial da Saúde – OMS (2025) revelam que cerca de 15% da população mundial vive com algum tipo de deficiência. No Brasil, o censo de 2025 aponta para 14,4 milhões de pessoas com deficiência, representando 7,3% da população com dois anos ou mais (IBGE, 2025). Para atender essa população algumas ações avançaram nesse sentido, como a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Lei nº 13.146/2015), também conhecida como Estatuto da Pessoa com Deficiência.

As tecnologias assistivas são serviços, recursos, equipamentos, metodologias, estratégias e práticas que possuem a finalidade de promover a funcionalidade, independência e a inclusão das pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida (BRASIL, 2009). A Tecnologia Assistiva é classificada em 12 categorias, conforme BERSCH (2017), sendo as órteses e próteses uma delas.

De acordo com o MINISTÉRIO DA SAÚDE (2016), a prótese possui a função de substituir um membro, geralmente em forma de pernas e braços, utilizada em situações em que o indivíduo perdeu o membro por acidentes, más formações congênitas, distúrbios vasculares, dentre outras causas. A utilização de uma prótese após uma amputação, oferece uma agradável imagem corporal, ajudando o amputado a criar maior confiança em suas aptidões físicas, aumentando sua qualidade de vida (LUZ, 2001).

As próteses que são utilizadas para membro superior se classificam conforme o nível de amputação, assim como em relação aos modelos e funcionalidades. Deste modo, existem as próteses passivas, mecânicas, pneumáticos e mioelétricas (JIMENEZ, 2021). As próteses passivas, são também chamadas de próteses cosméticas, possui como função principal obter uma extremidade com aparência realista. A melhora da estética acarreta o custo da funcionalidade reduzida. Essas próteses limitam-se a tarefas básicas, como empurrar e puxar, bem como estabilizar um objeto segurado (CUCCURULLO, 2004).

As próteses costumam ter um custo muito alto, principalmente as personalizadas, impossibilitando o acesso à grande maioria da população que necessita desse equipamento. Geralmente, os fatores que tornam esse dispositivo com elevado custo, são a personalização, a mão de obra

extremamente qualificada e escassa, alto custo dos materiais e o processo de fabricação complexo, dentre outras situações.

O objetivo do presente trabalho foi desenvolver uma prótese estética de membro superior de baixo custo de maneira artesanal, que possa ser feita por qualquer pessoa e que proporcione ao indivíduo amputado uma melhor qualidade de vida.

2. DESENVOLVIMENTO

Foi realizada a confecção de uma prótese estética para atender a um homem de 36 anos, com amputação transumeral medial em membro superior direito. Foi utilizado os seguintes materiais para confecção da prótese: uma garrafa de plástico (pet) de refrigerante de 2 litros, um flutuador espaguete, uma mão de borracha, fita crepe, cola instantânea, uma ombreira com cinta de neoprene e uma luva de braço, que também pode ser chamada de manguito para motoqueiro.

Os procedimentos para a confecção da prótese foram os seguintes: 1º Medição do tamanho do coto, 2º Cortar a garrafa pet ao meio, no ponto em que o bico da mesma fique ao nível do cotovelo, deixando-a sem tampa, 3º Cortar o flutuador espaguete o deixando com a medida do antebraço, 4º Fazer um orifício na ponta do flutuador para encaixe no bico da garrafa pet, 5º Colar o orifício do flutuador no bico da garrafa pet com cola instantânea, 6º Na outra ponta do flutuador encaixar a mão de borracha com fita crepe, 7º Envolver a garrafa pet com a ombreira de neoprene, 8º Passar fita crepe em todo o flutuador com a finalidade de engrossar o mesmo. 9º Cobrir o pulso e antebraço da prótese com a luva de braço. O coto do voluntário foi envolvido com uma proteção de silicone tipo liner e a prótese encaixada no coto no orifício da garrafa pet (figura 1) e fixada no ombro contralateral através do velcro da ombreira (figura 2).

3. RESULTADOS

Os resultados a seguir são demonstrados através de imagens do coto do amputado, da confecção da prótese e da mesma sobre o coto do amputado.

Figura 1 - Coto transumeral do amputado e Garrafa pet envolvida por ombreira de neoprene



Figura 2 - Detalhes da prótese e Homem amputado utilizando a prótese



O participante do estudo relatou que a prótese é leve, foi de fácil adaptação, em uma semana estava adaptado e a tem utilizado na prática de atividades como o futebol e o ciclismo, relatou também que o encaixe no coto funcionou bem e ela proporcionou um melhor equilíbrio de tronco e consciência corporal, além do conforto emocional que sente ao utilizá-la.

A tabela 1 detalha os custos para a confecção da prótese.

Tabela 1 - Custos para confecção da prótese

Materiais	Custo
Garrafa pet	9,90
Flutuador espaguete	12,00
Mão de borracha	86,22

Materiais	Custo
Fita crepe	7,00
Cola instantânea	12,00
Ombreira com cinta	70,00
Luva de braço	13,90
Total	211,02

Próteses estéticas de membros superiores comercializadas são projetadas para simular a aparência de um membro real e possuem o preço médio entre R$3.000,00 a R$10.000,00 (PROTETICS, 2024). Em uma revisão integrativa de MORIMOTO et al (2021), foram analisados nove estudos sobre próteses de membro superior confeccionadas por impressora 3D, com relação ao valor do produto, as próteses variavam entre U$20,00 e U$1.250,00. A manufatura aditiva pode ser considerada uma boa opção na redução de custos para confecção de uma prótese estética de membro superior, porém ainda são poucos os lugares que possuem essa tecnologia.

A confecção da prótese desenvolvida em nosso estudo pode ser viável pelo baixo custo dos materiais e facilidade de montagem, porém pode apresentar limitações para o seu desenvolvimento como: falta de conhecimento dos materiais, dificuldade de realizar buscas em sites de compras dos produtos na internet e falta de habilidade da pessoa que for realizar a confecção da mesma.

4. CONCLUSÕES

O propósito do estudo foi desenvolver uma prótese estética de membro superior de baixo custo de maneira artesanal. O objetivo foi alcançado através da confecção da prótese com materiais de baixo custo, de fácil acesso, sendo que alguns como a mão de borracha, a ombreira de neoprene e a luva de braço possuem um custo bem menor ao serem adquiridos em lojas virtuais.

A prótese desenvolvida pode ser uma boa opção para pessoas que não possuem condições financeiras de adquirir uma prótese de uma empresa especializada. Mesmo sendo uma prótese estética de membro superior, o participante do estudo relatou satisfação com o seu uso, tanto na questão funcional como emocional.

Estudos com mais participantes e utilizando instrumentos de avaliação reconhecidos e validados são necessários para afirmar os ganhos relativos ao equilíbrio e consciência corporal e do conforto emocional, influenciando na qualidade de vida das pessoas amputadas de membros superiores.

REFERÊNCIAS

BERSCH, R. *Introdução À Tecnologia Assistiva*, Porto Alegre, RS, 2017. www.assistiva. com.br.

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

CUCCURULLO S. *Physical Medicine and Rehabilitation Board Review.* Demos Medical, New York: 2004.

IBGE. *IBGE divulga censo sobre pessoas com deficiência no Brasil*, 2025. https://www.gov.br/mdh/pt-br/assuntos/noticias/2025/maio/pela-primeira-vez-ibge-divulga-dados-sobre-pessoas-com-deficiencia-no-brasil

JIMENEZ, F. M. R. *Implementação da metodologia de design thinking no desenvolvimento de uma prótese robótica de membro superior.* 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) UFMG, Belo Horizonte, 2021.

LUZ, S. C. T. *Análise da marcha em portadores de prótese do membro inferior.* 2025. Dissertação (Mestrado em Ciências do Movimento Humano) - UDESC, Florianópolis, 2001.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Datasus. Informações de Saúde (Tabnet).* Brasília, DF; 2016. https://goo.gl/pRDToU.

MORIMOTO, S. Y. U. *et al.* Órteses e próteses de membro superior impressas em 3D: uma revisão integrativa. *Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional*. V.29, n.e2078, p.1-14. 2021.

OMS. *World Report on Disability*, 2025. https://www.who.int/publications/i/item/ world-report-on-disability.

PROTETICS. *Qual o valor de uma prótese ortopédica?* 2025. https://www.protetics.com.br/qual-o-valor-de-uma-protese-ortopedica#

Desenvolvimento de prótese de mão de baixo custo como estratégia didática para o ensino em órtese e prótese

Alexandrino, Taís dos Santos[1]; Bonfim, Amanda Maria[2]; Bião, Menilde Araújo Silva[3]

1 – CEEINFOR Mãe Stella, alexandrina.14@gmail.com

2 – CEEINFOR Mãe Stella, amandabonfim.fisio@gmail.com

3* – CEEINFOR Mãe Stella, menildebiao@gmail.com

*- Correspondência: Avenida Artêmia Pires, SIM, Feira de Santana, Ba, Brasil, 44085-370

DOI 10.52050/9788579177149-16

RESUMO

Este relato descreve o desenvolvimento de um modelo funcional de prótese de mão com materiais de baixo custo, integrando teoria e prática na formação técnica em órtese e prótese. A metodologia abrangeu: revisão bibliográfica, seleção do modelo, levantamento de materiais, modelagem e testes. O modelo didático demonstrou viabilidade estrutural e funcional para simulação de movimentos básicos de preensão, servindo como ferramenta educacional para compreensão dos princípios biomecânicos. Conclui-se que a utilização de metodologias ativas viabiliza o desenvolvimento de soluções aplicáveis em tecnologia assistiva, promovendo uma formação profissionalizante humanizada.
Palavras-chave: prótese de mão, tecnologia assistiva, educação profissional.

ABSTRACT

This report describes the development of a functional hand prosthesis model with low-cost materials, integrating theory and practice in technical training in orthosis and prosthesis. The methodology included: bibliographic review, model selection, material survey, modeling and testing. The didactic model demonstrated structural and functional feasibility for simulating basic gripping movements, serving as an educational tool for understanding biomechanical principles. It is concluded that the use of active methodologies enables the development of applicable solutions in assistive technology, promoting humanized professional training.
Keywords: *hand prosthesis, assistive technology, professional education.*

1. INTRODUÇÃO

A discussão acerca das Tecnologias Assistivas (TA) insere-se no cerne da promoção dos direitos humanos, da acessibilidade universal e da inclusão plena de pessoas com deficiência. Segundo o Relatório Global sobre Tecnologia Assistiva publicado pela Organização Mundial da Saúde e o Fundo das Nações Unidas para a infância, esses recursos não apenas mantêm e aprimoram a funcionalidade individual, como também constituem pré-requisitos para o exercício dos direitos garantidos pela Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência (OMS; UNICEF, 2022, p.19).

No Brasil, ocorrem aproximadamente 1.500 amputações de membros superiores anualmente, decorrentes principalmente de acidentes de trânsito, complicações vasculares, infecções ou má formação congênita (JORGE,2020, p.000). Tal realidade evidencia a carência de dispositivos assistivos acessíveis e de serviços integrados de reabilitação.

As amputações de membros superiores são 20% menos frequentes do que as de membros inferiores. No entanto, a perda parcial ou total do membro pode trazer graves consequências funcionais, como dificuldade na execução de tarefas cotidianas, prejuízos socioeconômicos, redução da capacidade laboral, com limitações na socialização e impacto na qualidade de vida (BRASIL, 2019, p.000).

Diante desse contexto, é essencial democratizar o conhecimento e capacitar profissionais para desenvolver soluções acessíveis. A formação técnica em órtese e prótese deve superar a simples reprodução de técnicas, integrando metodologias ativas de aprendizagem baseadas em projetos, nas quais os estudantes participam ativamente desde o planejamento até a execução, estimulando a criatividade, a autonomia intelectual e o pensamento crítico (THOMAS, 2000, p.6.; BELL, 2010, p.41).

Esse posicionamento está em consonância com a Lei Brasileira de Inclusão (BRASIL, 2015) e com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, que enfatizam a necessidade de garantir o acesso à tecnologia assistiva como instrumento de equidade social (ONU, 2015, p.18).

Partindo dessa perspectiva, o presente relato técnico tem o objetivo de descrever o desenvolvimento de um modelo funcional de prótese de mão elaborado com materiais de baixo custo, integrando teoria e prática na formação técnica em órtese e prótese.

2. DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do modelo funcional foi fundamentado na aplicação de conhecimentos em anatomia, fisiologia e biomecânica durante as aulas da

disciplina “Fundamentos da Ortopedia Técnica” do Curso Técnico em Órtese e Prótese e tem finalidade didática explícita, permitindo que os estudantes visualizem os princípios biomecânicos de próteses mecânicas (alavancagem, tração, distribuição de forças) e relacionem teoria com aplicações técnicas. O desenvolvimento foi realizado nas seguintes etapas:

1. Levantamento bibliográfico sobre próteses para amputação do tipo desarticulação do punho (próteses para mão).
2. Seleção do modelo protético: O modelo de referência foi inspirado no modelo desenvolvido por Romero (2020, p.35). Optou-se por um design mecânico articulado, baseado em princípios de alavancagem e tração, capaz de simular movimentos básicos de preensão sem o uso de componentes eletrônicos.
3. Identificação dos materiais (com especificações e custo total): Os materiais foram escolhidos com base em critérios de acessibilidade, sustentabilidade e funcionalidade:
   I. Sonda de aspiração nº 12 (R$2,39/unidade)
   II. Seringas descartáveis de 5ml (R$0,99/unidade)
   III. Fio de nylon 2.4 mm (R$23,06/rolo)
   IV. Cola quente (R$0,90/unidade)
   V. Velcro 5cm (R$2,00/cm)
   Custo total: R$31,32

A seleção teve como base a proposta de minimizar custos e facilitar a replicação do projeto no contexto educacional. Logo, alguns dos insumos utilizados na confecção, como papelão duplex, lápis, tesoura e régua estavam disponíveis na instituição de ensino.

4. Modelagem e montagem do modelo funcional: O desenho técnico foi elaborado com base em medidas anatômicas simplificadas. A estrutura da mão foi esculpida em papelão e articulada por meio de eixos improvisados com seringas e fios. A sonda de aspiração permitiu a simulação dos tendões flexores, acionados por tração manual. A montagem seguiu princípios de modularidade e adaptação, permitindo ajustes durante os testes.
5. Testes preliminares e ajustes: O sistema de tração manual acionado por um operador externo (estudante) simulou movimentos de preensão, mas não foi testado em pacientes devido à natureza educacional do projeto.

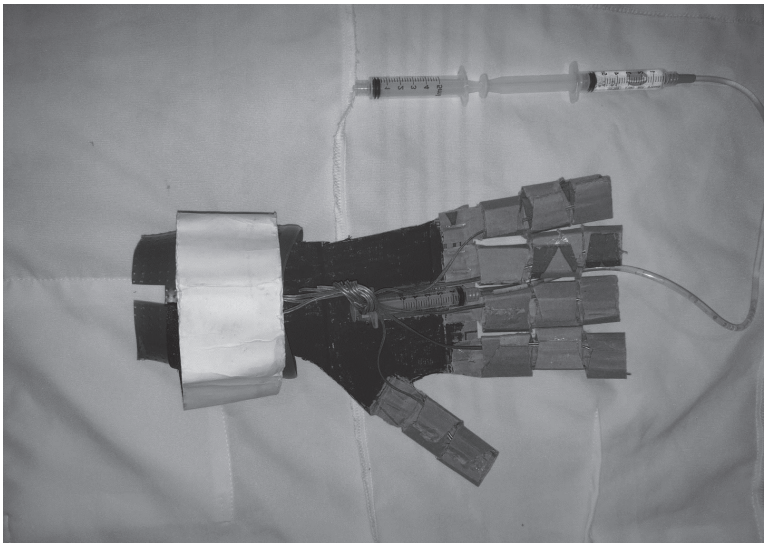
3. RESULTADOS

O modelo permitiu que os estudantes compreendessem a relação entre anatomia (inserção dos tendões), identificassem limitações de materiais de baixo

custo (durabilidade do papelão) e propuseram melhorias iterativas (ajuste no ângulo da articulação), promovendo um ambiente de aprendizagem colaborativa. A abordagem prática favoreceu a consolidação de saberes técnicos e o desenvolvimento de competências, como resolução de problemas, criatividade e trabalho em equipe.

Com o modelo desenvolvido, foi possível reproduzir os movimentos de abrir e fechar os dedos, graças a um sistema que utiliza seringa e sonda como cabo de tração, simulando o funcionamento de uma mão natural (Figura 1).

Figura 01- modelo funcional de prótese de mão.



Além disso, o uso de materiais acessíveis reforçou a dimensão social da TA, evidenciando que soluções simples podem atender demandas reais de aprendizado, sobretudo em contextos de baixa renda ou infraestrutura limitada.

4. CONCLUSÕES

A aprendizagem baseada em projetos mostrou-se eficaz para consolidar conhecimentos técnicos e habilidades, como criatividade e trabalho em equipe. O modelo desenvolvido é uma ferramenta educacional replicável, especialmente em instituições com recursos limitados. O desenvolvimento do modelo funcional possibilitou a materialização de conceitos teóricos e a vivência prática de processos inovadores e adaptativos.

Conclui-se que a utilização de materiais de baixo custo, combinada à aprendizagem baseada em projetos, viabiliza o desenvolvimento de soluções aplicáveis em tecnologia assistiva, contribuindo para a formação humanizada de

futuros profissionais de ortopedia técnica. Como perspectivas futuras, propõe-se parcerias interdisciplinares com cursos de fisioterapia e engenharia, visando ao aprimoramento técnico e avaliação funcional do modelo.

REFERÊNCIAS

BELL, S. *Project-Based Learning for the 21st Century: Skills for the future. The Clearing House:* A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas, v. 83, n. 2, p. 39–43, 2010.

BRASIL, Ministério da Saúde. Guia para Prescrição, Concessão, Adaptação e Manutenção de Órteses, Próteses e Meios Auxiliares de Locomoção. Brasília: Ministérios da Saúde, 2019.

BRASIL. *Lei n. 13.146, de 6 de julho de 2015*. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 7 jul. 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Diretrizes de Atenção à Pessoa Amputada*. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2013. (Série B. Textos Básicos de Saúde).

BRASIL. Ministério da Saúde. *Indicadores de Saúde – Amputações no SUS*. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Manual de Terapias e Atividades Educativas e Recreativas em Reabilitação*. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria nº 1.060, de 5 de junho de 2002*. Estabelece normas de organização e funcionamento dos Serviços de Atenção à Pessoa com Deficiência no âmbito do SUS. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 6 jun. 2002.

GUERREIRO, R. C. et al. Reabilitação de amputados: o papel da equipe interdisciplinar. *Revista Brasileira de Reabilitação*, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 57–63, 2021.

JORGE, A. *Dados epidemiológicos nacionais de amputação e proposta de dispositivo para treinamento de usuários de próteses de membro superior*. 2020. 145 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). *Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. Nova Iorque: ONU, 2015.

ROMERO, Rodrigo Cézar da Silveira. *Desenvolvimento de prótese passiva para mão humana com sistema mecânico para restaurar movimentos dos dedos*. 2020. 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

SILVA, D. S.; ALMEIDA, J. R. Educação em saúde: estratégias para a reabilitação de pessoas amputadas. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 37, n. 10, 2021.

THOMAS, J. W. *A Review of Research on Project-Based Learning*. San Rafael, CA: Autodesk Foundation, 2000.

WORLD HEALTH ORGANIZATION; UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND (UNICEF). *Global Report on Assistive Technology*. Geneva: WHO, 2022.

Desenvolvimento de prótese endoesquelética transtibial de baixo custo: relato de experiência na formação técnica em órtese e prótese

Alexandrino, Taís dos Santos[1]; Souza, Fernanda Santana[2]; Bonfim, Amanda Maria[3]; Bião, Menilde Araújo Silva[4]

1* – Centro Estadual de Educação, Inovação e Formação da Bahia Mãe Stella, CEEINFOR, alexandrina.14@gmail.com

2 – Centro Estadual de Educação, Inovação e Formação da Bahia Mãe Stella, CEEINFOR, souzasant.fernanda@gmail.com

3 – Centro Estadual de Educação, Inovação e Formação da Bahia Mãe Stella, CEEINFOR, amandabonfim.fisio@gmail.com

4* – Centro Estadual de Educação, Inovação e Formação da Bahia, Mãe Stella, CEEINFOR, menildebiao@gmail.com

*Correspondência: Avenida Artêmia Pires, SIM, Feira de Santana, Bahia, Brasil, 40230-621

DOI 10.52050/9788579177149-17

RESUMO

As próteses são fundamentais para a reinserção social de pessoas com amputação, garantindo mobilidade e qualidade de vida. Este relato descreve o desenvolvimento de um protótipo de prótese endoesquelética transtibial. A metodologia incluiu levantamento dos tipos de próteses disponíveis no mercado, optando-se pela construção de um protótipo endoesquelético transtibial de baixo custo. Os resultados comprovam a viabilidade técnica da produção e sua aplicabilidade como ferramenta didática. Conclui-se que o protótipo desenvolvido apresenta aspectos positivos, como auxílio na formação profissional do técnico em órtese e prótese e avanço na busca de soluções acessíveis em Tecnologia Assistiva.

Palavras-chave: prótese transtibial, baixo custo, tecnologia assistiva.

ABSTRACT

Prosthetics are essential for the social reintegration of people with amputations, ensuring mobility and quality of life. This report describes the development of a prototype of a transtibial endoskeletal prosthesis. The methodology included a survey of the types of prostheses available on the market, opting for the construction of a low-cost transtibial endoskeletal prototype. The results prove the technical

feasibility of production and its applicability as a teaching tool. It is concluded that the development prototype presents positive aspects, such as aiding in the professional training of orthosis and prosthesis technicians and advancing the search for affordable solutions in Assistive Technology.
Keywords: *transtibial prosthesis, low cost, assistive technology.*

1. INTRODUÇÃO

A amputação de membros inferiores é uma realidade significativa no cenário da saúde pública brasileira, correspondendo a aproximadamente 94% das amputações realizadas pelo Sistema Único de Saúde (SUS). Desse total, cerca de 80% ocorrem em decorrência de doenças vasculares periféricas e/ou diabetes, enquanto causas traumáticas, como acidentes de trânsito e ferimentos por arma de fogo, representam a segunda maior incidência (BRASIL, 2013, p.7).

As amputações transtibiais são mais frequentes que qualquer nível de amputação do membro inferior. A preservação da articulação do joelho permite que a maioria das pessoas submetidas a esse nível de amputação retome suas atividades cotidianas por meio do uso de próteses (BRASIL, 2014, p. 269). Tais dispositivos, classificados como recurso de Tecnologia assistiva, tem como finalidade ampliar a atividade e participação social de pessoas com deficiência, promovendo autonomia e independência funcional (BASTOS,2023, p.00).

As próteses transtibiais destacam-se como instrumentos fundamentais no processo de reabilitação, ao restabelecer a mobilidade adequada ao usuário. Nesse contexto, o técnico em órtese e prótese assume papel central, atuando diretamente na fabricação, adaptação e manutenção desses equipamentos, atuando na produção destes equipamentos. O domínio das técnicas de confecção protética constitui competência essencial em sua formação, uma vez que esse profissional acompanha o usuário, desde a fabricação da prótese, ajustes e acompanhamento durante o uso (BRASIL, 2014, p.48).

Diante dessa demanda, consolidou-se uma iniciativa pedagógica colaborativa entre discentes e docentes, visando analisar sistematicamente as etapas de fabricação protética, enfatizando o papel do técnico no ambiente das oficinas ortopédicas. Como desdobramento prático, implementou-se um projeto pedagógico voltado ao desenvolvimento de um protótipo de prótese transtibial, utilizando material de baixo custo.

Nesse cenário, este relato técnico tem como objetivo descrever o processo de desenvolvimento do protótipo de prótese endoesquelética transtibial.

2. DESENVOLVIMENTO

A construção do protótipo foi conduzida por três estudantes do curso técnico em órtese e prótese, sob orientação da docente da disciplina, Fundamentos da Ortopedia Técnica. Inicialmente, realizou-se um levantamento bibliográfico sobre próteses para amputação transtibial, bem como mapeamento dos modelos de próteses disponíveis no mercado.

A partir da revisão bibliográfica e mapeamento das próteses foi elaborado um projeto e levantamento do material adequado para sua construção. A seleção priorizou custo acessível e disponibilidade no comércio local, garantindo a viabilidade econômica do projeto. As etapas de desenvolvimento seguiram a lógica técnica convencional de confecção de próteses transtibiais, adaptadas às condições do projeto:

1. Aquisição e organização dos materiais: Identificação dos materiais (com especificações e custo total), sendo escolhidos com base em critérios de acessibilidade, sustentabilidade e funcionalidade:
   I. Atadura gessada 20cmx4cm (R$10,91/ unidade).
   II. Gesso branco 2kg (R$5,00/2000g)
   III. Lixa d'agua (R$2,69/unidade).
   IV. Lixa de gesso (R$2,10/ unidade).
   V. Material termoplástico de baixa densidade (R$17,90/ 1 metro).
   VI. Cola instantânea 5g (R$6,90/unidade).
   VII. Cola quente (R$0,90/unidade).
   Custo total: R$ 46,40.

A instituição de ensino forneceu materiais de uso comum, tais como: lápis, caneta, tesoura, estilete, cola de silicone, fita métrica, folhas de EVA (etileno acetato de vinila) e tubos de alumínio de 30 a 40 cm de comprimento. Esses materiais, juntamente com os demais insumos adquiridos, tiveram aplicação essencial para a proposta técnica do projeto.

2. Produção do molde negativo com atadura gessada;
3. Confecção do molde positivo e acabamento após secagem;
4. Confecção do encaixe interno;
5. Fixação do encaixe a estrutura da barra de alumínio e acabamento final.

Confecção e montagem do protótipo

A montagem do protótipo foi baseada em medidas anatômicas simplificadas do membro inferior. Inicialmente, para a criação do pé protético, foi confeccionado um molde negativo a partir do pé de um estudante, utilizando atadura gessada, tala de termoplástico de proteção, caneta e tesoura para

marcações e ajustes anatômicos. Em seguida, o molde foi preenchido com gesso líquido, dando origem ao molde positivo. Durante essa etapa, foi inserido o tubo de alumínio no gesso ainda fresco, permitindo sua fixação interna no molde e garantindo estabilidade estrutural. Após a secagem completa, o molde passou por um processo de acabamento com lixas, com o objetivo de desbastar e alisar a superfície.

Para a confecção do encaixe, as medidas antropométricas previamente coletadas foram aplicadas na modelagem de um molde primário, confeccionado em material termoplástico de baixo custo. O processo de conformação incluiu o corte preciso com instrumento cortante e o acabamento das bordas por meio de lixamento manual, garantindo a remoção de irregularidades e a obtenção de um perfil cônico anatomicamente compatível com a anatomia residual transtibial.

Na sequência, foi feito um furo na parte inferior do encaixe, permitindo a fixação do tubo de alumínio com o uso de cola instantânea, garantindo alta fixação e estabilidade.

Para o acabamento, o encaixe foi revestido com folhas de EVA, tanto na parte externa quanto interna, conferindo conforto interno e aparência similar a um encaixe convencional utilizado em próteses transtibiais.

Todo o processo foi minuciosamente documentado através de registros fotográficos, relatório técnico detalhado e análise crítica em grupo. A iniciativa buscou simular condições reais de produção, integrando conhecimentos teóricos e práticos para consolidar as competências técnicas dos estudantes e prepará-los para os desafios da atuação profissional.

3. RESULTADOS

A execução do projeto resultou na construção de um protótipo funcional de prótese endoesquelética transtibial que, embora não destinado a aplicação clínica, cumpriu com êxito seu propósito didático. O produto finalizado demonstrou capacidade de simulação satisfatória das principais características estruturais e funcionais de uma prótese transtibial convencional, proporcionando uma representação fiel do processo técnico de fabricação.

Durante o desenvolvimento, constatou-se que a utilização de materiais alternativos não prejudicou a compreensão das etapas produtivas (moldagem, acabamento e montagem). Proporcionou maior flexibilidade para experimentação, facilitando significativamente o processo de aprendizagem.

O protótipo foi submetido à avaliação por uma profissional com ampla experiência em confecção de próteses e reabilitação do amputado, recebendo os seguintes destaques:

I. Inovação metodológica, pela abordagem criativa na utilização de materiais alternativos.
II. Excelência técnica, demonstrada na precisão da execução e documentação do processo.
III. Relevância pedagógica, pelo seu valor como ferramenta de ensino na formação técnica em órtese e prótese.

A comparação visual entre o protótipo desenvolvido e uma prótese convencional pode ser observada na Figura 01, demonstrando a similaridade estrutural entre os modelos.

Figura 01 - Comparativo entre prótese convencional e protótipo finalizado.



4.CONCLUSÕES

A confecção do protótipo de prótese endoesquelética transtibial apresentou resultados satisfatórios em relação ao objetivo proposto, consolidando-se como ferramenta de aprendizagem para o curso técnico em órtese e prótese. A atividade permitiu aos estudantes compreender, na prática e de forma contextualizada, as etapas de fabricação protética, reforçando os conteúdos teóricos abordados em sala de aula.

Além do aprimoramento técnico, o projeto destacou o papel do técnico em órtese e prótese no contexto multiprofissional da reabilitação, evidenciando sua atuação integral, desde o planejamento até a fabricação do dispositivo. A construção do protótipo, mesmo com material de baixo custo, demonstrou ser

possível reproduzir com fidelidade os princípios funcionais de uma prótese, contribuindo tanto para a formação quanto para o desenvolvimento de soluções criativas em tecnologias assistivas. Como contribuição para a área, recomenda-se a ampliação de iniciativas semelhantes em cursos técnicos, a fim de promover a integração entre teoria e prática profissional.

REFERÊNCIAS

BASTOS, P. A. L. S. et al. Assistive technology and public policies in Brasil, *Caderno Brasileiro de Terapia Ocupacional*, vol. 31, n. 1, jan. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. *Diretrizes de atenção à pessoa amputada / Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. 1. ed. 1. reimp.* – Brasília: Ministério da Saúde, 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. *Diretrizes de atenção à pessoa amputada / Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. 2. ed.* – Brasília: Ministério da Saúde, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção Especializada à Saúde. Departamento de Atenção Especializada e Temática. *Guia para prescrição, concessão, adaptação e manutenção de órteses, próteses e meios auxiliares de locomoção*. Brasília: Ministério da Saúde, 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Gestão do Trabalho e da Educação na Saúde. Departamento de Gestão da Educação na Saúde. *Técnico em órteses e próteses: livro-texto/ Ministério da Saúde*. Secretaria de Gestão do Trabalho e da Educação na Saúde. Departamento de Gestão do Trabalho na Saúde – Brasília: Ministério da Saúde, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Gestão do Trabalho e da Educação na Saúde. *Confecção e manutenção de órteses, próteses e meios auxiliares de locomoção: confecção e manutenção de próteses de membros inferiores, órteses suropodálicas e adequação postural em cadeira de rodas.* Ministério da Saúde, Secretaria de Gestão do Trabalho e da Educação na Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2013.

CASTANEDA, L. Próteses de membros superiores e inferiores: indicações e confecção. In: UNIVERSIDADE ABERTA DO SUS. UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO. Atenção à pessoa com deficiência I: transtornos do espectro do autismo, Síndrome de Down, pessoa idosa com deficiência, pessoa amputada e órteses, próteses e meios auxiliares de locomoção. *Prescrição, Concessão, Adaptação e Manutenção de Órteses, Próteses e Meios Auxiliares de Locomoção*. São Luís: UNA-SUS; UFMA, 2021.

Desenvolvimento de protótipo de prótese oculopalpebral com cinesia palpebral

Santos, Ana Julia Turko*[1]; Stoppa, Marcelo Henrique[2]; Foggiatto, José Aguiomar[3]

1 – Engenharia Mecatrônica, UTFPR, anajuliasantos@alunos.utfpr.edu.br

2 – Engenharia Mecatrônica, UFCAT, mhstoppa@ufcat.edu.br

3 – Departamento de Mecânica, UTFPR, foggiatto@utfpr.edu.br

* - Correspondência: NUFER/DAMEC/UTFPR-CT - Rua Deputado Heitor de Alencar Furtado, 5000, Sala EM-101, Ecoville, Curitiba, PR, Brasil, 81.280-340.

DOI 10.52050/9788579177149-18

RESUMO

Indivíduos podem necessitar da remoção do globo ocular e tecidos adjacentes devido a lesões, anomalias congênitas ou doenças. Nestes casos, é indicada a utilização de uma prótese oculopalpebral, o qual abrange a reabilitação de estruturas como pálpebras, músculos e pele. Contudo, as versões disponíveis atualmente no mercado são essencialmente estáticas, limitando o realismo estético. Diante disso, propõe-se o desenvolvimento de um protótipo de prótese oculopalpebral com um dispositivo de pálpebra móvel, confeccionado em silicone de grau médico. O protótipo foi desenvolvido com o uso do silicone PlatSil Gel 0020, utilizando moldes e componentes produzidos por meio de manufatura aditiva, incluindo o mecanismo de movimentação palpebral. O resultado obtido apresenta potencial para integração com um sistema eletromecânico, possibilitando o movimento da pálpebra de forma sincronizada com o olho sadio, proporcionando maior naturalidade à prótese.

Palavras-chave: prótese oculopalpebral, silicone, manufatura aditiva.

ABSTRACT

Individuals may require the removal of the eyeball and adjacent tissues due to injuries, congenital anomalies, or diseases. In such cases, the use of an oculopalpebral prosthesis is indicated, as it encompasses the rehabilitation of structures such as the eyelids, muscles, and skin. However, the versions currently available on the market are essentially static, limiting aesthetic realism. In response to this, the development of a prototype of an oculopalpebral prosthesis with a movable

eyelid device is proposed, made from medical-grade silicone. The prototype was developed using PlatSil Gel 0020 silicone, with molds and components produced through additive manufacturing, including the eyelid movement mechanism. The result shows potential for integration with an electromechanical system, enabling synchronized eyelid movement with the healthy eye and providing greater naturalness to the prosthesis.
Keywords: *oculopalpebral prosthesis, silicone, additive manufacturing.*

1. INTRODUÇÃO

Pacientes que sofrem exenteração orbitária - remoção cirúrgica do globo ocular associada à retirada de estruturas adjacentes como, músculos, pálpebras, tecidos moles e, em alguns casos, parte do osso orbital - necessitam de reabilitação estética por meio de uma prótese oculopalpebral. Esse tipo de prótese se diferencia das próteses oculares simples por abranger a restauração não apenas do globo ocular, mas também das pálpebras e dos contornos orbitais comprometidos (DA SILVA et al., 2020; RODRIGUES et al., 2019).

As próteses oculopalpebrais disponíveis atualmente são, em sua maioria, estáticas, o que prejudica o realismo estético e a interação social do paciente. A ausência de movimento palpebral, especialmente da pálpebra superior, compromete a naturalidade da prótese, limitando a expressão facial e impactando negativamente a autoestima e a qualidade de vida dos usuários (VIEIRA, 2016).

Os resultados de uma prótese são restritos pelos materiais utilizados em sua confecção, além das propriedades físicas e mecânicas de cada projeto (VIEIRA, 2016). Diante disso, o uso de materiais como o silicone de grau médico tem se mostrado vantajoso, principalmente por apresentar biocompatibilidade, elasticidade, resistência ao rasgo e capacidade de simular com fidelidade a textura da pele humana (CACCIATORE; KONRATH, 2010). Paralelamente, os avanços em manufatura aditiva possibilitam a criação de moldes personalizados com precisão anatômica, contribuindo para a funcionalidade e adaptação da prótese do paciente (SILVA, 2029).

Pesquisas na área da prótese oculopalpebral estão sempre em busca de maneiras de melhorar os processos **de reabilitação**. Seguindo esta linha de pesquisa, propôs-se a criação de um protótipo de prótese de silicone com moldes fabricados por manufatura aditiva. Essa abordagem visa, futuramente, o desenvolvimento de um dispositivo mecânico para solucionar a ausência de movimento na prótese oculopalpebral.

2. DESENVOLVIMENTO

Pessoas de qualquer idade ou sexo podem sofrer a remoção cirúrgica de um olho devido a uma lesão, defeito genético ou doença. O uso de uma prótese oculopalpebral permite que esses indivíduos ganhem uma sensação de autoconfiança e uma autoimagem mais positiva. No entanto, embora as próteses tenham sido desenvolvidas para criar um dispositivo oculopalpebral realista e esteticamente agradável, elas não conseguem fornecer a funcionalidade de um olho normal (OLSON et al., 2010).

O objetivo deste protótipo é a melhora estética facial, não sendo possível devolver a função do órgão perdido, mas com a funcionalidade de poder piscar. Desta forma, não há a necessidade de aplicação em pacientes neste momento de desenvolvimento, já que o objetivo deste projeto é desenvolver conceitos que possam evoluir para um produto totalmente funcional. Como requisitos de projeto, a prótese deve ser suficientemente leve e capaz de receber os componentes que farão o olho piscar.

Um estudo anterior (IMOTO, 2024) já havia desenvolvido um protótipo de prótese oculopalpebral que foi modelada com o olho fechado. Nesse caso a prótese foi modelada em silicone com os olhos fechados e um mecanismo seria colocado para fazer a abertura e fechamento do olho. Porém o silicone utilizado se mostrou frágil para essa geometria, além de não permitir a obtenção do movimento palpebral desejado (Figura 1).

Figura 1 - Prótese testada em silicone com olho fechado. Fonte: Imoto (2024)



Diante disso, realizaram-se estudos acerca de qual material seria ideal para a fabricação da prótese. Durante a Segunda Guerra Mundial, surgiram o látex líquido pré-vulcanizado, as resinas polivinílicas (PVC) e o acrílico, o que facilitou a confecção de próteses faciais para cobrir grandes defeitos faciais, obtendo bons resultados tanto estéticos quanto funcionais (GARCÍA et al., 2006). Por sua vez, o silicone é um material popular na maioria das próteses faciais devido à sua durabilidade, flexibilidade e biocompatibilidade, e pode ser facilmente fabricado

para parecer semelhante à pele (CACCIATORE; KONRATH, 2010). Desta forma, o material a ser utilizado deve possuir propriedades como alta elasticidade, para a movimentação da região palpebral, além de ter aparência parecida com a pele humana, possuir alta durabilidade e ser biocompatível.

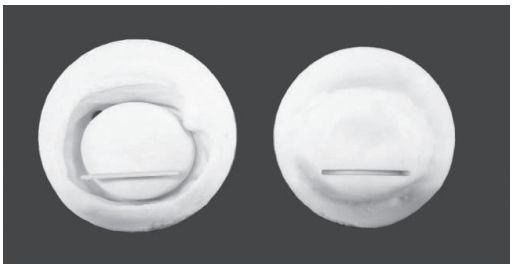
Primeiramente foi utilizado o látex Bi Centrifugado - Pré Vulcanizado, devido a sua alta elasticidade, porém após a realização de alguns testes, percebeu-se que esse material não curava em moldes feitos por manufatura aditiva, mais precisamente utilizando filamento de PLA. Para solucionar este problema foi testada uma recomendação do fornecedor, em que para moldes de resina, borracha de silicone, cimento, entre outros, devem ser passados em uma solução a 25% de cloreto de cálcio em álcool de cereais para que se forme uma película, pois nesses materiais não há absorção de água pelo molde como ocorre nos moldes de gesso.

O segundo teste foi realizado com o material PlatSil Gel 0020, uma borracha de silicone translúcida de cura por adição, com dureza de 20 na escala Shore 00, tendo alto rendimento e alta resistência ao rasgo, propriedade importante para a produção da prótese. Os primeiros testes se mostraram promissores tanto pela elasticidade do material quanto pela possibilidade em fazer uma "pálpebra fina".

O molde foi impresso em filamento de PLA (Figura 2) e em seguida foi feita a moldagem em silicone com a mistura de 1:1 do PlatSil Gel 0020 recomendado pelo fabricante, o resultado obtido pode ser visto na Figura 3.

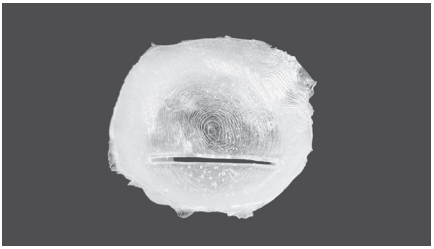
Os primeiros testes com o silicone foram realizados utilizando apenas espátula e tigela (bowl) para a mistura manual das partes A e B do silicone, o que resultava frequentemente na formação de bolhas no interior da prótese após o processo de cura (Figura 3). A presença de bolhas no interior do silicone utilizado em próteses faciais compromete tanto a aparência estética quanto a resistência mecânica do material. Irregularidades superficiais decorrentes dessas bolhas prejudicam a semelhança com a pele humana, enquanto cavidades internas funcionam como pontos de concentração de tensão, favorecendo trincas e rupturas. As bolhas prejudicam as próteses e diminuem a resistência à tração da prótese por constituírem defeitos volumétricos que fragilizam a estrutura (SILVA, 2019, p. 63).

Figura 2 - Molde para prótese de olho fechado impresso em PLA.



Fonte: Autoria Própria (2025)

Figura 3 - Prótese testada em silicone PlaSil 0020.



Fonte: Autoria Própria (2025)

Como a pálpebra confeccionada em silicone apresenta baixa rigidez e não suporta diretamente esforços mecânicos, tornou-se necessária a criação de uma estrutura rígida interna para viabilizar seu movimento. Essa estrutura deve ser anatomicamente compatível com a curvatura palpebral e permitir acoplamento a um mecanismo de movimentação capaz de reproduzir, de forma funcional e natural, o movimento de abertura e fechamento semelhante ao piscar humano.

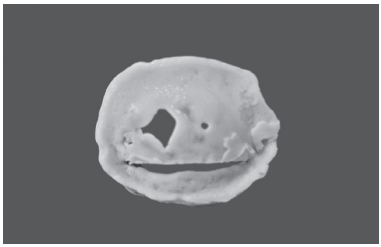
Diversos testes foram realizados para viabilizar o movimento da pálpebra. O primeiro utilizou um arame fino colado na extremidade da prótese, contudo, esse método não reproduzia de forma satisfatória o movimento natural do piscar humano. Para contornar essa limitação, foi desenvolvida uma "pálpebra" rígida inspirada nos mecanismos de abertura utilizados em robôs animatrônicos. Essa estrutura foi modelada no programa SolidWorks (Figuras 7 e 8) e produzida por manufatura aditiva, utilizando o material PLA.

Assim, criou-se uma base rígida que funciona como um "esqueleto" para a pálpebra. Seu formato foi projetado de acordo com a anatomia do olho do paciente, garantindo um encaixe preciso da peça de silicone sem deformações. Essa estrutura é colada à parte interna da pálpebra de silicone, permitindo que o movimento seja transmitido de forma eficaz e com fidelidade ao formato natural.

3. RESULTADOS

O teste com o látex Bi Centrifugado - Pré Vulcanizado, utilizando solução de 25% de cloreto de cálcio em álcool de cereais como agente de cura, demonstrou-se eficiente quanto à cura do material. No entanto, o desempenho final da prótese foi insatisfatório em relação aos requisitos de elasticidade e conformação anatômica. O resultado obtido apresentou rigidez excessiva e ausência de flexibilidade, características inadequadas para simular o movimento natural da pálpebra. Além disso, a aplicação da solução dificultou a formação de uma camada fina e uniforme, essencial para essa região, resultando em uma espessura inadequada e falhas de preenchimento. O látex não aderiu completamente às superfícies internas do molde, ocasionando zonas com ausência de material, como ilustrado na Figura 4.

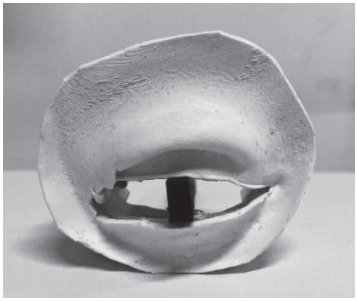
Figura 4 - Prótese testada em látex Bi Centrifugado.



Fonte: Autoria Própria (2025)

A substituição do material anterior pelo silicone PlatSil Gel 0020 solucionou os problemas de fragilidade inicialmente observados, especialmente os rasgos recorrentes na região palpebral, como ilustrado na Figura 5.

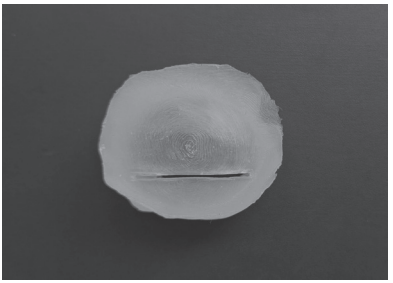
Figura 5 - Primeira versão da prótese com o olho aberto para visualização do movimento de piscada.



Fonte: Imoto (2024)

O novo silicone apresentou melhores propriedades mecânicas, com maior resistência ao rasgo e adequada flexibilidade, tornando-se mais compatível com as exigências funcionais da prótese. O resultado obtido com o uso do PlatSil Gel 0020 demonstrou maior integridade estrutural e fidelidade anatômica, conforme evidenciado na Figura 6.

Figura 6 - Prótese testada em silicone PlaSil 0020 livre de bolhas.



Fonte: Autoria Própria (2025)

Para solucionar o problema relacionado à formação de bolhas após a cura do silicone, foi empregado um misturador a vácuo para realizar o processo de desgaseificação. Este procedimento consiste em submeter o silicone previamente misturado a um ambiente de pressão reduzida (vácuo) promovendo a expansão e consequente eliminação das bolhas de ar incorporadas à massa durante a homogeneização. Complementarmente, após a introdução do silicone ao molde, este foi posicionado sobre uma plataforma vibratória, com o objetivo de favorecer o deslocamento de eventuais bolhas residuais para a superfície, garantindo sua completa eliminação. A aplicação conjunta desses métodos resultou na obtenção de uma prótese com excelente qualidade superficial, livre de bolhas, conforme ilustrado na Figura 6.

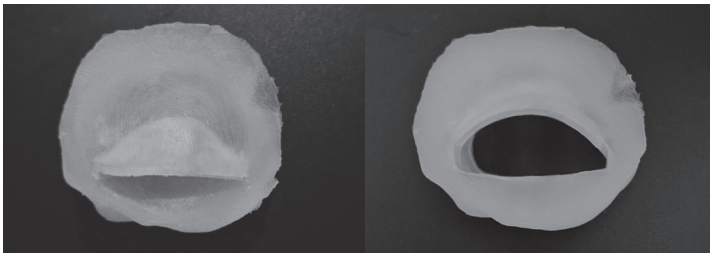
A base rígida, fabricada por meio de manufatura aditiva e projetada com base na anatomia do olho (Figura 7), foi fixada na face interna da prótese de silicone . Esse componente estrutural apresentou um resultado funcional satisfatório, permitindo que o movimento de abertura e fechamento da prótese se correlacionasse de forma mais fiel ao movimento palpebral humano. Durante os testes, verificou-se que a pálpebra de silicone acompanha de maneira satisfatória o deslocamento da base rígida, conferindo maior naturalidade ao movimento, conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 7 - Mecanismo de movimentação da pálpebra.



Fonte: Autoria Própria (2025)

Figura 8 - Prótese com o olho fechado (à esquerda) e aberto (à direita) para visualização do movimento de piscada.



Fonte: Autoria Própria (2025)

4. CONCLUSÕES

A confecção de próteses faciais possui um papel fundamental na reabilitação de pacientes afetados por deformidades na face. A utilização de próteses oculopalpebrais com movimento palpebral é de extrema importância para os pacientes que desejam um maior realismo para sua prótese.

Este estudo contribui para a pesquisa de materiais adequados à confecção de próteses oculopalpebrais, ao avaliar seu desempenho tanto em termos de resistência quanto de propriedades estéticas e funcionais. Além disso, oferece um novo direcionamento para a evolução das próteses oculopalpebrais, ao propor soluções que viabilizam a incorporação de movimento palpebral.

Este projeto é um estudo pioneiro na área de prótese oculopalpebral no Brasil, sendo necessários aprimoramentos de técnicas em estudos futuros. O próximo passo deste estudo é aprimorar a geração do molde para que ele represente fielmente a geometria da pálpebra em movimento. Além disso,

busca-se garantir a compatibilidade desse novo molde com o protótipo eletromecânico responsável pela sincronização do piscar.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação Araucária pelo apoio financeiro através do NAPI-TA (Novo Arranjo de Pesquisa e Inovação em Tecnologia Assistiva), à FAPEG e ao CNPq pela bolsa de produtividade em desenvolvimento tecnológico e extensão inovadora.

REFERÊNCIAS

CACCIATORE, J.; KONRATH, M.; MARZELLA, B.; MUSSER, M. *Blinking Orbital Prosthesis*. Wisconsin: University of Wisconsin - Madison. 2010.

GARCÍA, G. N.; PARRA, T. G. H.; JUÁREZ, M. A. S.; GÓMEZ, C. V.; POLO, T. R.; POLO, I. R. Prótesis maxilofacial: alternativa terapêutica para la recuperación integral del paciente con câncer bucal. *Rev. Med. UV.* v.6, n.1, p.20-27, 2006.

GION, G.; TYLER, M. *Blinking Orbital Prosthesis*. BME, v. 200, p. 300, 2008.

IMOTO, S. P.; FOGGIATTO, J. A. *Desenvolvimento de Próteses Faciais utilizando Manufatura Aditiva e Modelagem 3D*. Relatório de Iniciação Tecnológica, 2024.

RODRIGUES, G. S.; RODRIGUES, . S.; OLIVEIRA, . C. D. . Reabilitação com Prótese Bucomaxilofacial: Revisão de Literatura. *REVISTA SAÚDE MULTIDISCIPLINAR*, *[S. l.]*, v. 5, n. 1, 2020.

SILVA, B. S.; MATTOS, T. C. B..; SHIOTA, E. A. M.; DIAS, S. T.; LEAL, C. M. B.; NICHTHAUSER, B. Reabilitação facial por meio de prótese oculopalpebral. *ARCHIVES OF HEALTH INVESTIGATION*, *[S. l.]*, v. 9, n. 6, p. 563–569, 2020.

SILVA, P. L. C. *Aplicação da impressão 3D e reconstrução digital no desenvolvimento de próteses maxilofaciais*. 2019. f. 98. Mestrado em Engenharia de Produção - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

VIEIRA, L. M. *Prótese óculopalpebral com captação de movimento palpebral: proposta de dispositivo mecânico*. 2016. 68p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências), Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

Desenvolvimento de um protocolo de treinamento de controle de prótese transradial mioelétrica

Avellar, Natália Batista Castilho[1]; Moraes, Maria Rosália de Faria[2*]; Van Petten, Adriana M. Valladão Novais[3]

1 – Mestre em Estudos da Ocupação/UFMG, Departamento de Terapia Ocupacional, UFMG, nbca.oficial@gmail.com
2 – Mestranda em Estudos da Ocupação/UFMG, rosaliafmoraes@outlook.com
3 – Profa. Titular do Departamento de Terapia Ocupacional, UFMG, avaladao@ufmg.br
* Correspondência: Av. Antônio Carlos, 6627 – Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, UFMG – Belo Horizonte, MG, Brasil, CEP 31270-901.

DOI 10.52050/9788579177149-19

RESUMO

Os métodos de treinamento para uso de próteses de membros superiores são diversos, sem uma indicação da melhor proposta a ser utilizada na prática. A lacuna de protocolos de treino é um fator que pode impactar a reabilitação, limitando o controle e corroborando para o abandono das próteses. Buscou-se desenvolver protocolos de treino de controle de prótese transradial, via EMG. Foi realizada revisão da literatura e desenvolvidos protocolos para uso experimental. Indicação de protocolo de teste com indicação de frequência, tempo diário, tarefas. Os resultados podem ajudar a desenvolver intervenções de reabilitação, visando melhorar os serviços prestados para os usuários.
Palavras-chave: próteses, protocolos, treinamento.

ABSTRACT

Training methods for the use of upper limb prostheses are diverse, without any indication of the best approach to be used in practice. The lack of training protocols is a factor that can impact rehabilitation, limiting control and contributing to the abandonment of prostheses. We sought to develop training protocols for transradial prosthesis control via EMG. A literature review was conducted and protocols were developed for experimental use. Indication of a test protocol with frequency, daily time, and tasks specifications. The results can help develop rehabilitation interventions, aiming to improve the services provided to users.

***Keywords*:** *prostheses, protocols, training.*

1. INTRODUÇÃO

A evolução no desenvolvimento de próteses de membro superior (MMSS) tem sido notável nas últimas décadas, entretanto, as taxas de abandono dos dispositivos são consideradas drasticamente altas (SMAIL, et al., 2021, p. 821-830). Sabe-se que as taxas de utilização variam de 27% a 56% (RAICHLE, et al., 2008, p. 961-972). Esses dados estão relacionados a algumas limitações dos dispositivos, como baixa funcionalidade, baixa estética antropomórfica, aspectos biomecânicos que precisam ser aprimorados e controlabilidade limitada (CARROZZA, et al., 2002, p. 108-114; SEMASINGHE, 2019).

Diversos tipos de próteses transradiais estão disponíveis atualmente, desempenhando um papel importante nas soluções de cuidados em saúde. As próteses transradiais podem ser (1) cosméticas; (2) corporais ou (3) mioelétricas ou elétricas. Dentre os três tipos, as próteses mioelétricas são as mais avançadas tecnologicamente, sendo constituídas por dispositivos terminais motorizados e ativadas por contrações musculares residuais com captação de sinais eletromiográficos, proporcionando movimentos como abrir e fechar a mão ou realizar movimentos com o punho (CIPRIANI, et al., 2011, p. 1-13; DEMIR, 2023, p. 261- 265). Os sinais EMG fornecem informações relacionadas à atividade muscular e podem ser utilizados para extrair as intenções de movimento dos indivíduos, sendo utilizados para o controle de dispositivos protéticos. Isso é realizado através da colocação de eletrodos de superfície ou inseridos no próprio músculo (MADUSANKA, et al., 2015, p. 136-141; ZHOU; ALICI, 2022, p. 10292-10307).

É essencial, portanto, o treinamento e ajuste dos dispositivos, visando facilitar a adaptação e o aprendizado para operar as próteses de forma suave e funcional. Para isso, são necessários programas de treinamento e mecanismos de suporte eficazes (TOBIAS, et al., 2025, p.3769). O treinamento para aprender a operar uma prótese e usá-la na vida diária é descrito em diferentes fases: fase pré protética, fase de integração, fase de treinamento de controle e fase de treinamento em atividades diárias. No entanto, pouco se sabe sobre quais métodos são recomendados para o treinamento e se há evidências da eficiência desses métodos (WIDEHAMMAR, et al., 2021, p. 393-400). Ademais, existe uma variabilidade e recursos limitados no treinamento de próteses, demonstrando uma lacuna na literatura a respeito dos protocolos de treinamento de controle para esses dispositivos (BLOOMER, et al., 2018, p. 1-8). Apesar do grande volume de pesquisas sobre aprimoramento de próteses mioelétricas, não existe consenso claro sobre a quantidade de treinamento, frequência e cronograma

da reabilitação, demonstrando uma heterogeneidade dos estudos quanto aos métodos, tempo de intervenção e critérios de sucesso funcional (RESNIK, et al., 2012, p. 710-717). Os protocolos atuais exploram o reconhecimento de padrões (SIMON, et al., 2012, p. 56-64; MOHAMMADREZA, et al., 2025, p. 1338-1348); componentes motivacionais (serious games) (KRISTOFFERSEN, et al., 2021, p. 1-15; MAAS, et al., 2024, p. 1-12), realidade aumentada (HUNT, et al., 2023, p. 1-14; BOSCHMANN, et al., 2021, p. 1-15), feedback em tempo real (POWELL; THAKOR, 2013, p. 30-41; BOUWSEMA, et al., 2014, p. 1-15) e estruturação em fases (NOWAK, et al., 2023, p. 1-20) para promover a adesão dos usuários e resultados funcionais com o treinamento.

Diante do exposto, considera-se que a lacuna na literatura acerca dos protocolos de treinamento limita a padronização do cuidado e comparação de resultados entre estudos. Portanto, o objetivo deste relato técnico foi apresentar os diferentes protocolos existentes e propor um protocolo para o treinamento de controle de uma prótese transradial mioelétrica, a fim de otimizar a reabilitação dos usuários e promover melhores desfechos clínicos.

2. DESENVOLVIMENTO

Trata-se de um estudo de revisão narrativa da literatura e proposta de protocolo de treinamento de controle para próteses transradiais mioelétricas, com base nos resultados encontrados. Considerou-se a seguinte pergunta de pesquisa: "Quais os protocolos de treinamento de controle EMG existentes para próteses de membros superiores?".

Foram realizadas buscas por artigos científicos, capítulos de livros e outros materiais relevantes, nas principais bases de dados acerca do tema (Scopus – Elsevier; Embase - Excerpta Medica Database; MEDLINE - Medical Literature Online Analysis and Recovery System; AMED - Allied and Complementary Medicines Database e IEEE Xplore - Institute of Electrical and Electronics Engineers). As palavras-chave utilizadas nas buscas foram relacionadas a "protocolos"; "treinamento"; "próteses"; "membros superiores" e "EMG". Não houve restrição de data ou língua para os resultados. Após a leitura e análise dos materiais, foi desenvolvido um protocolo de treinamento personalizado, com base nos principais achados em comum e possíveis demandas dos usuários.

3. RESULTADOS

Muitos trabalhos se concentram em aspectos técnicos da prótese, como a captação do sinal eletromiográfico e a precisão dos movimentos (GEETHANJALI, 2016, p. 247-255). Diversos estudos sugerem que o treinamento e o ajuste precoce

das próteses por uma equipe experiente e a educação do paciente são essenciais para aumentar as chances de aceitação dos dispositivos (RESNIK, et al., 2012, p. 710-717). A duração do treino pode variar e depender de aspectos relacionados ao nível de amputação; complexidade do equipamento; necessidades funcionais e grau de motivação e aprendizagem dos usuários. As recomendações existentes para duração, frequência e intensidade do treinamento variam (RESNIK, et al., 2012, p. 710-717).

A literatura descreve algumas etapas comuns para o processo de reabilitação, geralmente, divididas em algumas fases: 1) Treinamento do controle EMG básico para ensinar os usuários a gerar e controlar os sinais EMG de forma consistente (POWELL; THAKOR, 2013, p. 30-41; CHADWELL, et al., 2018; BIDDISS; CHAU, 2007, p. 236-257); 2) Treinamento Funcional Progressivo para aplicação dos sinais em Atividades de Vida Diária (AVDs) e tarefas funcionais; 3) Integração cognitiva e automação do uso (RESNIK, et al., 2012, p. 710-717; CHADWELL, et al., 2018; TOBIAS, et al., 2025, p.3769; ATKINS, 2002; p.39-59; BLOOMER, et al., 2018; p. 1-8; JOHNSON, MANSFIELD, 2014; p. 133-151), com o objetivo de tornar o uso mais natural e reduzir a carga cognitiva; 4) Ajustes e avaliações, visando adaptar o treinamento de acordo com a evolução do usuário e personalização da reabilitação (VUJAKLIJA, et al., 2016; p. 7). O uso de treinamento guiado por tela também é utilizado. Isso é feito ao solicitar os indivíduos que realizem os movimentos específicos usando imagens exibidas em uma tela, e os dados de EMG correspondentes são amostrados (CHICOINE, et al., 2012, p. 1876-1879).

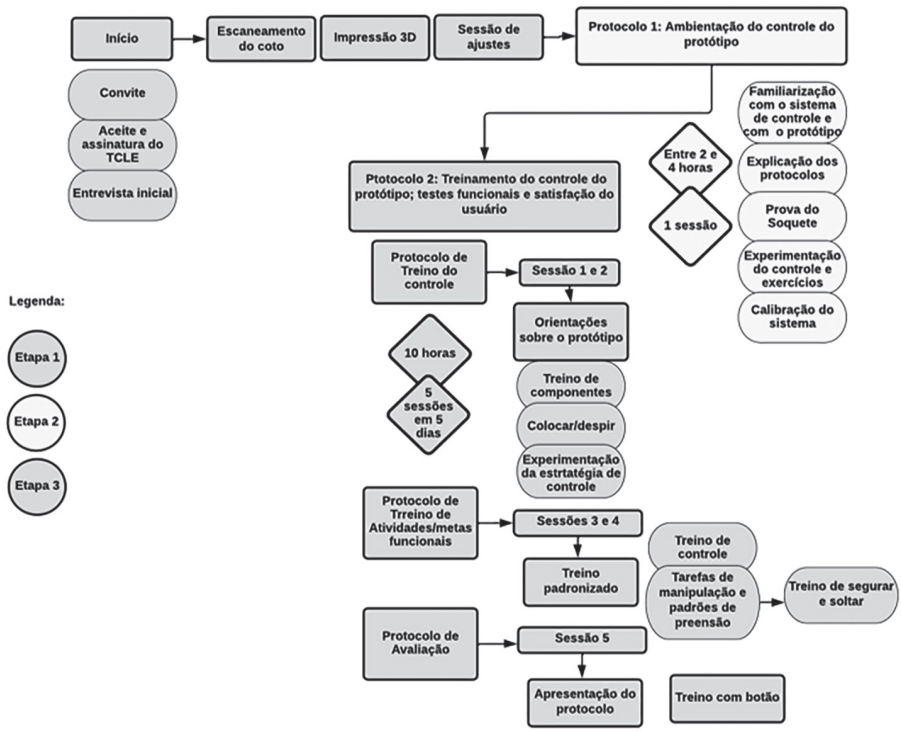
Considerando os achados do estudo, foram desenvolvidas três etapas que contemplam protocolos de treinamento específicos para próteses transradiais mioelétricas. A Etapa 1 consiste na coleta de dados, através de uma entrevista inicial; escaneamento do coto para impressão 3D de soquete personalizado e sessão de ajustes. A Etapa 2 consiste no "Protocolo de treino 1" em que serão realizadas a ambientação e treino do controle da prótese. Propõe-se a ambientação em uma única sessão, com duração entre 2 e 4 horas, para familiarização do usuário com o sistema de controle; a explicação dos protocolos; prova do soquete; experimentação do controle e exercícios e por fim, a calibração do sistema.

O "Protocolo de treino 2" consiste no treinamento do controle da prótese; testes funcionais e avaliação da satisfação dos usuários. O protocolo será realizado durante um período de 3 semanas, em dias alternados, totalizando 5 sessões, em 5 dias e 10 horas de treinamento.

As sessões 1 e 2 são para o treinamento do controle usando a prótese. Nessas sessões serão realizadas orientações sobre o dispositivo; treino de componente; treino de colocar/despir a prótese e experimentação da estratégia

de controle. Nas sessões 3 e 4 será realizado o protocolo de treino de AVDs e metas funcionais. Será realizado o treino padronizado do controle e de tarefas de manipulação e diferentes padrões de preensão (treino de segurar e soltar). Por fim, na seção 5 será realizada apresentação do protocolo de testes funcionais e satisfação e treino de AVDs utilizando o controle EMG ou um botão (caso o controle EMG não seja satisfatório). Serão dadas instruções verbais para os usuários sobre o funcionamento do botão, que deverá ser acionado e pausado no início e fim do movimento desejado. O movimento será escolhido através da interface gráfica, em um computador. Os indivíduos terão 5 minutos de descanso ou mais se necessário, a cada 30 minutos de treino. A última sessão terá duração estimada de 2 horas. Cada etapa foi adaptada e baseada em estudos prévios da literatura (BLOOMER, et al., 2018, p. 1-8; BLOOMER et al., 2020, p. 1-16). A Figura 1 demonstra todos os procedimentos descritos.

Figura 1 - Diagrama de procedimentos



Fonte: Adaptado de (BLOOMER, et al., 2018, p. 1-8; BLOOMER et al., 2020, p. 1-16)

4. CONCLUSÕES

O objetivo deste relato técnico foi apresentar o desenvolvimento de protocolo para o treinamento de controle de uma prótese transradial mioelétrica, a fim de otimizar a reabilitação dos usuários e promover melhores desfechos clínicos. Foi possível desenvolver uma proposta personalizada de protocolo de treino, no entanto, ainda é necessária a realização de testes com usuários para possíveis ajustes.

Espera-se que o desenvolvimento do protocolo proposto auxilie na reabilitação de usuários de próteses mioelétricas de membros superiores. Ao buscar contemplar os principais aspectos abordados na literatura que eram relevantes para os usuários e favorecer a adaptação e personalização do programa de treinamento, protocolos como esses podem auxiliar na adaptação e aprendizagem do uso de próteses, corroborando para o não abandono dessas tecnologias assistivas.

Sugere-se a realização do treinamento e testes clínicos com usuários, a fim de comparar desfechos e promover o desenvolvimento e adaptação de programas de treinamento significativos e personalizados. Isso pode contribuir para possível padronização das recomendações clínicas e diretrizes baseadas em evidências que otimizem a reabilitação e promovam melhores resultados clínicos para os usuários dessas tecnologias assistivas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos às agências de fomento Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG); Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP- MS/SCTIE/DGITIS – Tecnologia Assistiva – 06/2020). Também agradecemos a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), ao Programa de Mestrado em Estudos da Ocupação e ao Laboratório de Bioengenharia (LabBio – UFMG) que contribuíram para a realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

ATKINS, D. *Atlas of Limb Prosthetics: Surgical, Prosthetic, and Rehabilitation Principles*. . *2. ed.* Adult Upper Limb Prosthetic Training. Rosemont, American Academy of Orthopedic Surgeons, p. 39-59, 2002.

BIDDISS, E.A.; CHAU, T.T. Upper limb prosthesis use and abandonment: A survey of the last 25 years. *Prosthet. Orthot. Int*. Ontário, v. 31, n.3, p.236-257, set. 2007.

BLOOMER, C.; WANG, S.; KONTSON, K. Creating a standardized, quantitative training protocol for upper limb bypass prostheses. *Physical medicine and rehabilitation research.* Silver Spring, v. 3, n. 6, p. 1–8, 2018.

BLOOMER, C.; WANG, S.; KONTSON, K. Kinematic analysis of motor learning in upper limb body--powered bypass prosthesis training. *PLOS ONE*, v. 15, n. 1, p. 1-16, jan. 2020.

BOSCHMANN, A; NEUHAUS, D; VOGT, S. et al. Immersive augmented reality system for the training of pattern classification control with a myoelectric prosthesis. *J NeuroEngineering Rehabil*. Paderborn, v. 18, n. 25, p. 1-15, 2021.

BOUWSEMA, H; VAN DER SLUIS, C.K; BONGERS, R.M. Changes in performance over time while learning to use a myoelectric prosthesis. *J. NeuroEngineering Rehabil.* Groningen, v. 11, n. 16, p. 1-15, 2014.

CARROZZA, M.C.; MASSA, B.; MICERA, S.; LAZZARI, R.; ZECCA, M.; DARIO, P. The development of a novel prosthetic hand-ongoing research and preliminary results. *IEEE/ASME Trans Mechatronics*. Valdera, v. 7, n.2, p.108-114, 2002.

CHADWELL, A.; KENNEY, L.; THIES. S.; GALPIN, A.; HEAD, J. The reality of myoelectric prostheses: understanding what makes these devices difficult for some users to control. *Front. Neurorobot*. Salford, v.12, n.15, abr. 2018.

CHICOINE, C. L.; SIMON, A.M.; HARGROVE, L.J. Prosthesis-guided training of pattern recognition--controlled myoelectric prosthesis. *In: Annual International Conference of IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, n. 2012*, 2012, San Diego. IEEE. P. 1876-1879, 2012.

CIPRIANI, C.; CONTROZZI, M.; CARROZZA, M. C. The SmartHand transradial prosthesis. *Journal of neuroengineering and rehabilitation.* Pontedera, v. 8, p. 1-13, 2011.

DEMIR, Yasin. Upper limb prosthetic prescription. *Turkish journal of physical medicine and rehabilitation*. Ankara, v. 69, n. 3, p. 261–265, Set. 2023.

GEETHANJALI, P. Myoelectric control of prosthetic hands: state-of-the-art review. *Medical Devices: Evidence and Research*. Tamil Nadu, p. 247-255, 2016.

HUNT, C.L; SUN, Y; WANG, S; SHEHATA, A.W; HEBERT, J.S; GONZALEZ-FERNANDEZ, M; KALIKI, R.R; THAKOR, N.V. Limb loading enhances skill transfer between augmented and physical reality tasks during limb loss rehabilitation. *J. Neuroeng. Rehabil.* Baltimore, v. 20, n. 1, p. 1-14, 2023.

JOHNSON, S. S.; MANSFIELD, E. Prosthetic Training: Upper Limb *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*. Houston, v. 25, p. 133–151, 2014.

KRISTOFFERSEN, M.B; FRANZKE, A.W; BONGERS, R.M. et al. User training for machine learning controlled upper limb prostheses: a serious game approach. *J. NeuroEngineering Rehabil.* Groningen, v. 18, n. 32, p. 1-15, 2021.

MADUSANKA, D. G. K; WIJAYASINGHA, L. S. N; GOPURA, R; AMARASINGLE, Y.W.R.; MANN, G.K.I. A review on hybrid myoelectric control systems for upper limb prosthesis. *In: Moratuwa Engineering Research Conference, n. 2015,* 2015, Moratuwa*, IEEE.*, p. 136–141, 2015.

MASS, B; VAN DER SLUIS, C. K; BONGERS, R. M. Assessing effectiveness of serious game training designed to assist in upper limb prosthesis rehabilitation. *Front. Rehabil. Sci.* Groningen, v.5, p. 1-12, 2024.

MOHAMMADREZA, E; FONSECA, V.P.D; JIANG, X. Investigating the Impact of Training Protocols on Myoelectric Pattern Recognition Control in Upper-Limb Amputees. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng*. Newfoundland, v. 33, p. 1338-1348, 2025.

NOWAK, M; BONGERS, R.M; VAN DER SLUIS, C.K. et al. Simultaneous assessment and training of an upper-limb amputee using incremental machine-learning-based myocontrol: a single-case experimental design. *J. NeuroEngineering Rehabil*. Weßling, v. 20, n. 39, p. 1-20, 2023.

POWELL, M.A.; THAKOR, N.V. A training strategy for learning pattern recognition control for myoelectric prostheses. *JPO Journal of Prosthetics and Orthotics*. Baltimore, v. 25, n.1, p. 30-41, jan. 2013.

RAICHLE, K.A.; HANLEY, M.A.; MOLTON, I.; KADEL, N. J.; CAMPBELL, K.; PHELPS, E.; EHDE, D.; SMITH, D. G. Prosthesis use in persons with lower and upper-limb amputation. *Journal of Rehabilitation Research and Development*. Seattle, v. 45, n.7, p. 961-972, 2008.

RESNIK, L.; MEUCCI, M.R.; LIEBERMAN-KLINGER, S.; FANTINI, C.; KELTY, D.L.; DISLA, R.; SASSON, N. Advanced upper limb prosthetic devices: implications for upper limb prosthetic rehabilitation. *Arch. Phys. Med. Rehabil*. Providence, v. 93, n.4, p. 710-717, abr. 2012.

SEMASINGHE, C.L.; MADUSANKA, D.G.K.; RANAWEERA, R.K.P.S.; GOPURA, R.A.R.C. Transradial prostheses: Trends in development of hardware and control systems. *Int. J. Med. Robot*. Moratuwa, v. 15, n.1, fev. 2019.

SIMON, P.A.M.; LOCK, B. A.; STUBBLEFIELD, K. A. Patient training for functional use of pattern recognition–controlled prostheses. *Journal of Prosthetics and Orthotics.* Chicago, v. 24, n. 2, p. 56-64, abr. 2012.

SMAIL, L.C.; NEAL, C.; WILKIN, S. C.; PACKHAM, T.L. Comfort and function remain key factors in upper limb prosthetic abandonment: findings of a scoping review. *Disabil. Rehabil. Assist. Technol*. Ontário, v. 16, n.8, p. 821-830, 2021.

TOBIAS, M.; OKHUOYA, O.; ANCEL, J.; INTITOLI, M.; THOMPSON, L.A; CHEN, J. Evaluation of a myoelectric arm for transradial amputation in functional activities. *APPLIED SCIENCES.* Washington, v. 15, n. 3769, p. 1-21, 2025.

VUJAKLIJA, I.; ROCHE, A.D.; HASENOEHRL, T.; STURMA, A.; AMSUESS, S.; FARINA, D.; ASZMANN, O.C. Translating Research on Myoelectric Control into Clinics-Are the Performance Assessment Methods Adequate? *Frontiers in Neurorobotics*. Goettingen, v. 11, n. 7, fev. 2017.

ZHOU, H.; ALICI, G. Non-invasive human-machine interface (HMI) systems with hybrid on-body sensors for controlling upper-limb prosthesis: a review. *IEEE Sensors Journal*. Wollongong, v. 22, n. 11, p. 10292–10307, 2022.

WIDEHAMMAR, C.; LIDSTROHOLMGVIST, K.; HERMANSSON, L. Training for users of multigrip myoelectric hand prostheses: a scoping review. *Prosthetics and Orthotics International.* Philadelphia, v. 45, n.5, p. 393-400, out. 2021.

Desenvolvimento de um módulo de acionamento de protótipo de prótese para hand grasping

Petrikic, Djovana*[1]; Ribas, Kaike Reichardt[2]; Hasegawa, Leticia[3]; Gaiotto, Marcelo do Carmo Camargo[4]; Nohama, Percy[5]; Nogueira Neto, Guilherme Nunes [6]

1 – Engenharia Biomédica, PUCPR, djovanapetrikic@gmail.com

2 – Engenharia Biomédica, PUCPR, kaike.ribas@pucpr.edu.br

3 – Engenharia Biomédica, PUCPR, leticia.hasegawa@pucpr.edu.br

4 – Engenharia Biomédica, PUCPR, m.gaiotto@pucpr.br

5 – Engenharia Biomédica e Programa de Pós-Graduação em Tecnologia em Saúde, PUCPR, percy.nohama@pucpr.br

6 – Engenharia Biomédica e Programa de Pós-Graduação em Tecnologia em Saúde, PUCPR, nogueira.g@pucpr.br

* - Correspondência: Rua Frei Rogerio, 20, Jardim das Américas, Curitiba, Paraná, Brasil, 81.530-080.

DOI 10.52050/9788579177149-20

RESUMO

Amputações de membro superior impactam a funcionalidade motora e a qualidade de vida, evidenciando a necessidade de tecnologias assistivas. Este estudo buscou descrever o desenvolvimento de um módulo de acionamento de uma prótese de mão ativa por meio de controle mioelétrico. Projetou-se um circuito de aquisição de sinais EMG e um sistema de controle com Arduino, integrados em um protótipo funcional. Durante o processo de montagem, pode-se verificar que o acionamento consegue ativar/desativar o fechamento da mão, mas como o módulo está em fase de conclusão da montagem junto à mão, os testes de bancada serão realizados nas próximas etapas.

Palavras-chave: Módulo de Acionamento, Prótese Mioelétrica, Preensão de Objetos.

ABSTRACT

Upper limb amputations significantly impact motor functionality and quality of life, highlighting the need for accessible assistive technologies. This study aimed to describe the development of a control module for an active hand prosthesis through myoelectric control. An EMG signal acquisition circuit and a control system with Arduino were designed, integrated into a functional prototype. During the assembly process, it was confirmed that the actuator can activate/deactivate the closing of

the hand, but since the module is in the final assembly phase with the hand, bench tests will be conducted in the next stages.
Keywords: *Actuation Module, Myoelectric Prosthesis, Object Grasping.*

1. INTRODUÇÃO

A incidência de amputação de membro superior unilateral decorrente de trauma subiu para no período de 1990 a 2019, com redução das taxas de incidência, prevalência e de anos vividos com a deficiência (YUAN; HU; GU; XIAO *et al.*, 2023). Cerca de 1,6 milhão de novas amputações unilaterais de membros superiores foram apontadas pelo estudo. Apesar de compreender em torno de 12% dos casos, a repercussão nas atividades da vida diária é impactante nos aspectos de realização de atividades motoras finas das mãos, impossibilidade de preensão e de perda sensorial.

As próteses de mão para pessoas com amputação podem ser controladas por movimentos corporais ou sinais mioelétricos (MICERA; CARPANETO; RASPOPOVIC, 2010). Elas se dividem em três tipos: as cosméticas, que são passivas e servem apenas para o impacto visual; as alimentadas pelo corpo, que usam movimentos residuais para acionamento mecânico; e as mioelétricas, controladas pela atividade elétrica neuromuscular.

Um estudo relatou que usuários de próteses mioelétricas já conseguiram realizar tarefas simuladas para se vestir, ou preparar a própria alimentação, indicando que dependendo da tarefa, múltiplos padrões de preensão são necessários (WIDEHAMMAR; HIYOSHI; LIDSTRöM HOLMQVIST; LINDNER *et al.*, 2022). A também a limitação do acesso, pois o alto custo das próteses comerciais é uma barreira significativa para muitos usuários. Este desafio é ampliado no contexto brasileiro, que sofre com uma carência na disponibilidade de serviços e dispositivos de assistência para pessoas com deficiência nos membros superiores (CAMPOS; DA SILVA; DE ANDRADE MENESES; PORTO *et al.*, 2025).

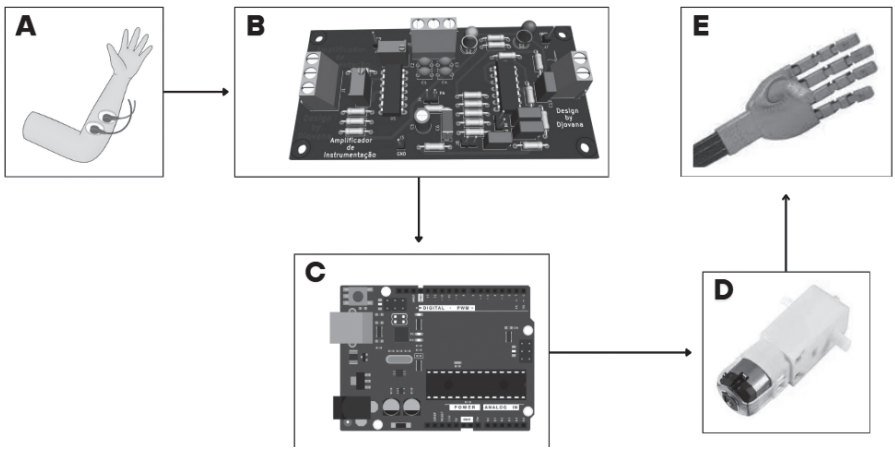
Diante do alto custo das próteses comerciais e da necessidade de restaurar a funcionalidade básica para amputados, o presente relato se apresenta como uma prova de conceito (*proof-of-concept*), objetivando o desenvolvimento e a validação de bancada de um módulo de acionamento mioelétrico de baixo custo para hand grasping, focado na preensão básica de pequenos objetos. A relevância deste trabalho reside na demonstração de uma solução acessível que pode servir como base para futuras tecnologias assistivas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Visão geral do sistema

Neste trabalho, buscou-se desenvolver um módulo para acionar uma mão passiva mecânica já existente, impressa em polímero comercial. Como as próteses de mão comerciais são geralmente muito caras (DONNELLEY; SHIRLEY; VON KAEPPLER; HETHERINGTON *et al.*, 2021; SAUNDERS, 2018), optou-se por empregar um módulo de baixo custo, visto que o foco é no acionamento da mão. Originalmente, o acionamento ocorria mecanicamente, mas no projeto ela foi convertida para acionamento microcontrolado. Para facilitar a compreensão do funcionamento, apresenta-se o diagrama da Figura 01.

Figura 01 - Diagrama de blocos do dispositivo. A – Eletrodos para captação do sinal, B – Módulo amplificador de instrumentação (AI), C – Microcontrolador (Arduino UNO), D- Motor DC e E - Prótese.



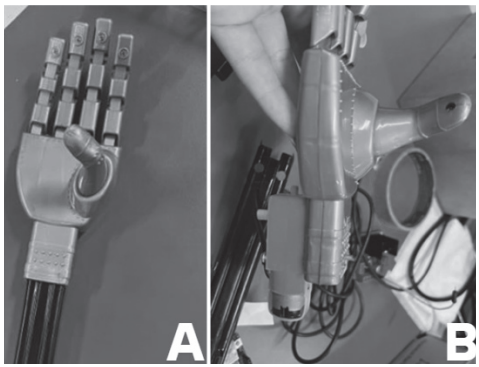
2.2 Desenvolvimento do protótipo mecânico

O funcionamento do acionamento baseou-se em captar os sinais eletromiográficos (EMG) dos músculos responsáveis pela ação de agarrar (fechar a mão), os músculos flexores carpais. Uma contração supralimiar causava o fechamento da mão. Outra contração consecutiva causava a abertura da mão. Foram utilizados eletrodos autoadesivos posicionados sobre a pele do paciente. Em seguida, processou-se o sinal e para gerar a ação de acionamento correspondente. Uma mão mecânica modelo *Fun Robotic CLaw Litter Picker* foi utilizada como chassis (Figura 02-A) e modificada de modo a se incorporar o motor DC 3V com caixa de redução de 48:1 e as novas guias de cabo com fios de

nylon torcidos, para reduzir a força necessária para realizar o movimento (Figura 02-B).

O motor foi responsável pela movimentação das articulações da prótese. Ao girar em um sentido, o motor causa o fechamento da mão mecânica, e no outro, abre-a.

Figura 02 - Alterações na prótese. A - Mão mecânica Fun Robotic CLaw Litter Picker; B – Instrumentação da mão mecânica.



2.3 Circuito de aquisição e processamento de sinais EMG

Para o processamento de sinal, desenvolveu-se circuito de instrumentação com ganho de 226x, 47 dB, na qual o sinal recebido é amplificado e filtrado para a próxima etapa. Na Figura 03, é possível observar o diagrama esquemático e, na Figura 04, a placa de instrumentação implementada.

Figura 03 - Diagrama esquemático do circuito de instrumentação

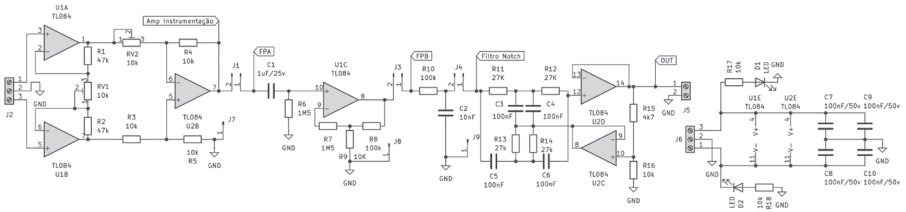
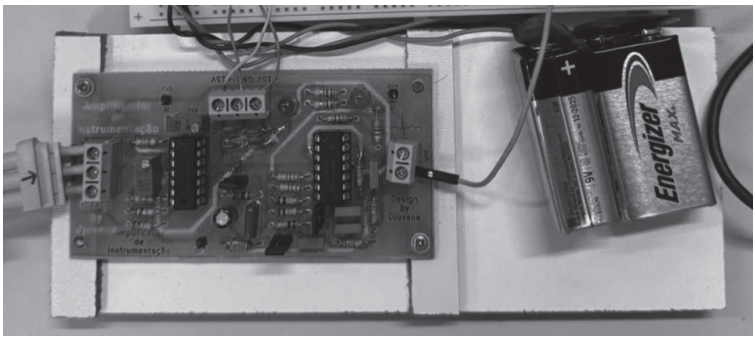


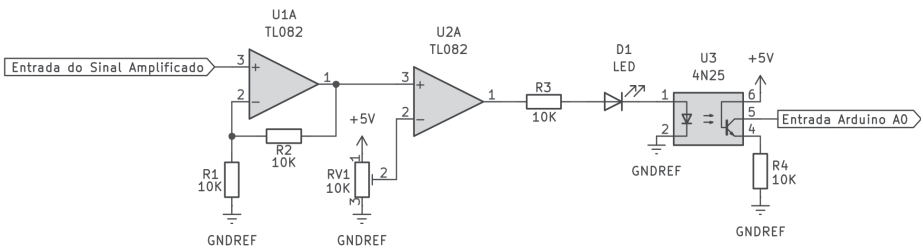
Figura 04 - Placa de instrumentação



Com o uso do microcontrolador Arduino Uno, foi preciso empregar o módulo do sinal de EMG de modo a possibilitar sua leitura, fazendo com que o sinal enviado ao microcontrolador tivesse apenas sua fração positiva. Para isso, adicionou-se ao TL082, um amplificador comparador, cuja função é comparar o sinal de entrada com um limiar de tensão, gerando uma saída digital. O valor do limiar de tensão é customizado à intensidade do sinal de EMG do usuário do módulo. Este circuito implementa um controle binário (On/Off): ele usa a tensão de referência (limiar) para digitalizar o sinal. Se a tensão do sinal mioelétrico for maior que o limiar, a saída do comparador vai para um nível lógico alto (1), ativando o comando para agarrar/liberar objeto. Caso contrário, a saída permanece em nível lógico baixo (0), repouso.

Porém, o sinal ainda se mostrou baixo, precisando ser incorporado mais um módulo de amplificação de sinal, utilizando um TL082. Para finalizar o processo de acoplamento com o microcontrolador, utilizou-se um optoacoplador, transformando o sinal do comparador (alto ou baixo) em um pulso elétrico isolado eletricamente, importante para evitar interferências entre o circuito de aquisição eletromiográfica e o Arduino, e ainda proporcionar a proteção contra riscos elétricos, garantindo, assim, que o microcontrolador apenas receba um sinal digital limpo. Na Figura 05, ilustra-se o circuito implementado.

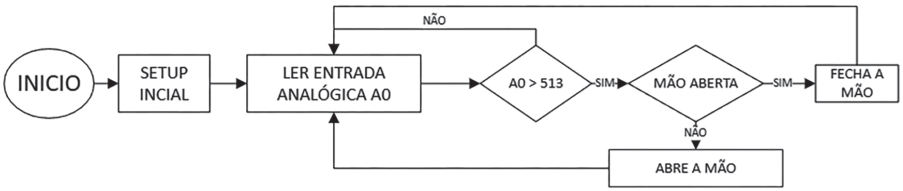
Figura 05 - Circuito do acoplamento ótico do sinal.



2.4 Lógica de controle e software

Após a finalização dos ajustes eletrônicos, implementou-se em código aberto o sistema de processamento de sinais. O diagrama apresentado na Figura 06 mostra sua lógica de funcionamento.

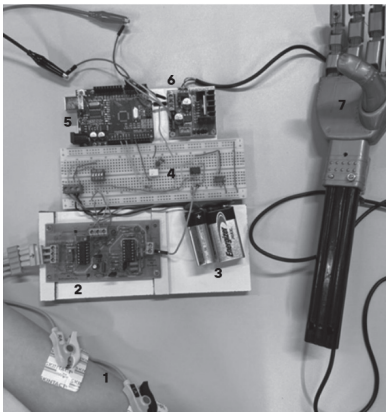
Figura 06 - Diagrama da lógica do funcionamento



2.5 Montagem final e posicionamento de eletrodos

Para a funcionamento do dispositivo, é necessária a utilização de eletrodos, que são colocados em partes estratégicas do músculo, com uma posicionamento adequado de 20 mm, de centro a centro, para melhor registro da atividade muscular (HERMENS; FRERIKS; DISSELHORST-KLUG; RAU, 2000). A Figura 07 ilustra a versão atual do módulo de acionamento do protótipo.

Figura 07 - Hardware geral do dispositivo. 1 – Ilustração do posicionamento dos eletrodos; 2 – Placa de instrumentação; 3 – Alimentação simétrica por bateria; 4 – Circuito do optoacoplador; 5 – Arduino UNO; 6 – Ponte H 12V e 7 – Prótese.



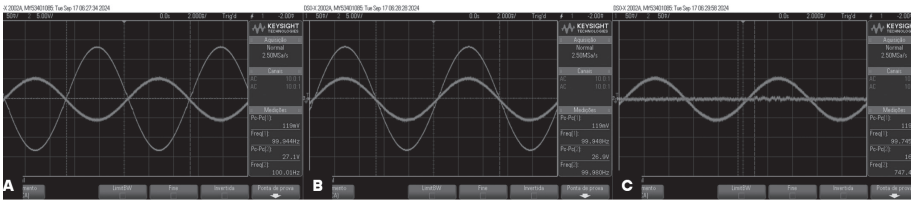
2.6 Procedimento de teste de bancada

A placa de aquisição de sinais foi testada módulo por módulo, individualmente: (i) Amplificador de instrumentação; (ii) filtro passa – altas; (iii) filtro passa – baixas; (iv) filtro *notch*. Para as análises, o sistema foi conectado a um gerador de funções junto a um osciloscópio. O módulo amplificador de instrumentação foi avaliado em suas funções inversora, não inversora e subtratora, utilizando um sinal de estímulo de 119 mVpp. O sistema de filtros foi testado para verificar sua robustez e imunidade a ruídos, com as seguintes configurações de corte: filtro passa-altas ajustado para frequências abaixo de 0,1 Hz , filtro passa-baixas para frequências acima de 150 Hz , e um filtro *notch* para atenuar o ruído da rede elétrica de 60 Hz

3. RESULTADOS

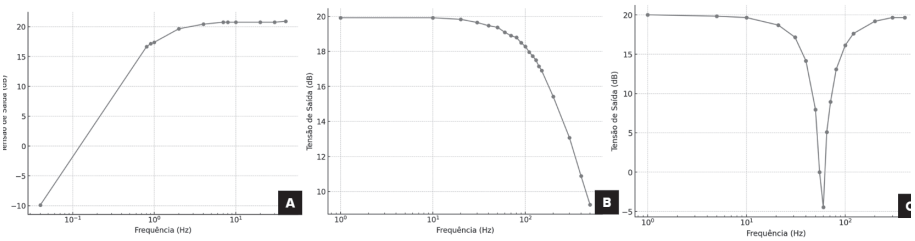
A qualidade do amplificador de instrumentação na rejeição de ruído foi validada , apresentando saídas estáveis médias de 27,1 V, 26,9 V e 16 mV, para a parte inversora, não inversora e subtrator, respectivamente. A baixa saída de 16 mV no teste do subtrator (Figura 8-C) confirmou uma alta Taxa de Rejeição de Modo Comum (CMRR). Esta métrica é essencial para garantir que o circuito anule interferências elétricas e amplifique seletivamente apenas o sinal muscular de interesse.

Figura 08 - Placa do Amplificador de Instrumentação. A – Parte inversora; B – Parte não inversora e C – Subtrator.



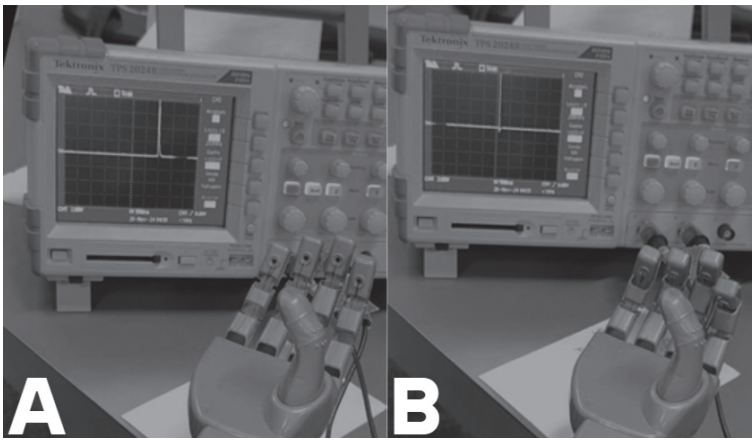
A Figura 9 ilustra as respostas em frequência dos filtros em dB, demonstrando que as atenuações ocorreram conforme o projetado nas frequências de corte. A validação dos filtros confirmou métricas de robustez, ao atenuar ruídos, como a interferência da rede elétrica de 60 Hz, o sistema eleva a Relação Sinal-Ruído (SNR). Em conjunto, esses resultados validam a qualidade e a integridade do sinal de comando do protótipo.

Figura 09 - Resposta dos filtros em frequência de dB. A – Passa-altas; B – Passa-baixas e C- Notch.



Conforme ilustrado na Figura 10, o controle da prótese é feito por um pulso digital de 5V gerado a partir do sinal mioelétrico processado, que atua como gatilho para o microcontrolador. O sistema utiliza uma lógica de controle alternado (toggle), na qual a detecção de um único pulso de contração muscular, como o mostrado na Figura 10-B, inverte o estado da mão — de aberta para fechada, e vice-versa no pulso seguinte. A transição estável de 0 V (repouso) para um pulso de 5 V (contração) valida que o módulo entrega um gatilho confiável para o software, confirmando o sucesso desta prova de conceito em nível eletrônico.

Figura 10 - Pulso de gatilho para o controle alternado da prótese. A - No estado de repouso, a saída é 0 V e a mão permanece em seu estado atual (aberta ou fechada); B - Uma contração muscular gera um pulso de 5 V, que atua como um gatilho para o microcontrolador inverter o estado da mão (de aberta para fechada, ou vice-versa).



4. DISCUSSÃO

O presente trabalho focou na validação de prova de conceito, portanto, os resultados demonstraram que o sistema é capaz de gerar um sinal de comando

confiável a partir da atividade muscular, validando a viabilidade da utilização para controle de próteses por EMG.

A principal contribuição deste estudo é a apresentação de um projeto de baixo custo e com validação eletrônica documentada. Enquanto o alto custo das próteses comerciais representa uma barreira no acesso a essas tecnologias pelos usuários, nossa abordagem oferece uma alternativa viável. Essa proposta não apenas possibilita a criação de futuras alternativas de baixo custo para o usuário final, mas também serve como uma ferramenta educacional e de pesquisa para outros estudantes na área de tecnologia assistiva.

Naturalmente, como uma prova de conceito, o estudo possui limitações que direcionam os próximos passos. A avaliação funcional, por exemplo, é essencial. Futuramente, a força de preensão do protótipo deverá ser quantificada experimentalmente com um dinamômetro e comparada com valores de referência da literatura, como a média de 24,51 kgf para preensão palmar (FERREIRA; SHIMANO; MAZZER; BARBIERI *et al.*, 2011). Atingir uma fração significativa desses valores seria um indicador de sucesso funcional para o protótipo.

A precisão do sistema está atualmente atrelada à capacidade do usuário de gerar uma contração muscular de forma intencional. O controle binário (On/Off) por alternância (toggle) foi escolhido pela sua simplicidade de implementação e baixa carga cognitiva para o usuário. Contudo, reconhecemos que nosso controle binário (On/Off) é uma etapa inicial. Estudos demonstram a implementação de sistemas de reconhecimento de padrões de sinais EMG para ampliar a quantidade de movimentos e tipos de pinça, resultando em uma tecnologia de controle mais natural e intuitiva (AMORIM, 2018).

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho, descreveu-se o desenvolvimento de um módulo de acionamento de uma prótese de mão para *hand grasping*. A partir de uma mão mecânica passiva que foi instrumentada com motor e cabos, foi possível construir um módulo de acionamento que envolveu captação de sinais de EMG e interface de comando para um microcontrolador acionar o fechamento/abertura de um protótipo de prótese à mão para preensão.

Conclui-se que o módulo de acionamento foi implementado com sucesso em nível de protótipo. No entanto, a validação do sistema ainda é restrita a testes de bancada, sendo uma limitação do presente estudo. As próximas etapas, essenciais para a validação funcional, incluem a finalização cosmética do protótipo e a realização de testes com voluntários para avaliar a eficácia em tarefas controladas, mediante autorização do comitê de ética em pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Bruno Henrique Foggiato, Felipe Adam Martins, José Antonio Infante Jr. e Lilian Cristine Ferreira.

REFERÊNCIAS

AMORIM, A. F. Desenvolvimento de uma prótese mioelétrica utilizando controle inteligente. 2018.

CAMPOS, I. M.; DA SILVA, G. G. P.; DE ANDRADE MENESES, J. M.; PORTO, M. C. *et al.* Tecnologia de impressão 3D na saúde brasileira: vantagens e desafios da criação de próteses para membros superiores. *Revista Saúde e Desenvolvimento*, 19, n. 30, p. 42-52, 2025.

DONNELLEY, C. A.; SHIRLEY, C.; VON KAEPPLER, E. P.; HETHERINGTON, A. *et al.* Cost analyses of prosthetic devices: A systematic review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 102, n. 7, p. 1404-1415.e1402, 2021/07/01/ 2021.

FERREIRA, A. C. D. C.; SHIMANO, A. C.; MAZZER, N.; BARBIERI, C. H. *et al.* Força de preensão palmar e pinças em indivíduos sadios entre 6 e 19 anos. *Acta Ortopedica Brasileira*, 19, p. 92-97, 2011.

HERMENS, H. J.; FRERIKS, B.; DISSELHORST-KLUG, C.; RAU, G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10, n. 5, p. 361-374, 2000.

MICERA, S.; CARPANETO, J.; RASPOPOVIC, S. Control of hand prostheses using peripheral information. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 3, p. 48-68, 2010.

SAUNDERS, J. A. *Guest post: Controlling the costs of myoelectric prosthetics*. WorkCompWire, 2018. Disponível em: https://www.workcompwire.com/2018/11/guest-post-controlling-the-costs-of--myoelectric-prosthetics/.

WIDEHAMMAR, C.; HIYOSHI, A.; LIDSTRÖM HOLMQVIST, K.; LINDNER, H. *et al.* Effect of multi-grip myoelectric prosthetic hands on daily activities, pain-related disability and prosthesis use compared with single-grip myoelectric prostheses: A single-case study. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 54, p. jrm00245, 01/03 2022.

YUAN, B.; HU, D.; GU, S.; XIAO, S. *et al.* The global burden of traumatic amputation in 204 countries and territories. *Frontiers in Public Health*, Volume 11 - 2023, 2023-October-20 2023. Original Research.

Desenvolvimento de um simulador para avaliação funcional de próteses de membro superior impressas em 3D

Tobaro, Erica Tiemi[*1]; Sparkman, John[2]; Manero, Albert[3]; Baleotti, Luciana Ramos[4]; Medola, Fausto Orsi[5]

1 – Programa de Pós-graduação em Design, UNESP, erica.tobaro@unesp.br
2 – Limbitless Solutions, University of Central Florida, EUA, john.sparkman@limbitless-solutions.org
3 – Limbitless Solutions, University of Central Florida, EUA, albert@limbitless-solutions.org
4 – Departamento de Fisioterapia e Terapia Ocupacional, UNESP, luciana.r.baleotti@unesp.br
5 – Departamento de Design, UNESP, fausto.medola@unesp.br
* - Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, Vargem Limpa, Bauru, São Paulo, Brasil, 17033-360

DOI 10.52050/9788579177149-21

RESUMO

Avaliações de protótipos e dispositivos durante o processo de design de tecnologias assistivas são fundamentais para direcionar decisões de projeto, comparar modelos e analisar o desempenho em tarefas funcionais. Entretanto, avaliações de próteses de membro superior geralmente exigem a participação de usuários amputados, dificultando testes preliminares com voluntários sem deficiência. Este trabalho descreve o desenvolvimento de um dispositivo simulador para atividades manuais com prótese de membro superior produzida por impressão 3D. O protótipo foi modelado e impresso em 3D, apresentando viabilidade de construção e uso, com potencial para apoiar pesquisas e experimentos em fases iniciais de desenvolvimento de próteses.
Palavras-chave: Próteses, Membro Superior, Tecnologia Assistiva.

ABSTRACT

Prototype and device evaluations during the design process of assistive technologies are essential for guiding design decisions, comparing models, and analyzing performance in functional tasks. However, evaluations of upper-limb prostheses typically require the participation of amputee users, which makes preliminary testing with non-disabled volunteers challenging. This study describes the development of a simulator device for manual activities using a 3D-printed

upper-limb prosthesis. The prototype was modeled and fabricated using 3D printing and demonstrated feasibility in terms of construction and application, showing potential to support research and experimental protocols in the early stages of prosthesis development.
Keywords: *Prosthesis, Upper Limb, Assistive Technology.*

1. INTRODUÇÃO

Próteses são dispositivos que substituem total ou parcialmente um membro, órgão ou tecido, e buscam promover a funcionalidade e independência das pessoas com deficiência (BRASIL, 2016). As próteses de membro superior podem ser classificadas em quatro categorias principais: passivas, que possuem função estética; mecânicas, acionadas por movimentos corporais transmitidos por um sistema de cabos; mioelétricas, controladas por sinais eletromiográficos gerados pela contração muscular; e híbridas, que combinam elementos das próteses mecânicas e mioelétricas (SMAIL et al., 2020). No entanto, a maioria das próteses de membro superior são pesadas, difíceis de controlar e pouco funcionais, resultando em altas taxas de abandono do dispositivo (SUGAWARA et al., 2018; BIDDISS; CHAU, 2007).

A Manufatura Aditiva (MA), também conhecida como Impressão 3D, possibilita a rápida confecção de protótipos através da adição sucessiva de camadas de materiais, com informações obtidas diretamente de um modelo geométrico 3D originado de um sistema CAD (Computer Aided Design) (VOLPATO; CARVALHO, 2017). A MA tem sido aplicada no desenvolvimento de dispositivos de Tecnologia Assistiva personalizados, como próteses, órteses, adaptações e acessórios para as atividades de vida diária (AVDs) (FERRARI, 2019). A personalização destes dispositivos pode proporcionar maior conforto, satisfação do usuário e melhor desempenho funcional, além de contribuir para a redução das taxas de abandono pelo usuário (RODRIGUES et al., 2021).

Nos últimos anos, o número de estudos relatando experiências de uso da impressão 3D no desenvolvimento de próteses tem aumentado devido a disponibilidade desses projetos open source e a popularização das tecnologias de impressão 3D. Entretanto, ainda há uma lacuna com relação aos aspectos de usabilidade e funcionalidade dos modelos atualmente disponíveis (KATE et al., 2017). A avaliação a partir da experiência prática de uso de produtos é fundamental para se conhecer aspectos do design que podem contribuir para desfechos mais positivos em relação ao desempenho e satisfação com o dispositivo. Entretanto, em avaliações de produtos envolvendo usuários, é importante considerar, entre outros fatores envolvendo o usuário, sua experiência prévia de uso (BOUWSEMA et al., 2014; WILLIAMS et al., 2021), assim como aspectos relacionados ao produto

e seu contexto de uso. Avaliações preliminares como parte do processo de desenvolvimento de produtos frequentemente são realizadas de forma simulada e com participantes não representantes do grupo de usuários reais do produto. Estas avaliações, embora tendo limitadas suas implicações práticas tendo em vista a falta de experiência dos participantes do estudo com o dispositivo em análise, podem ser valiosas para avaliação de desempenho em tarefas específicas, assim como para a comparação de diferentes modelos e designs do produto e para explorar aspectos do aprendizado de uso. Entretanto, a simulação de uso de próteses com pessoas sem alteração da estrutura ou função motora de membro superior é dificultada principalmente considerando a presença da mão e o encaixe da prótese ao membro.

Considerando a crescente aplicação da MA no desenvolvimento de próteses de membro superior, este trabalho relata o desenvolvimento de um simulador de próteses mecânicas de membro superior, produzido por impressão 3D, que permite a avaliação funcional do dispositivo por pessoas sem amputação ou má-formação de membro superior, como uma etapa de avaliação preliminar à de testes com usuários finais.

2. DESENVOLVIMENTO

Nesta seção, é descrito o processo de desenvolvimento de um simulador do mecanismo de próteses mecânicas de membro superior produzidas por impressão 3D, para avaliação em usuários sem amputação ou deficiência nos membros superiores. Este simulador busca apoiar o desenvolvimento de novas próteses mecânicas, possibilitando uma avaliação preliminar com maior amostragem, antes de avaliar com usuários finais com amputação.

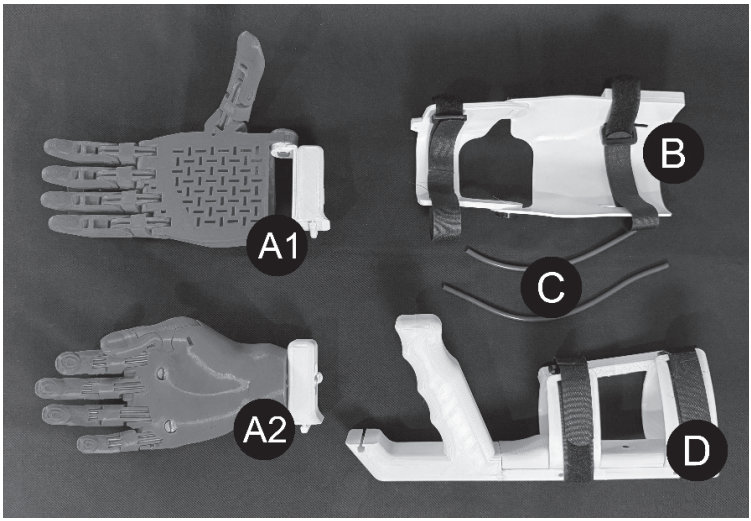
A estrutura foi desenvolvida de forma a atender os seguintes requisitos: possibilitar avaliação de diferentes modelos e designs de mãos protéticas; possibilitar o acionamento do mecanismo de preensão e abertura da mão através do movimento do cotovelo.

Segundo Sinke et al. (2022), existem três possíveis posições para o terminal da mão protética nesses dispositivos simuladores de próteses: dorsal, axial ou palmar em relação à outra mão. Neste projeto, optou-se pelo posicionamento axial do terminal da mão protética, em que o terminal é alinhado ao eixo do braço e posicionado distalmente à mão do participante.

O projeto do dispositivo foi realizado por meio de modelagem tridimensional utilizando o software Autodesk Fusion 360. As partes do simulador são apresentadas na Figura 01. O projeto foi desenvolvido considerando três partes principais: terminal modular para encaixe da mão protética (A1 e A2), apoio proximal de braço para acionamento (B), Tubos para a passagem dos cabos

tracionadores (C), e apoio distal para antebraço e encaixe manual (D). As partes do simulador são modulares, possibilitando futuras alterações na modelagem e adaptando o dispositivo para diferentes projetos de mãos protéticas.

Figura 01 - Partes do simulador de próteses. (A: Terminais adaptados para cada modelo de mão protética; B: Apoio proximal de braço (mecanismo de acionamento); C: Tubos 4 mm; D: apoio distal (antebraço e encaixe manual).

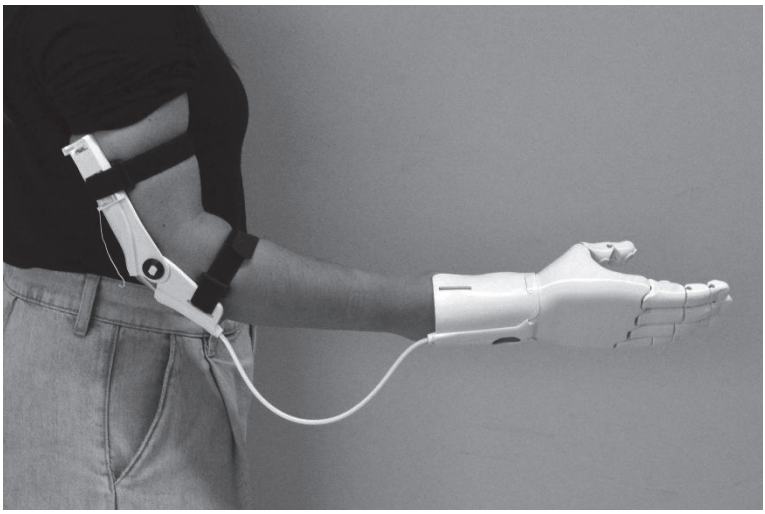


Fonte: Os autores.

O terminal de encaixe da mão protética foi projetado de forma modular, com o objetivo de permitir a substituição ou adaptação para diferentes modelos de prótese sem a necessidade de imprimir toda a estrutura do simulador. Essa abordagem facilita a customização e reduz o tempo e o custo de ajustes entre versões.

O mecanismo de acionamento da abertura e fechamento dos dedos foi baseado nas partes do braço e do antebraço do modelo open source da prótese Handred80 (Figura 02), desenvolvida pelo grupo PoParaguay (https://www.thingiverse.com/thing:2696906). Este mecanismo utiliza um tubo de 4 milímetros de espessura para conectar os cabos ligados aos dedos ao mecanismo de acionamento que ocorre através da flexão do cotovelo.

Figura 02 - Prótese open source Handred80, desenvolvida pelo grupo PoParaguay.



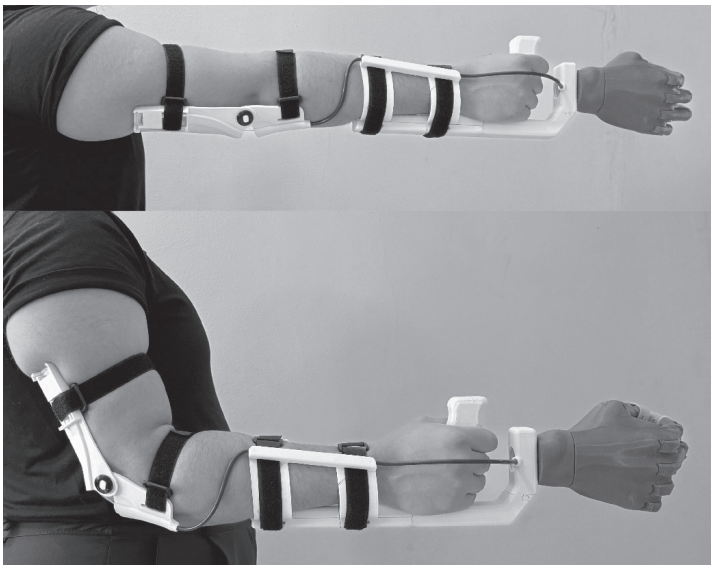
Fonte: Os autores.

Para apoiar a mão e o antebraço durante o uso do simulador, foi projetado um suporte para fixação no antebraço por meio de tirar autocolantes (Velcro) e uma manopla para estabilizar o dispositivo e apoio manual. A manopla foi projetada com uma inclinação de 30° em relação ao eixo horizontal. Segundo Young et al. (2013), apoio manual inclinado para frente em ângulos que correspondem à inclinação natural em empunhaduras tende a reduzir o desvio radial do punho, promovendo uma postura mais neutra e ergonômica especialmente em tarefas que exigem força de preensão e empurrão. Dessa forma, a estrutura foi projetada com o objetivo de garantir conforto durante a execução das tarefas.

3. RESULTADOS

O simulador de próteses foi fabricado por impressão 3D por fusão de filamento (FFF), utilizando o material poliácido láctico (PLA). A Figura 03 ilustra o mecanismo de acionamento ao flexionar o cotovelo.

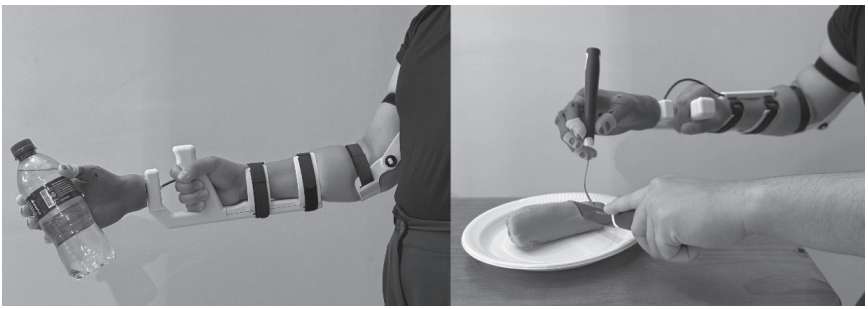
Figura 03 - Acionamento do mecanismo de fechamento da mão protética ao flexionar o cotovelo.



Fonte: Os autores.

Testes preliminares utilizando objetos do dia a dia demonstraram resultados satisfatórios na manipulação de objetos, possibilitando a experimentação do dispositivo assistivo na realização de atividades manuais do dia a dia (Figura 04). O mecanismo utilizado para o acionamento da preensão manual a partir da flexão de cotovelo possibilitou a manipulação e sustentação de objetos de diferentes formas, tamanhos e materiais, o que destaca seu potencial para implementação em rotinas de avaliação do desempenho de próteses com foco nas AVDs.

Figura 04 - Atividade de manipulação de objetos com o uso do simulador desenvolvido.



Fonte: Os autores.

Entretanto, ressalta-se que a solução desenvolvida aumenta o comprimento total do membro superior, o que pode impactar o desempenho em algumas atividades, particularmente aquelas que demandam maior precisão dos movimentos. Segundo Bouwsema et al. (2008), o comprimento excedente do braço pode alterar levemente os movimentos em relação aos realizados com uma prótese real, pois o ombro precisa ser retraído para manter o comprimento do braço em relação ao membro superior oposto, podendo afetar a execução de atividades bimanuais (SINKE et al., 2022). Neste sentido, o presente projeto do simulador buscou minimizar a extensão do comprimento do braço posicionando a mão protética o mais próximo possível do apoio palmar (Figura 05).

Figura 05 - Diferença de comprimento de membro superior entre os membros superiores com o uso do simulador.



Fonte: Os autores.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho descreveu o desenvolvimento de um simulador para teste de próteses de membro superior produzidas por impressão 3D. O dispositivo compreende um mecanismo de apoio palmar e acionamento da preensão manual a partir da flexão de cotovelo, permitindo assim a avaliação de desempenho em tarefas manuais, assim como de diferentes modelos e materiais do componente mão da prótese. o dispositivo é utilizado de forma similar a uma prótese 3D real. Ele possui interface para posicionamento e fixação no antebraço e braço, e transmissão de força de preensão manual a partir de tração de fios acionado por movimento de flexão do cotovelo.

Esta solução pode contribuir à pesquisa e desenvolvimento na área de Tecnologia Assistiva, particularmente no campo das próteses mecânicas de membro superior produzidas por impressão 3D, ao possibilitar a avaliação de desempenho em tarefas manuais com participantes sem deficiência. Dessa forma, o dispositivo permite avaliações com grandes grupos de participantes sem experiência de uso do produto, beneficiando estudos que objetivam comparar diferentes designs e modelos de próteses, bem como avaliações preliminares de protótipos como parte do processo de desenvolvimento de produtos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP (Processos N. 2023/11155-7 e 2024/06832-2) pelo apoio concedido.

REFERÊNCIAS

BIDDISS, E. A.; CHAU, T. T. Upper limb prosthesis use and abandonment: a survey of the last 25 years. *Prosthetics and Orthotics International*, [S.l.], v. 31, n. 3, p. 236–257, set. 2007.

BOUWSEMA, H.; VAN DER SLUIS, C. K.; BONGERS, R. M. Changes in performance over time while learning to use a myoelectric prosthesis. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, [S.l.], v. 11, p. 16, jan. 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-16.

BOUWSEMA, H.; VAN DER SLUIS, C. K.; BONGERS, R. M. The role of order of practice in learning to handle an upper-limb prosthesis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, [S.l.], v. 89, n. 9, p. 1759–1764, set. 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.12.046.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Especializada e Temática. *Manual de boas práticas de gestão das Órteses, Próteses e Materiais Especiais (OPME)*. Brasília: Ministério da Saúde, 2016.

FERRARI, A. L. M. *Influência do design de órteses de punho e mão no desconforto, transmissão de torque e desempenho em tarefas manuais*. 2019. 97 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2019.

KATE, J. T.; SMIT, G.; BREEDVELD, P. 3D-printed upper limb prostheses: a review. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, [S.l.], v. 12, n. 3, p. 300–314, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1080/17483107.2016.1253117.

POPARAGUAY. PoParaguay. *Handred80 – Prótesis mecánica de mano*. Disponível em: https://www.thingiverse.com/thing:2696906. Acesso em: 3 jun. 2025.

RODRIGUES, A. C. T.; GARCEZ, L. V. M.; MEDOLA, F. O.; BALEOTTI, L. R.; SANDNES, F. E.; VAEZIPOUR, A. A systematic review of differences between conventional orthoses and 3D-printed orthoses. In: TRZCIELINSKI, S.; MRUGALSKA, B.; KARWOWSKI, W.; ROSSI, E.; DI NICOLANTONIO, M. (ed.). *Advances in Manufacturing, Production Management and Process Control. AHFE 2021*. Cham: Springer, 2021. (Lecture Notes in Networks and Systems, v. 274). Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-80462-6_7.

SINKE, M.; CHADWELL, A.; SMIT, G. State of the art of prosthesis simulators for the upper limb: a narrative review. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, [S.l.], v. 65, n. 6, p. 101635, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rehab.2022.101635

SMAIL, L. C.; NEAL, C.; WILKINS, C.; PACKHAM, T. L. Comfort and function remain key factors in upper limb prosthetic abandonment: findings of a scoping review. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, [S.l.], v. 16, n. 8, p. 821–830, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1080/17483107.2020.1738567.

SUGAWARA, A. T.; RAMOS, V. D.; ALFIERI, F. M.; BATTISTELLA, L. R. Abandonment of assistive products: assessing abandonment levels and factors that impact on it. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, [S.l.], v. 13, n. 7, p. 716–723, 2018.

VOLPATO, N.; CARVALHO, J. *Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D*. São Paulo: Editora Blücher, Organizador: Neri Volpato. 2017.

WILLIAMS, H. E.; CHAPMAN, C. S.; PILARSKI, P. M.; VETTE, A. H.; HEBERT, J. S. Myoelectric prosthesis users and non-disabled individuals wearing a simulated prosthesis exhibit similar compensatory movement strategies. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, [S.l.], v. 18, p. 72, maio 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s12984-021-00855-x.

YOUNG, J. G.; LIN, J. H.; CHANG, C. C.; MCGORRY, R. W. The natural angle between the hand and handle and the effect of handle orientation on wrist radial/ulnar deviation during maximal push exertions. *Ergonomics*, [S.l.], v. 56, n. 4, p. 682–691, abr. 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1080/00140139.2013.765602.

Desenvolvimento de um sistema mecatrônico miniaturizado para simulação fisiológica do piscar em próteses oculares

Cardoso, Heitor Lara[1]; Ferreira, João Manoel Nascimento[2]; Stoppa, Marcelo Henrique[*3]

1 – Engenharia Mecatrônica, UFCAT, heitor.cardoso@discente.ufcat.edu.br

2 – Engenharia Mecatrônica, UFCAT, joao.nascimento@discente.ufcat.edu.br

3 – Engenharia Mecatrônica, UFCAT, mhstoppa@ufcat.edu.br

* Correspondência: Av. Dr. Lamartine P. Avelar, St. Universitário, Catalão, GO, Brasil, 75704-020.

DOI 10.52050/9788579177149-22

RESUMO

A reabilitação de pacientes submetidos à exenteração ocular enfrenta o desafio do uncanny valley, intensificado pela ausência de movimentos naturais como o piscar em próteses convencionais, o que resulta em uma aparência artificial que compromete a aceitação psicossocial. Este trabalho descreve o desenvolvimento de um sistema mecatrônico miniaturizado e de baixo custo para detectar e replicar o piscar fisiológico em tempo real. A metodologia envolveu uma abordagem iterativa, partindo de sensores infravermelhos simples (TCRT5000) e evoluindo para um sistema robusto com o sensor de gestos APDS9960 e o microcontrolador ESP32 C3 SuperMini. A comunicação sem fio e a validação funcional foram realizadas utilizando uma plataforma de testes com um olho animatrônico. Os resultados demonstram a criação de um protótipo funcional capaz de detectar piscadas com alta fidelidade, compensar variações de iluminação ambiente e transmitir os dados para um atuador com latência inferior a 50 ms. A análise dos sinais do sensor APDS9960 sugere a viabilidade de classificar diferentes tipos de piscada (reflexa, voluntária), um elemento crucial para a naturalidade do movimento. O sistema proposto representa um avanço significativo para a tecnologia assistiva, com potencial para reduzir o efeito uncanny valley e melhorar a qualidade de vida e a reintegração social de usuários de próteses óculo-palpebrais.

Palavras-chave: prótese óculo-palpebral, tecnologia assistiva, detecção de piscar, uncanny valley.

ABSTRACT

The rehabilitation of patients undergoing ocular exenteration faces the challenge of the uncanny valley, which is intensified by the lack of natural movements, such as blinking, in conventional prostheses. This results in an artificial appearance that compromises psychosocial acceptance. This paper describes the development of a miniaturized, low-cost mechatronic system to detect and replicate physiological blinking in real-time. The methodology involved an iterative approach, starting with simple infrared sensors (TCRT5000) and evolving to a robust system featuring the APDS9960 gesture sensor and the ESP32 C3 SuperMini microcontroller. Wireless communication and functional validation were performed using a test platform with an animatronic eye. The results demonstrate the creation of a functional prototype capable of detecting blinks with high fidelity, compensating for ambient light variations, and transmitting data to an actuator with a latency below 50 ms. Analysis of the APDS9960 sensor signals suggests the feasibility of classifying different types of blinks (e.g., reflex, voluntary), a crucial element for achieving natural movement. The proposed system represents a significant advancement in assistive technology, with the potential to reduce the uncanny valley effect and improve the quality of life and social reintegration of oculopalpebral prosthesis users.

Keywords: *Oculopalpebral Prosthesis, Assistive Technology, Blink Detection, Uncanny Valley.*

1. INTRODUÇÃO

A reabilitação estética e funcional de pacientes submetidos à exenteração ocular, frequentemente motivada por neoplasias, representa um desafio complexo que abrange aspectos fisiológicos, emocionais e psicossociais (Baum e Mohr, 2021). Embora os avanços na confecção de próteses óculo-palpebrais tenham permitido melhorias substanciais na aparência externa, muitas dessas soluções ainda carecem de mecanismos dinâmicos que simulem adequadamente os movimentos oculares naturais. A ausência de gestos como o piscar, contribui para uma aparência artificial que interfere diretamente na naturalidade das interações interpessoais.

Esse tipo de dissonância perceptiva está diretamente relacionado ao fenômeno conhecido como *uncanny valley*, termo cunhado por Masahiro Mori (Mori, 2012) para descrever a sensação de estranheza gerada por representações artificiais que se aproximam da aparência humana, mas falham em reproduzi-la com precisão. A ocorrência do *uncanny valley* se intensifica particularmente quando há movimento — e sobretudo quando esse movimento é imperfeito,

assimétrico, ausente ou descoordenado em relação às microexpressões faciais e ao olho contralateral funcional, prejudicando a expressividade e a aceitação social do indivíduo afetado (Mori, 2012).

Do ponto de vista fisiológico, o piscar não é um movimento homogêneo. Ele pode ocorrer de forma voluntária, reflexa ou espontânea, cada qual com diferentes parâmetros de frequência, velocidade e amplitude (Nyström et al., 2024). Esse gesto, além de essencial para a lubrificação e proteção ocular, desempenha papel comunicativo e emocional, sendo regulado por mecanismos neurais e musculares que integram o movimento palpebral com os sistemas de controle visual e facial (Falcão, 2006). Assim, qualquer tentativa de reabilitação que ignore a complexidade biomecânica e funcional do piscar tende a resultar em próteses esteticamente adequadas, porém funcionalmente dissonantes.

A tecnologia assistiva voltada à reabilitação facial vem buscando soluções que integrem recursos de detecção e replicação do piscar, especialmente em casos de paralisia facial unilateral e remoção parcial ou completa da órbita ocular. Nesse contexto, sistemas mecatrônicos de detecção de piscar baseados em sensores infravermelhos surgem como alternativas promissoras. Os estudos de Frigerio et al. (2014) demonstraram a viabilidade técnica de óculos equipados com emissores e detectores infravermelhos posicionados de forma a monitorar a fissura palpebral. A interrupção do feixe de luz durante o fechamento das pálpebras permite identificar com elevada acurácia o evento de piscar, inclusive distinguindo-o de movimentos corporais distintos e à mudança na iluminação ambiente.

Ainda que os sistemas analisados apresentam desafios em relação à sensibilidade e especificidade — especialmente durante movimentos para baixo ou expressões faciais intensas — os dados obtidos sugerem que ajustes individuais nos parâmetros de detecção, a incorporação de múltiplos sensores e o uso de softwares capazes de integrar inteligências artificiais (IA) podem aprimorar significativamente o desempenho e a sincronização entre os olhos, elemento crítico para evitar a percepção de assimetria (Frigerio et al., 2014).

Diante das limitações volumétricas impostas pelas exenterações orbitais, especialmente nos casos com comprometimento da anatomia periocular, a integração de sistemas eletrônicos em próteses faciais requer a utilização de componentes miniaturizados. A restrição de espaço disponível, aliada à variabilidade morfológica decorrente de diferentes padrões de mutilação, exige soluções de engenharia voltadas à compactação e disposição eficiente desses sistemas. Neste contexto, este projeto propõe o desenvolvimento de um módulo encapsulado, compacto e padronizado — uma unidade funcional autônoma — que seja futuramente concebida para inserção em diferentes próteses de

silicone, visando à adaptação morfofuncional às particularidades anatômicas de cada caso. Essa abordagem encontra respaldo na literatura especializada, que destaca a importância da personalização na reabilitação pós-exenteração, considerando tanto aspectos estéticos quanto funcionais (AGARWAL et al., 2025).

Diante do exposto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema mecatrônico compacto e de baixo custo, capaz de detectar, em tempo real, os diferentes tipos de piscadas fisiológicas por meio de sensores infravermelhos e replicar o movimento em próteses óculo-palpebrais através de atuadores miniaturizados. A hipótese central é que a fidelidade na reprodução do piscar pode reduzir significativamente os efeitos do *uncanny valley* e, assim, aumentar a aceitação estética, funcional e psicossocial das próteses faciais. A pesquisa visa contribuir para o avanço das tecnologias assistivas voltadas à reabilitação ocular e à reintegração social de pacientes oncológicos.

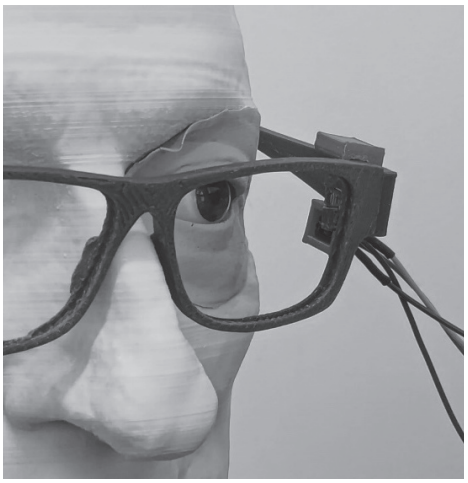
2. MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto foi conduzido por meio de uma abordagem experimental iterativa para o desenvolvimento de um sistema embarcado de detecção e reprodução do piscar. A arquitetura foi refinada em fases sucessivas, com o objetivo de construir um protótipo funcional para integração em próteses óculo-palpebrais, considerando os parâmetros neurofisiológicos descritos por Trigo e Gruart (2001).

2.1 Prototipagem Inicial com Sensor de Proximidade Infravermelho

A primeira fase consistiu na implementação de um detector de piscadas utilizando o sensor de refletância infravermelha TCRT5000. O sensor foi acoplado a uma estrutura impressa em 3D, projetada para fixação em armações de óculos (Fig. 1). Um microcontrolador (Arduino) foi programado em C/C++ para processar o sinal do sensor e acionar um LED como feedback visual a cada piscada detectada. Os dados também foram enviados a um computador para simular visualmente o movimento de um olho. Este protótipo inicial serviu para validar a abordagem óptica reflexiva em ambiente controlado.

Figura 1 - TCRT500 acoplado aos óculos



Essa primeira configuração evidenciou a viabilidade técnica da abordagem óptica reflexiva em condições controladas, mas revelou limitações críticas: sensibilidade à iluminação ambiente, ruído em movimentos involuntários da cabeça e dificuldade na distinção entre tipos de piscada. Esses fatores comprometem o potencial de integração com sistemas de próteses realistas, que requerem detecção acurada e responsiva, conforme as exigências descritas por Nyström et al. (2024).

2.2 Avaliação de Sensores Alternativos

Com o objetivo de aprimorar a acurácia da detecção, foi avaliado o sensor MAX30102, comumente utilizado em fotopletismografia e oxímetros para detecção de frequência cardíaca e quantidade de oxigenação no sangue. Contudo, seu curto alcance operacional e a emissão constante de um LED vermelho visível foram considerados inadequados para a aplicação em óculos, levando ao descarte desta opção.

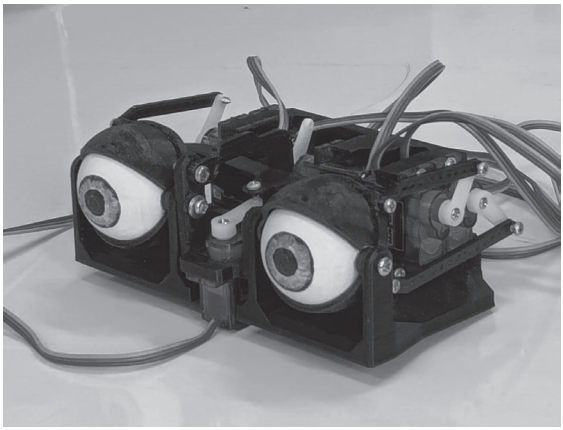
2.3 Desenvolvimento da Arquitetura Sem Fio e Plataforma de Testes

A arquitetura do sistema foi migrada para uma solução sem fio utilizando o microcontrolador ESP8266, que permitiu a comunicação via Wi-Fi (sockets TCP/IP) entre o módulo sensor e um módulo atuador remoto.

Paralelamente, foi construída uma plataforma de testes baseada em um olho animatrônico impresso em 3D, inspirado nos modelos de Will Cogley (Cogley, 2025). A estrutura foi equipada com servomotores controlados por um segundo

microcontrolador da família ESP (Fig. 2). Esta plataforma foi fundamental para validar a sincronia entre a detecção e a atuação mecânica, além de permitir a análise da latência do sistema.

Figura 2 - Animatrônico utilizado para testes em piscadas e controle sem fio



A adoção dessa plataforma permitiu antecipar problemas relativos à quebra de naturalidade perceptiva — associados ao efeito *uncanny valley*, como descrito por Mori (2012) e corroborado por Frigerio et al. (2014) — e orientou os ajustes nos parâmetros de atuação.

2.4 Sistema Final: Miniaturização e Detecção Avançada

A versão final do protótipo foi desenvolvida com foco em miniaturização, desempenho e capacidade de detecção.

O microcontrolador (ESP8266) foi substituído pela placa ESP32 C3 SuperMini. A escolha foi motivada por seu tamanho reduzido, arquitetura RISC-V de 32 bits, maior capacidade de processamento, eficiência energética e suporte nativo a Wi-Fi e Bluetooth Low Energy (BLE).

O sensor TCRT5000 foi substituído pelo sensor de gestos e proximidade APDS9960. Este componente integra detecção de proximidade, reconhecimento de gestos básicos e compensação de luz ambiente, oferecendo maior robustez e resolução para capturar os diferentes perfis temporais das piscadas.

O software embarcado foi reestruturado em C/C++ com rotinas modulares para filtragem de ruído e análise temporal do sinal de proximidade. Foram implementados algoritmos baseados em limiares e na derivada da curva de proximidade para classificar as piscadas em tempo real, visando distinguir movimentos rápidos (reflexos) de movimentos mais lentos (voluntários ou espontâneos).

3. RESULTADOS

A implementação iterativa resultou em um protótipo funcional e miniaturizado, composto pelo sensor APDS9960 e o microcontrolador ESP32 C3 SuperMini, capaz de detectar piscadas em tempo real. O sistema completo está ilustrado na Figura 3, mostrando o módulo sensor acoplado aos óculos (A) e o módulo atuador com os olhos animatrônicos (B).

3.1 Desempenho da Detecção

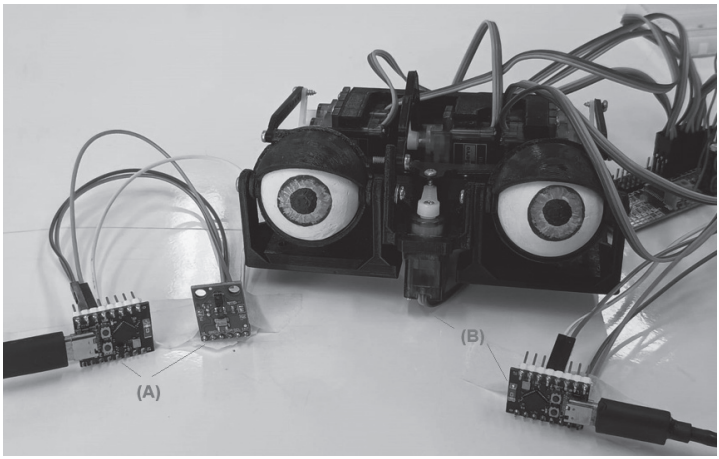
O sensor APDS9960 demonstrou desempenho superior aos sensores previamente testados (TCRT5000 e MAX30102). Sua capacidade de compensação de luz ambiente eliminou a sensibilidade a variações de iluminação, um problema crítico na primeira versão do protótipo. A maior resolução do sensor permitiu a geração de curvas de proximidade detalhadas durante o ciclo de fechamento e abertura palpebral. Análises preliminares dessas curvas revelaram padrões distintos que se correlacionam com os diferentes tipos de piscada descritos na literatura (Nyström et al., 2024; Trigo e Gruart, 2001), embora uma validação estatística formal com amostragem de usuários ainda seja necessária.

3.2 Desempenho do Sistema de Comunicação e Atuação

Os testes de comunicação sem fio entre o módulo sensor e o módulo atuador (olho animatrônico) registraram uma latência de ponta a ponta consistentemente inferior a 50 ms. Este tempo de resposta é considerado adequado para evitar uma dessincronização perceptível entre o olho funcional e a prótese, um fator chave para mitigar o efeito *uncanny valley*. O software embarcado no módulo atuador foi capaz de reproduzir o movimento de piscar de forma suave e controlada através dos servomotores.

É importante ressaltar que, no estágio atual, o módulo de atuação foi validado na plataforma de testes animatrônica. A integração dos atuadores miniaturizados em uma prótese óculo-palpebral real representa a próxima fase do projeto.

Figura 3 - Sistema sensor com ESP32 C3 SuperMini e APDS9960 (A); Sistema atuador com olhos animatrônicos e ESP32 C3 SuperMini (B)



4. CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo desenvolver uma solução miniaturizada e responsiva para detecção e simulação do piscar em próteses óculo-palpebrais, baseada em parâmetros fisiológicos reais e em arquitetura embarcada de baixo custo. Os resultados obtidos confirmam parcialmente esse objetivo, com a construção de um sistema funcional que opera com sensor APDS9960 via controle da ESP32 C3 SuperMini, que é capaz de capturar, interpretar e responder aos movimentos palpebrais com relevante fidelidade em ambiente controlado.

Como contribuição prática, destaca-se a miniaturização do sistema e sua compatibilidade com estruturas protéticas reais, bem como a possibilidade de distinguir padrões fisiológicos de piscadas com base em curvas de proximidade. Isso representa um avanço relevante em relação às próteses óculo-palpebrais convencionais, que permanecem estaticamente inertes e contribuem para a intensificação do efeito *uncanny valley*, afetando a aceitação social dos usuários. A capacidade de detecção em tempo real abre caminho para uma prótese que interage ativamente com os gestos naturais da face.

O protótipo proposto oferece flexibilidade para futuras melhorias, como o uso de atuadores internos à prótese e a implementação de algoritmos de inteligência artificial embarcada.

Como perspectiva futura, sugere-se o desenvolvimento de uma versão integrada final com encapsulamento biocompatível, validação em modelos anatômicos e estudo com usuários reais. Além disso, propõe-se o aprimoramento

do sistema de atuadores, para que estes reproduzam com maior precisão os microgestos palpebrais em próteses de uso clínico, elevando o realismo funcional e estético das interações humanas mediadas por tecnologias assistivas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEG e ao CNPq pelo apoio financeiro que contribuíram para a realização e divulgação do presente estudo.

REFERÊNCIAS

AGARWAL, Meghna D. et al. Customized silicone ocular prosthesis for postexenteration rehabilitation: a case report. Cureus, \[S.l.], 27 mar. 2025. Disponível em: [https://assets.cureus.com/uploads/case_report/pdf/352847/20250426-358691-w25v6i.pdf]. Acesso em: 18 jul. 2025. DOI: [https://doi.org/10.7759/cureus.81283].

BAUM, Sven Holger; MOHR, Christopher. Reconstruction of Orbital Exenteration Defects with Cheek Rotation Flaps: Indications, Technique, Complications, Rehabilitation, and Survival. Facial Plastic Surgery, Stuttgart, v. 37, n. 3, p. 288–295, 2021. Disponível em: [https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/ABSTRACT/10.1055/s-0040-1715618]. Acesso em: 18 jul. 2025. DOI: [https://doi.org/10.1055/s-0040-1715618].

NYSTRÖM, M.; ANDERSSON, R.; NIEHORSTER, D. C.; HESSELS, R. S.; HOOGE, I. T. C. What is a blink? Classifying and characterizing blinks in eye openness signals. Behavior Research Methods, New York, v. 56, n. 1, p. 237–254, jan. 2024.

MORI, M. The Uncanny Valley. Tradução: Karl F. MacDorman; Norri Kageki. IEEE Robotics & Automation Magazine, Piscataway, v. 19, n. 2, p. 98–100, jun. 2012.

FALCÃO, M. F. Movimentos palpebrais persecutórios e sacádicos na orbitopatia de Graves. 2006. 92 f. Tese (Doutorado em Medicina – Área de Morfofisiologia das Estruturas Faciais) – Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2006.

FRIGERIO, A.; HADLOCK, T. A.; MURRAY, E. H.; HEATON, J. T. Infrared-based blink detecting glasses for facial pacing: towards a bionic blink. JAMA Facial Plastic Surgery, Chicago, v. 16, n. 3, p. 211–218, 2014.

TRIGO, J. A.; GRUART, A. Fisiología del sistema motor del párpado. Revista de Neurología, Barcelona, v. 32, n. 8, p. 755–761, ago. 2001.

COGLEY, WILL, Animatronic Eye Mechanism v3.2, Maker World, https://makerworld.com/en/models/1184807-animatronic-eye-mechanism-e3-2#profileId-1195681, 2025. Acesso em: 13/06/2025.

Implantação de laboratório de fabricação digital em uma unidade de cuidados prolongados

Rosário, Bárbara de Lima[1]; Stresser, Thamirys Zen[2]; Kuchnir, Tiago de Oliveira[3]

1 – Supervisão de Equipe Multidisciplinar, Pequeno Cotolengo, barbara.rosario@pequenocotolengo.org.br
2 – Coordenação de Equipe Multidisciplinar, Pequeno Cotolengo, thamirys.stresser@pequenocotolengo.org.br
3 – Diretor Técnico, Pequeno Cotolengo, diretor.tecnico@pequenocotolengo.org.br
* - Correspondência: Rua José Gonçalves Júnior, 140, Campo Comprido, Curitiba, Paraná, Brasil, 81220-210.

DOI 10.52050/9788579177149-23

RESUMO

A tecnologia assistiva, especialmente a impressão 3D, tem se destacado por promover autonomia e inclusão de pessoas com limitações funcionais crônicas. Este estudo objetivou descrever a implantação e os impactos de um Laboratório de Fabricação Digital no Complexo de Saúde Pequeno Cotolengo. A metodologia envolveu a criação do laboratório, capacitação da equipe e produção interna de órteses e dispositivos personalizados. Os resultados mostraram redução significativa no tempo de produção e aumento da funcionalidade dos pacientes. Conclui-se que a inovação contribui para a reabilitação, sustentabilidade e melhoria da qualidade de vida dos usuários.
Palavras-chave: Impressão 3D, Tecnologia Assistiva, Reabilitação Funcional.

ABSTRACT

Assistive technology, especially 3D printing, has stood out for promoting autonomy and inclusion of people with chronic functional limitations. This study aimed to describe the implementation and impacts of a Digital Fabrication Laboratory at the Pequeno Cotolengo Health Complex. The methodology involved setting up the laboratory, training the team, and internal production of customized orthoses and devices. Results showed a significant reduction in production time and increased patient functionality. It is concluded that the innovation contributes to rehabilitation, sustainability, and improved quality of life for users.
Keywords: *3D Printing, Assistive Technology, Functional Rehabilitation.*

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia assistiva tem ganhado destaque na promoção da autonomia e inclusão de pacientes que necessitam de reabilitação. A impressão 3D surge como uma solução eficiente para a produção de dispositivos personalizados, de baixo custo e rápida fabricação (SILVA; SOUZA, 2021, p. 87; GOMES et al., 2021, p. 113). O Complexo de Saúde Pequeno Cotolengo, organização filantrópica em Curitiba-PR, atende pessoas com limitações funcionais crônicas e institucionalizadas, com perfil semelhante ao de asilados hospitalares descrito por Gorzoni e Pires (2006).

Entretanto, desafios logísticos na aquisição de órteses e produtos de apoio dificultavam o atendimento, com prazos superiores a seis meses. A falta de integração e eficiência nos sistemas logísticos podem gerar atrasos significativos na entrega desses materiais, impactando negativamente o atendimento aos pacientes (SAÚDE EM DEBATE, 2018). Para enfrentar essa realidade, em 2022, foi implantado o Laboratório de Fabricação Digital para produção interna de tecnologias assistivas via impressão 3D. O projeto contou com doações institucionais, aquisição de equipamentos, capacitação da equipe e contratação de profissional especializado em modelagem (SOUZA et al., 2022, p. 36).

Com uso de filamentos biodegradáveis e metodologias ágeis, os resultados incluem redução de custos, impacto ambiental positivo, maior adesão às terapias e diversificação das soluções oferecidas, com foco em segurança, funcionalidade e conforto. Este relato técnico descreve as etapas de implantação e os resultados obtidos entre 2022 e 2024, destacando os impactos práticos na assistência e reabilitação de pacientes com déficits funcionais crônicos.

2. DESENVOLVIMENTO

Em 2022, o Complexo de Saúde Pequeno Cotolengo implantou um Laboratório de Fabricação Digital para a produção interna de órteses, com o objetivo de reduzir a dependência de serviços externos e os longos prazos de espera que comprometiam os planos terapêuticos. Antes dessa implantação, os dispositivos eram confeccionados artesanalmente em polipropileno, a partir de moldes em gesso, em um processo que podia levar até seis meses para ser concluído. Além do tempo prolongado, o processo envolvia sucessivas idas e vindas a serviços externos, o que agregava riscos clínicos e custos relacionados ao transporte dos pacientes.

Com a nova estrutura, composta por impressoras 3D, software de modelagem, soprador térmico e filamento biodegradável, tornou-se possível realizar ajustes imediatos e dar respostas clínicas mais ágeis. Desde a

admissão, a avaliação funcional permite identificar a necessidade de órteses produzidas com tecnologia 3D, com tempo médio de produção reduzido para até três dias. Essa agilidade favoreceu o uso precoce dos dispositivos, contribuindo para a reabilitação funcional, prevenção de agravos, redução de custos assistenciais e promoção da inclusão social de pessoas com limitações funcionais(MATSUKURA, 2018).

Ao longo de 2023, a demanda por dispositivos personalizados tornou-se uma prioridade crescente, impulsionando a ampliação da customização para atender às necessidades individuais dos pacientes. A adoção da impressão 3D trouxe benefícios como leveza, resistência à água, fácil higienização, possibilidade de remodelagem e durabilidade média de até três anos. A equipe de Terapia Ocupacional passou a ter autonomia no processo de produção, promovendo um ambiente de trabalho mais inovador e sustentável, com soluções que também passaram a atender casos de fraturas estáveis, devido à radiotransparência das órteses.

Em 2024, o serviço avançou significativamente com a integração de um profissional especializado em modelagem e impressão 3D ao Laboratório de Fabricação Digital. Essa atuação técnica e estratégica ampliou a capacidade de desenvolvimento de soluções altamente personalizadas, voltadas a pacientes com condições crônicas complexas e internação prolongada. A tecnologia passou a ser aplicada não apenas na confecção de órteses, mas também na produção de dispositivos auxiliares destinados a diversas áreas da funcionalidade. Entre as inovações, destacam-se suportes para pranchas de comunicação alternativa, colheres anguladas com possibilidade de ajuste de peso para facilitar a preensão palmar durante a alimentação, adaptadores para lápis, canetas e pincéis para estimular a coordenação motora, porta-copos adaptados para cadeiras de rodas e suportes de preensão palmar para treino de marcha em pacientes pós-acidente vascular cerebral (AVC). Essas soluções têm gerado ganhos expressivos na autonomia funcional e na qualidade de vida dos pacientes atendidos.

Além dos benefícios diretos aos pacientes, a impressão 3D passou a atender também às demandas internas da equipe multiprofissional, contribuindo para a otimização de processos assistenciais e de segurança. Entre os dispositivos produzidos destacam-se organizadores de medicamentos para carrinhos de emergência, anguladores de leito para garantir a administração de dietas na posição adequada, tampas protetoras para caixas de descarte de medicações psicotrópicas, kits de segurança para alarmes de incêndio e protetores de tomadas. Essas soluções têm promovido maior eficiência nos cuidados, reduzido riscos e estimulado novas abordagens terapêuticas. Esse avanço tecnológico

também impactou positivamente o ambiente de trabalho, fortalecendo a cultura de inovação na assistência em saúde.

Esses recursos têm demonstrado impacto direto na progressão funcional dos indivíduos atendidos, especialmente nas unidades de longa permanência hospitalar, onde a manutenção da funcionalidade e a prevenção de agravos são metas essenciais do cuidado. Como destacam Bersch e organizadores (2017), a tecnologia assistiva desempenha papel fundamental na ampliação das habilidades funcionais de pessoas com deficiência ou restrições funcionais, favorecendo sua independência e inclusão. No Pequeno Cotolengo, essa prática tem promovido não apenas a inovação nos cuidados, mas também fortalecido a qualidade e a efetividade dos processos de reabilitação, valorizando o potencial de cada indivíduo.

3. RESULTADOS

Desde a implantação do Laboratório de Fabricação Digital, em 2022, o Complexo de Saúde Pequeno Cotolengo produziu 146 órteses (Figura 01) e 113 tecnologias assistivas personalizadas até o final de 2024. O tempo médio de confecção foi drasticamente reduzido, passando de até seis meses para uma média de um a três dias, a depender do material produzido. Essa agilidade permitiu a aplicação precoce dos dispositivos, favorecendo a adesão aos planos terapêuticos e resultando em significativa diminuição dos custos relacionados à aquisição externa de órteses e materiais adaptativos, otimizando os recursos financeiros da instituição.

A integração, em 2024, de um profissional especializado em modelagem e impressão 3D ampliou a capacidade de desenvolvimento de soluções inovadoras, especialmente para pacientes com condições crônicas complexas e internação prolongada. O trabalho colaborativo com a equipe multiprofissional garantiu a produção de dispositivos não apenas para suporte motor, mas também para comunicação, alimentação, posicionamento e mobilidade, favorecendo a funcionalidade e segurança dos pacientes tanto no contexto clínico quanto domiciliar.

Relatos da equipe indicam que a adaptação precoce às órteses e aos dispositivos assistivos 3D promoveu maior conforto e facilitou a transição de tarefas supervisionadas para atividades autônomas, principalmente em casos de déficits motores moderados. A melhora funcional foi quantificada por meio da escala de Medida de Independência Funcional (MIF), na qual 80% dos pacientes internados na unidade apresentaram melhora significativa na capacidade de realizar atividades diárias após a introdução dos dispositivos personalizados, refletindo ganhos importantes em autonomia e qualidade de vida. (Figura 02).

Além dos benefícios clínicos, o projeto gerou impactos organizacionais e ambientais relevantes. O uso de filamentos biodegradáveis, derivados de bagaço de beterraba, cana- de-açúcar e milho, reforçou o compromisso com a sustentabilidade, alinhando inovação tecnológica a práticas ambientalmente responsáveis. A capacitação contínua da equipe e a integração da tecnologia assistiva ao modelo de cuidado prolongado fortaleceram a cultura de inovação e valorização profissional no Pequeno Cotolengo, criando um ambiente motivador para o desenvolvimento de novas soluções terapêuticas (Tabela 01).

Em síntese, a implantação e o desenvolvimento do Laboratório de Fabricação Digital consolidaram a impressão 3D como um recurso estratégico na reabilitação de pessoas com limitações funcionais crônicas e necessidade contínua de cuidados, evidenciando melhorias clínicas, operacionais e socioambientais no cuidado em saúde, conforme destaca Almeida e Silva (2022), ao apontar a relevância da impressão 3D para o avanço da reabilitação física por meio de soluções personalizadas e eficientes (Figura 03).

Figura 01 - Impressão 3D de Órtese de Membro Superior

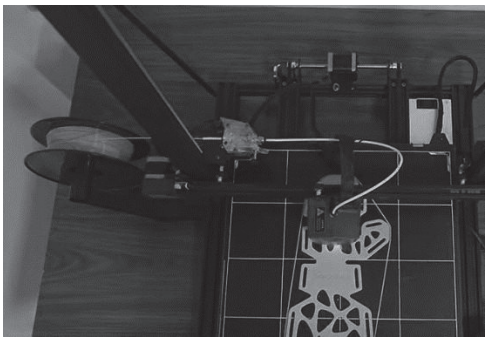


Figura 02 - Órtese de Membro Superior Implementada



Figura 03 - Projeto de Suporte para Lápis ou Caneta em Software (esquerda) e o Dispositivo Implementado (direita)

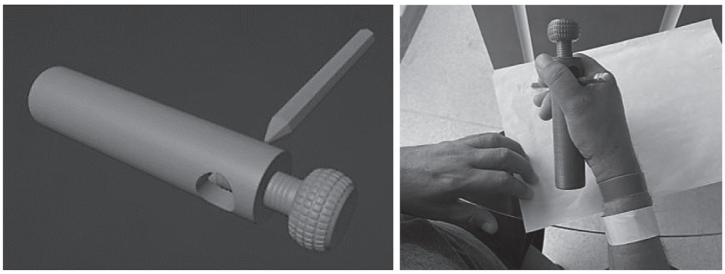


Tabela 01 - Resultados da implantação do Laboratório de Fabricação Digital no CSPC (2022-2024)

Categoria	Indicadores / Descrições	Dados / Resultados
Produção de dispositivos	Órteses produzidas	146 unidades
	Tecnologias assistivas produzidas	113 unidades
Tempo de produção e entrega	Tempo médio para confecção de órteses	1 a 3 dias
	Redução do prazo em comparação ao método anterior	De até 6 meses para até 3 dias
Redução de custos	Economia na aquisição de órteses e materiais	Redução significativa
Melhora funcional dos pacientes	Percentual de pacientes com melhora funcional após uso das órteses	80%
Atendimento à demanda multiprofissional	Demandas atendidas pela equipe com dispositivos personalizados	Aumento expressivo com agilidade na resposta clínica
Adaptação e conforto	Melhora relatada na adaptação e conforto dos dispositivos	Alta aceitação pela equipe e pacientes
Engajamento na reabilitação	Aumento da motivação dos pacientes durante as sessões	Facilitação em adesão às terapias
Facilitação das rotinas assistenciais	Redução de falhas e otimização do trabalho da equipe	Impacto positivo na rotina, maior segurança e eficiência

Categoria	Indicadores / Descrições	Dados / Resultados
Impactos organizacionais	Sustentabilidade da produção (uso de filamentos biodegradáveis)	Produção com materiais ecológicos derivados de bagaço de beterraba, cana de açúcar e milho
	Integração da tecnologia assistiva no modelo de cuidado	Melhora da qualidade e efetividade dos processos
	Capacitação e valorização da equipe	Inclusão de profissional especialista em tecnologia assistiva

4. CONCLUSÕES

Este relato de caso descreve a implantação e consolidação do Laboratório de Fabricação Digital no Complexo de Saúde Pequeno Cotolengo, destinado à produção interna de órteses e tecnologias assistivas personalizadas por meio da impressão 3D. A iniciativa reduziu o tempo de confecção dos dispositivos de até seis meses para uma média de um a três dias, com a produção de 146 órteses e 113 tecnologias assistivas até o final de 2024.Os resultados demonstraram impacto direto na funcionalidade dos pacientes internados na unidade, com cerca de 80% apresentando melhora nas atividades da vida diária, além de ganhos clínicos, operacionais e ambientais. A integração de um profissional especializado e a atuação da equipe multiprofissional permitiram o desenvolvimento de soluções adaptadas às necessidades motoras, cognitivas e sensoriais. O uso de filamentos biodegradáveis reforçou o compromisso com a sustentabilidade.

Para continuidade e expansão dos resultados, recomenda-se a ampliação da formação técnica em tecnologias assistivas e a disseminação da experiência para outras instituições com perfil semelhante.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. A.; SILVA, R. G. *Impressão 3D aplicada à reabilitação física: uma revisão sistemática*. *Revista Brasileira de Tecnologia Assistiva*, v. 10, n. 2, p. 45–56, 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Política Nacional de Saúde da Pessoa com Deficiência.* Brasília: Ministério da Saúde, 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Desafios logísticos no acesso a tecnologias em saúde no âmbito do SUS*. *Saúde em Debate*, Rio de Janeiro, v. 42, n. esp. 1, p. 64–78, 2018. Disponível em: https://www.scielo.br/j/sdeb/a/KC9xvL6sRbMWgdbYfQ5Cfjv/. Acesso em: 12 fev. 2025.

GOMES, F. R. et al. *Desenvolvimento de órteses personalizadas com impressão 3D para reabilitação motora. Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*, v. 28, p. 112– 118, 2021.

GORZONI, M. L.; PIRES, S. L. *Idosos asilados em hospitais gerais. Revista de Saúde Pública*, v. 40, n. 6, p. 1124–1130, 2006.

MATSUKURA, T. *Tecnologia Assistiva: conceitos, práticas e perspectivas*. *Revista Kairós Gerontologia*, v. 21, n. 3, p. 209–222, 2018.

MOLINA, C. S. et al. *Desenvolvimento de tecnologia assistiva utilizando impressão 3D para reabilitação motora em adultos. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, v. 37, n. 1, p. 1–9, 2021.

SILVA, T. J.; SOUZA, V. A. *Tecnologias assistivas e personalização de dispositivos na saúde: desafios e perspectivas. Cadernos de Saúde e Tecnologia*, v. 17, n. 1, p. 83–92, 2021.

SOUZA, L. M. et al. *A influência da impressão 3D na construção de tecnologias assistivas: revisão e perspectivas*. *Revista Brasileira de Engenharia Clínica*, v. 26, n. 1, p. 31–39, 2022.

Manufatura aditiva e modelagem digital na reabilitação facial: desenvolvimento de próteses nasais personalizadas

Pasko, Camila Fernanda*[1]; Bartoszyk, Gabriele[2]; Barduco, Gabriela Schrann[3]; Muniz, Laura Pardinho[4]; Barczyszyn, Karin[5], Foggiatto, José Aguiomar[6]

1 – Departamento de Mecânica, UTFPR, camilapasko@alunos.utfpr.edu.br
2 – Departamento de Odontologia, UP, gabrielebartozyk@gmail.com
3 – Departamento de Mecânica, UTFPR, gabrielabarduco@alunos.utfpr.edu.br
4 – Departamento de Mecânica, UTFPR, lauramuniz@alunos.utfpr.edu.br
5 – Laboratório de Prótese Bucomaxilofacial, Hospital Angelina Caron, karinbarczy@gmail.com
6 – Departamento de Mecânica, UTFPR, foggiatto@utfpr.edu.br
* - Correspondência: Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000, Sala EM-101, Ecoville, Curitiba, PR, Brasil, 81280-340.

DOI 10.52050/9788579177149-24

RESUMO

Pacientes com mutilações faciais enfrentam condições físicas e emocionais que afetam sua autoestima e inclusão social, destacando a necessidade de soluções reabilitadoras mais eficazes e acessíveis. A pesquisa propôs o desenvolvimento de uma prótese nasal personalizada, que incluiu a digitalização da anatomia facial, modelagem 3D e confecção de um molde com impressão 3D por extrusão de material. Os resultados demonstraram alta qualidade estética e anatômica da prótese, com redução de custos e tempo. Concluiu- se que essa técnica representa um avanço para as áreas da Engenharia, Saúde e Tecnologia Assistiva, promovendo integração, inovação e inclusão social.
Palavras-chave: prótese nasal, modelagem 3D, impressão 3D.

ABSTRACT

Patients with facial mutilations face physical and emotional conditions that impact their self-esteem and social inclusion, highlighting the need for more effective and accessible rehabilitative solutions. The research proposed the development of a customized nasal prosthesis, involving facial anatomy digitization, 3D modeling and mold fabrication using 3D printing by material extrusion. The results

showed high aesthetic and anatomical quality of the prosthesis, along with cost and time efficiency. The conclusion is that this technique represents a significant advancement in the fields of Engineering, Health and Assistive Technologies, promoting integration, innovation and social inclusion.
Keywords: *nasal prosthesis, 3D modeling, 3D printing.*

1. INTRODUÇÃO

A imagem pessoal é um elemento fundamental nas relações humanas, pois influencia desde interações cotidianas até oportunidades profissionais. Isso ocorre porque a autoapresentação está diretamente relacionada à inclusão em grupos sociais e ao acesso a redes de oportunidades. No caso de pacientes com mutilações faciais decorrentes de traumas, câncer ou doenças congênitas, os desafios enfrentados vão além das limitações físicas, impactando profundamente sua qualidade de vida e autoestima. Do ponto de vista social, o indivíduo tende a se isolar, motivado pelo medo da rejeição devido à sua nova aparência, além da possibilidade de desenvolver transtornos psicológicos, como depressão e ansiedade (GAMARRA et al., 2019, p. 251).

Tradicionalmente, as próteses faciais são confeccionadas por meio de técnicas artesanais, como moldagens diretas com alginato e modelagem manual em cera, na qual o profissional reproduz minuciosamente a anatomia nasal, utilizando fotografias antigas do paciente como referência (PATROCÍNIO; AZEVEDO, 2013, p. 35). Ferramentas como espátulas, estecas e compassos de pontas secas são essenciais para definir com precisão os contornos, relevos e demais características anatômicas do nariz (NEGREIROS et al., 2022, p. 43).

A confecção de próteses nasais com moldagem direta no paciente, na qual o alginato é aplicado sobre a área mutilada, pode causar desconforto ao paciente, tanto pelo tempo limitado de trabalho quanto pela necessidade de respirar pela boca durante o procedimento. Desse modo, o local de trabalho deve ser adaptado para que o paciente permaneça calmo e relaxado durante o procedimento (AQUINO et al., 2012, p. 438). Esses métodos, embora eficazes em alguns casos, são demorados e dependem da habilidade do protesista, limitando a precisão anatômica, a durabilidade do resultado e a personalização individual. Conforme evidenciado, há a necessidade de desenvolver processos mais ágeis e acessíveis para a reabilitação de pacientes. O avanço das tecnologias digitais, em especial a integração de softwares de reconstrução 3D com a manufatura aditiva, tem gerado impactos positivos, tais como a redução do tempo de trabalho, a diminuição da curva de aprendizagem do profissional, o menor tempo de presença física do paciente durante a consulta para confecção da prótese e a redução de custos (GAMARRA et al., 2019, p. 251). A impressão 3D

por extrusão de material (MEX) destaca-se como uma das principais tecnologias de manufatura aditiva atuais (VOLPATO, 2024, p. 68). Baseia-se na deposição controlada de filamentos termoplásticos fundidos, camada a camada, a partir de um modelo digital, possibilitando a criação de peças com geometrias complexas e alta funcionalidade, sem necessidade de outros métodos de fabricação como a usinagem ou moldagem manual. Além de reduzir custos, tempo de produção e desperdício de material,

trata-se de uma solução acessível e eficaz.

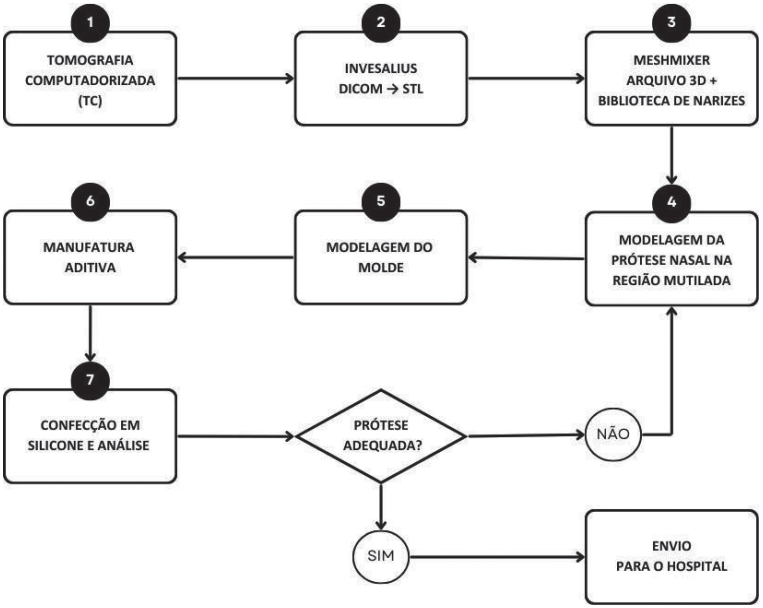
Na fabricação de próteses faciais, a MEX permite desenvolver dispositivos personalizados e precisos, a partir de exames de imagem como tomografias, que geram modelos digitais tridimensionais da anatomia do paciente. Esses modelos servem como base para os biomodelos, moldes e próteses definitivas, tornando o processo mais rápido, preciso e menos invasivo do que métodos tradicionais com moldes em cera, por exemplo. A integração de bibliotecas virtuais de órgãos (como nariz, orelha, entre outros) à digitalização facial do paciente garante um encaixe natural e estéticamente harmonioso.

Outrossim, diante da insatisfação estética de um paciente com a prótese nasal convencional, que não ocultava adequadamente a região mutilada, identificou-se a necessidade de desenvolver um molde adaptado à anatomia facial e capaz de incorporar características individuais. A modelagem tridimensional, aliada à impressão 3D por extrusão de material, possibilitou a confecção de uma prótese personalizada, com melhor ajuste anatômico, restaurando não apenas a função, mas também a harmonia facial. Assim, este trabalho não visa apenas suprir uma demanda clínica específica, como também, contribuir para avanços na área de próteses faciais, priorizando a qualidade de vida do paciente por meio da integração entre tecnologia, estética e funcionalidade.

2. DESENVOLVIMENTO

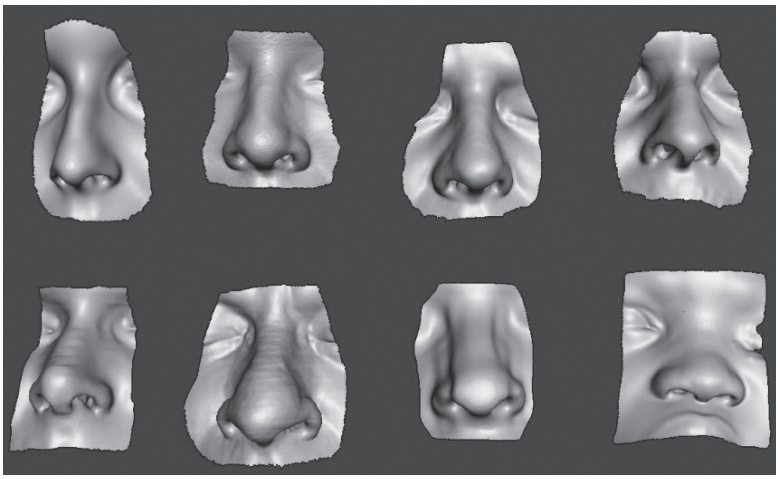
A modelagem 3D auxilia na criação de próteses oferecendo velocidade e qualidade em comparação a métodos tradicionais. A abordagem com técnicas otimizadas e softwares gratuitos não só possibilita o desenvolvimento de moldes de forma eficiente, mas também assegura um resultado final com alto nível de detalhamento. Para estruturar esse processo, o fluxograma da Figura 01 foi elaborado, descrevendo as etapas essenciais, desde a aquisição de imagens e modelagem tridimensional até a impressão 3D e análise da qualidade.

Figura 01 - Fluxograma de processos



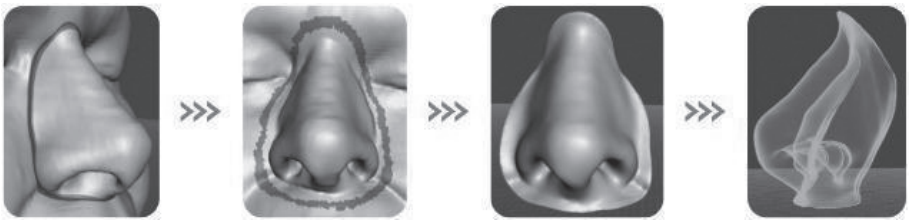
A reabilitação de pacientes com mutilações nasais decorrentes de traumas ou cânceres faciais exige uma abordagem multidisciplinar, onde a tecnologia atua como aliada essencial. Nesse contexto, a etapa inicial consiste na realização do exame de Tomografia Computadorizada (TC), que fornece imagens detalhadas em cortes transversais e revela a extensão da lesão. Neste estudo, foram incluídos casos de pacientes do hospital de referência que consentiram em realizar a TC e a posterior confecção da prótese nasal. Os dados obtidos são armazenados no formato DICOM e, em seguida, importados para o programa Invesalius, no qual a região afetada é reconstruída digitalmente, criando uma base tridimensional.
Na etapa seguinte, realizada no programa Meshmixer (Autodesk Inc.), o modelo 3D (em formato .stl) é inicialmente refinado através da remoção de superfícies desnecessárias, preparando-o para o processo de personalização. Com o auxílio de uma biblioteca de narizes padronizada, o paciente, juntamente com o protesista, seleciona um modelo de seu agrado — algumas das opções disponíveis nesta biblioteca virtual estão ilustradas na Figura 02. O modelo escolhido é então inserido no Meshmixer e passa por ajustes precisos de posicionamento e escala, garantindo proporções harmoniosas com a anatomia facial do paciente.

Figura 02 - Exemplos de modelos da biblioteca de narizes virtual



Com a base já posicionada, inicia-se o refinamento minucioso da peça, abrangendo a reprodução das características da pele, o contorno das narinas, o acabamento das bordas e, por fim, a definição da espessura da prótese. Esses elementos são cuidadosamente trabalhados para garantir uma transição suave e natural com o rosto do paciente, conforme ilustrado na Figura 03. Após a finalização da modelagem da prótese nasal, inicia- se a confecção do molde. Nesse processo, é aplicada uma superfície de partição nas superfícies da prótese, responsável por orientar a separação entre as partes frontal e traseira do molde.

Figura 03 - Processos de modelagem da prótese



Anteriormente, a modelagem do molde no Meshmixer ocorria de forma em que a superfície de partição era posicionada manualmente no local adequado, utilizando ferramentas capazes de empurrar ou puxar a malha. Contudo, esse método era moroso e demandava maior tempo e experiência por parte do usuário, devido a necessidade de muitos ajustes e a apresentação de erros. Para otimizar esse processo, passou-se a utilizar um recurso do software capaz de atrair automaticamente a malha para o interior da prótese, mantendo a parte externa alinhada com as bordas do sólido.

Seguido da aplicação da superfície, ocorre a sua união com a prótese, e logo depois, adiciona-se um cilindro ao redor, que funcionará como o corpo do molde. A partir disso, realiza-se uma diferença booleana, resultando no negativo da prótese impressa nos dois lados do cilindro. Por fim, é inserida uma perfuração no molde na parte de trás da prótese,que permitirá a inserção do silicone posteriormente.

O molde da prótese é fabricado através de manufatura aditiva por extrusão de material, técnica que se destaca por seu custo acessível, flexibilidade de produção e capacidade de criar geometrias complexas com precisão. A impressão 3D do molde, tem duração aproximada de 2 a 3 horas, dependendo da máquina e dos parâmetros utilizados. Essa abordagem se mostra não apenas eficiente e rápida, mas também prática para aplicações médicas que demandam agilidade e personalização.

Para que a prótese seja aprovada no laboratório, o molde é preenchido com silicone, permitindo a avaliação de aspectos como qualidade superficial, dimensões e peso. Paralelamente, a manufatura aditiva é empregada na impressão de um modelo 3D da região mutilada do paciente, possibilitando verificar previamente a adaptação da prótese à anatomia real. Considerando que a equipe do laboratório, em sua maioria, não possui habilitação para o contato direto com pacientes, o molde e a peça de teste são encaminhados ao hospital de referência. Nesse ambiente apropriado, profissionais qualificados realizam a prova da prótese, efetuam marcações para possíveis ajustes e validam a modelagem. Sendo aprovada, a prótese definitiva é confeccionada em silicone de grau médico, com coloração caracterizada de acordo com as particularidades de pele do paciente. Se houver necessidade de ajustes, a fase de modelagem é reiniciada com as correções indicadas pelo profissional.

3. RESULTADOS

A adoção de tecnologias digitais, aliada à impressão 3D por extrusão de material, tem promovido avanços na área de próteses bucomaxilofaciais. Ao substituir a moldagem direta com alginato, que exigia múltiplas consultas presenciais, tornou-se possível concentrar o atendimento em etapas mais objetivas, como o exame inicial e a aplicação final da prótese. A possibilidade de imprimir parte do rosto do paciente para testes prévios contribuiu significativamente para a precisão e eficácia do processo.

Na Figura 04, observa-se a modelagem 3D da prótese nasal, essa etapa foi fundamental para garantir a adaptação anatômica precisa ao paciente. A fidelidade entre o modelo virtual e o obtido pode ser constatada na Figura 05, onde a prótese de silicone é posicionada sobre a réplica impressa da região

mutilada do paciente. A comparação entre ambas evidencia a precisão da modelagem digital, além de demonstrar a viabilidade estética e funcional do procedimento.

Figura 04 - Modelagem 3D da prótese

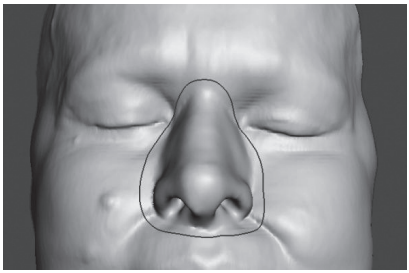
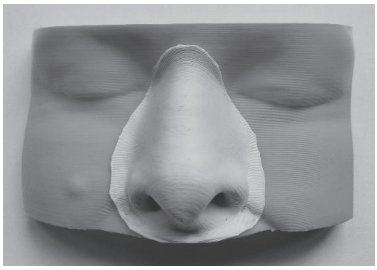


Figura 05 - Prótese confeccionada em silicone



Além disso, para a fabricação da prótese de silicone foi preciso desenvolver um molde. A Figura 06 mostra a modelagem 3D deste molde e a Figura 07 apresenta sua versão física produzida através de impressão 3D. A compatibilidade entre o modelo virtual e o molde impresso confirma a confiabilidade do processo digital, além de contribuir para a padronização e replicabilidade do componente.

A prótese obtida por meio da modelagem tridimensional apresenta uma ótima qualidade, com características mais naturais e adequada à anatomia individual. Ao se aproximar da aparência original, a solução impacta positivamente na autoestima do paciente, promovendo conforto e segurança para interagir em grupos sociais e atenuando possíveis danos psicológicos por isolamento social.

Figura 06 - Modelagem 3D do molde da prótese

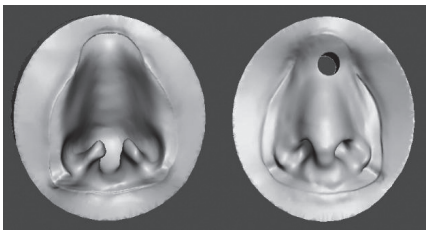
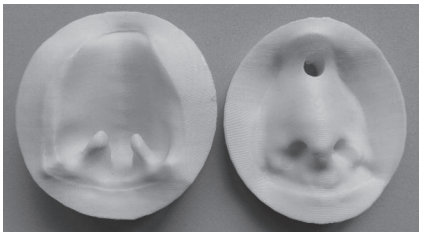


Figura 07 - Molde produzido por impressão 3D



Os resultados obtidos confirmam o potencial da abordagem digital como alternativa viável às técnicas artesanais tradicionais, oferecendo vantagens como maior reprodutibilidade, padronização dos processos e redução dos custos de produção. Cabe destacar, ainda, que a confecção final das próteses é realizada no ambiente hospitalar, onde há infraestrutura adequada e profissionais

especializados para garantir a segurança, a qualidade e a adaptação correta da prótese ao paciente.

4. CONCLUSÕES

O estudo da integração entre tecnologias digitais e a confecção de próteses maxilofaciais representa um avanço significativo na reabilitação de pacientes com mutilações decorrentes de traumas, doenças ou condições congênitas. A utilização da modelagem tridimensional e da impressão 3D por extrusão de material (MEX) na confecção de próteses nasais, permitiu o desenvolvimento de uma prótese nasal personalizada, demonstrando que a adoção dessa tecnologia representa um avanço significativo em termos de precisão e eficiência das próteses.

Como sugestão para futuros desenvolvimentos, recomenda-se o aprimoramento contínuo dos softwares de modelagem e das bibliotecas virtuais de estruturas anatômicas, bem como a integração com sistemas de inteligência artificial para otimizar ainda mais o planejamento e a personalização das próteses, ampliando o acesso e os benefícios das Tecnologias Assistivas a um maior número de pacientes.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação Araucária pelo apoio financeiro do NAPI-TA (Novo Arranjo de Pesquisa e Inovação em Tecnologia Assistiva), ao CNPq pela bolsa de produtividade em desenvolvimento tecnológico e extensão inovadora, ao Núcleo de Manufatura Aditiva e Ferramental (NUFER) e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pelo espaço disponibilizado para o desenvolvimento da pesquisa. Ainda, agradecemos aos colegas de iniciação científica e professores que auxiliaram no processo.

REFERÊNCIAS

AQUINO, L. M. M. DE; OLIVEIRA, M. DE; MARTINS, A. P. V. B.; BARBOSA, C. M. R. Técnicas de moldagem da máscara facial. *Revista de Odontologia da UNESP*, v. 41, n. 6, p. 438–441, dez. 2012.

COUTINHO, K. D.; GUERRA, P. V. A.; PAPALEO, A. B. S.; JUNIOR, J. P. V.; NETO, C. L. B. G.; WANDERLEY, C. D. V.; MORAIS, M. L. S. A. Uso da prototipagem rápida na fabricação de próteses bucomaxilofaciais – Caso clínico. *Revista Brasileira de Inovação Tecnológica em Saúde*, v. 4, n. 3, p. 35-44, set. 2014. NEGREIROS, W. A. DE; FIALLOS, A. C. M.; OLIVEIRA, R. B. N.; FIRMIANO, B. P. X.; SARAIVA, P. V. N.;

SANTOS, S. O. DOS; MACHADO, A. F.; BONFIM, L. S. DO; TORRES, A. B. C.; OLIVEIRA, J. F. B. DE. Desenho, escultura e pintura em prótese bucomaxilofacial: princípios e técnicas. *Odontologia: pesquisa e práticas contemporâneas*, Guarujá, v. 3, n. 1, p. 43–61, ago. 2022.

PATROCÍNIO, M. C. DO; AZEVEDO, R. B. Características da prótese nasal: relato de caso clínico. *Clínica e Pesquisa em Odontologia - UNITAU*, v. 5, n. 1, p. 35-41, nov. 2013.

SALAZAR-GAMARRA, R.; MORAES, C. A. C.; SEELAUS, R. M.; SILVA, J. V. L. DA; DIB, L. L.; ULLOA, J. J. Introdução à metodologia "mais identidade": próteses faciais 3D com a utilização de tecnologias acessíveis para pacientes sobreviventes de câncer no rosto. *Comunicação Científica e Técnica em Odontologia*, v. 2, p. 251–272, abr 2019.

VOLPATO, N. *Tecnologias e aplicações da manufatura aditiva*. São Paulo: Blücher, 2024.

Desenvolvimento e estrutura de um instrumento multidimensional para diagnóstico de serviços de órteses na saúde pública

Girardi, Enrico Oliveira Lazzari*[1]; Sagawa, Yoshimasa[2]; Lajarin, Sérgio Fernando[3]; Soares, Antonio Vinicius[4]; Okimoto, Maria Lucia[5]; Catecati, Tiago[6]; Domenech, Susana Cristina[7]

1 – Departamento de Design, Centro de Artes (CEART), Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), enrico.olg@edu.udesc.br

2 – Departamento de Fisioterapia, Université Franche-Comté, sagawajunior@gmail.com

3 – Departamento de Engenharia Mecânica, UFPR, espanhol@ufpr.br

4 – Departamento de Fisioterapia, Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, antonio.vinicius@univille.br

5 – Departamento de Engenharia Mecânica, UFPR, lucia.demec@ufpr.br

6 – Departamento de Design, Centro de Artes (CEART), Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), tcatecati@gmail.com

7 – Departamento de Design, Centro de Artes (CEART), Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), susana.domenech@udesc.br

* - Correspondência: Rodovia Armando Calil Bulos, 4002, Ingleses, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, 88058-000.

DOI 10.52050/9788579177149-25

RESUMO

A dispensação de Órteses Tornozelo-Pé (AFOs) no sistema público enfrenta desafios de personalização e acesso, impactando crianças com Paralisia Cerebral (PC). Este relato objetiva apresentar o desenvolvimento e a estrutura de um instrumento multidimensional para diagnosticar o serviço de órteses da instituição. A construção metodológica integrou os questionários B-QUEST 2.0, ATD PA Br e a Classificação Internacional de Funcionalidade (CIF). Como resultado, obteve-se um questionário para múltiplas partes interessadas, que avalia o produto, o serviço e o impacto biopsicossocial. Conclui-se que a ferramenta é robusta para identificar barreiras, guiando o aprimoramento de serviços de Tecnologia Assistiva centrados no usuário.

Palavras-chave: Tecnologia Assistiva, Órtese Tornozelo-Pé, Design Participativo.

ABSTRACT

The provision of Ankle-Foot Orthoses (AFOs) in the public system faces challenges of customization and access, impacting children with Cerebral Palsy (CP). This report aims to present the development and structure of a multidimensional instrument to diagnose the institution's orthosis service. The methodological construction integrated the B-QUEST 2.0, ATD PA Br and the International Classification of Functioning (ICF) frameworks. As a result, a questionnaire for multiple stakeholders was obtained, which evaluates the product, the service and the biopsychosocial impact. It is concluded that the tool is robust to identify barriers, guiding the improvement of user-centered Assistive Technology services.
Keywords: *Assistive Technology, Ankle-Foot Orthosis, Participatory Design.*

1. INTRODUÇÃO

A Tecnologia Assistiva (TA) é fundamental na reabilitação de Pessoas com Deficiência (PcD), promovendo autonomia e qualidade de vida. Para crianças com Paralisia Cerebral (PC), as Órteses Tornozelo-Pé (AFOs) são intervenções frequentemente indicadas para melhorar a marcha e corrigir deformidades. Contudo, a oferta de TA no Sistema Único de Saúde (SUS) enfrenta desafios de eficácia, como a produção lenta e a falta de adaptação individual (Bastos, 2023; Girardi, 2023), resultando em altas taxas de abandono e necessidades não atendidas dos usuários (Sugawara et al., 2018; Costa et al., 2015).

Essas dificuldades refletem desafios sistêmicos consolidados na literatura , como barreiras geográficas, longos tempos de espera e falta de protocolos padronizados. O Quadro 1 sintetiza os principais gargalos que justificam a proposição de novos modelos de serviço.

Quadro 01 - Principais desafios na oferta de órteses no Brasil.

Desafio	Descrição
Concentração geográfica de serviços	Serviços concentrados em centros urbanos, dificultando o acesso para áreas rurais e periféricas.
Longos tempos de espera	Pacientes aguardam meses ou anos, o que pode agravar as deficiências.
Falta de protocolos padronizados	Protocolos inconsistentes levam a ineficiências e qualidade variável.
Integração deficiente de cuidados	Profissionais da Atenção Primária com pouco treinamento e coordenação com serviços especializados.

Fonte: Adaptado de Girardi (em preparação), compilado a partir de Curi *et al.* (2024); Martins *et al.* (2024); Menezes *et al.* (2023); Caro *et al.* (2014); Castro *et al.* (2011).

Em resposta a esses desafios, o desenvolvimento eficaz de soluções em TA requer uma abordagem interdisciplinar e centrada no usuário, onde a colaboração entre profissionais de saúde, designers e engenheiros proporciona resultados mais satisfatórios (Merino *et al.*, 2017; Okimoto *et al.*, 2022).O presente relato técnico tem como objetivo apresentar o processo de desenvolvimento e a estrutura final do "Questionário Multidimensional de Percepção sobre o Serviço de Órteses Tornozelo-Pé", concebido como a ferramenta de diagnóstico para a futura implementação de uma Oficina de Tecnologia Assistiva (Oficina TA) em uma instituição pública do estado de Santa Catarina.

2. DESENVOLVIMENTO

Este estudo foi delineado para conceber e estruturar uma ferramenta de diagnóstico robusta, destinada a informar a criação de um modelo de serviço inovador em Tecnologia Assistiva (TA), a "Oficina TA". O desenvolvimento seguiu um percurso metodológico estruturado, partindo do delineamento geral da pesquisa e culminando na criação e no planejamento da validação de um instrumento de coleta de dados.

2.1 Delineamento da Pesquisa

A presente pesquisa foi configurada como um estudo de caso único, de abordagem mista, integrando métodos quantitativos e qualitativos para uma análise aprofundada do contexto (Creswell e Clark, 2013; Yin, 2018). O foco é o serviço de dispensação de Órteses Tornozelo-Pé (AFOs) em uma instituição pública do estado de Santa Catarina. Esta fase diagnóstica é a etapa fundamental que subsidiará o desenvolvimento futuro do modelo teórico-prático da "Oficina TA" para a produção de órteses.

2.2 Contexto da Proposta: O Modelo "Oficina TA"

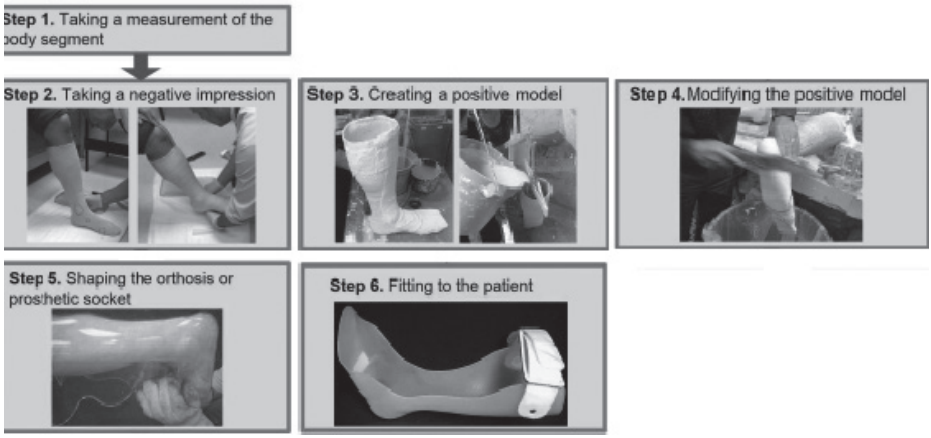
O desenvolvimento do instrumento de diagnóstico foi guiado pela necessidade de informar a concepção da "Oficina TA", um modelo de serviço que visa aprimorar a dispensação de órteses na instituição de estudo. Este modelo se assenta em três pilares teóricos essenciais:

1. Design Centrado no Usuário (DCU) e Participativo (DP): Prioriza o envolvimento ativo dos usuários e profissionais como colaboradores no processo de design para criar soluções eficazes e com experiência de uso positiva (Gorter *et al.*, 2023; Sanders; Stappers, 2008).

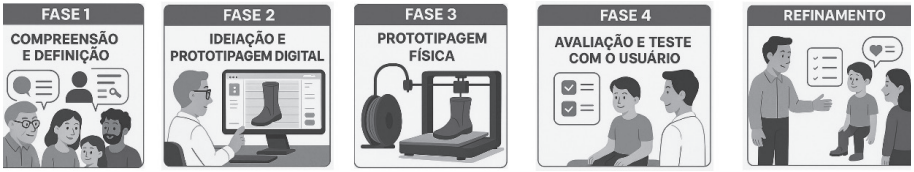
2. Classificação Internacional de Funcionalidade (CIF): Fornece a linguagem comum e a estrutura biopsicossocial para uma avaliação abrangente das necessidades e a medição holística dos resultados da intervenção (OMS, 2003).
3. Processos de Fabricação Inovadores: Explora o fluxo de trabalho digital, incluindo digitalização 3D, modelagem CAD e Manufatura Aditiva (impressão 3D), para permitir a criação de AFOs personalizadas de forma mais ágil, superando limitações do método tradicional (Kumar *et al.*, 2022; Zhou *et al.*, 2022).

A Figura 1 ilustra o comparativo entre o fluxo de produção tradicional, manual e commúltiplas etapas, e o fluxo digital proposto pela Oficina TA, que otimiza o processo.

Figura 01 - Comparativo entre o fluxo de produção tradicional (a) e o fluxo de trabalho digital proposto pela Oficina TA com Manufatura Aditiva (b).



(a)



(b)

Fonte: Adaptado de Chen *et al.* (2016).

2.3 Desenvolvimento do Instrumento de Diagnóstico

O principal produto desta fase da pesquisa é o "Questionário Multidimensional de Percepção sobre o Serviço de Órteses Tornozelo-Pé (AFO)". Seu desenvolvimento compreendeu a etapa de criação e a etapa de planejamento da sua avaliação.

2.3.1 Criação: Fundamentação Teórica e Estruturação

A construção do questionário foi fundamentada em três pilares teóricos para garantir a cobertura dos construtos de interesse:

- B-QUEST 2.0: A versão validada para o português do Brasil inspirou a criação de itens quantitativos (escala Likert) relacionados à satisfação com o dispositivo (produto) e com os serviços de atendimento (Carvalho, Gois e Sá, 2014).
- ATD PA Br: Fundamentado no Modelo de Correspondência Pessoa-Tecnologia (MPT), inspirou a formulação de questões qualitativas sobre os objetivos, desejos e a percepção de fatores psicossociais dos usuários (Alves, 2017).
- Classificação Internacional de Funcionalidade (CIF): Serviu como a estrutura conceitual mestra, guiando a criação de itens para avaliar os Fatores Ambientais (barreiras e facilitadores) e o impacto na Atividade e Participação da criança (OMS, 2003).

O resultado desta etapa é um instrumento estruturado em cinco seções, customizado para os diferentes perfis das partes envolvidas (pais/cuidadores, profissionais, gestores,professores e profissionais de apoio), cobrindo desde a caracterização do respondente até a percepção sobre o produto, o serviço e seu impacto biopsicossocial.

2.3.2 Avaliação: Procedimentos Planejados para Validação

Para assegurar sua validade, o desenvolvimento prevê duas etapas de avaliação (DeVellis, 2016; Pasquali, 2010): 1) Validação de Conteúdo por Juízes Especialistas, onde um painel de 6 especialistas avaliará os itens, utilizando o Índice de Validade de Conteúdo (IVC) para o refinamento (Lynn, 1986); e 2) Pré-teste do Instrumento, aplicando a versão refinada a uma amostra reduzida de envolvidos para verificar a compreensibilidade e funcionalidade geral. A execução deste processo resultará em um questionário com validade de conteúdo, pronto para a fase de diagnóstico. Todos os procedimentos foram submetidos e estão em avaliação pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEPSH/UDESC), garantindo consentimento informado e confidencialidade.

3. RESULTADOS

O principal resultado alcançado nesta fase da pesquisa é a versão final do "Questionário Multidimensional de Percepção sobre o Serviço de Órteses Tornozelo-Pé (AFO)". Este instrumento foi o produto do processo de desenvolvimento metodológico descrito anteriormente e foi concebido como uma ferramenta de diagnóstico para múltiplos envolvidos em serviços de Tecnologia Assistiva (TA).

A estrutura final do questionário foi organizada em cinco seções distintas, visando uma coleta de dados abrangente e contextualizada:

- Seção A: Caracterização do Respondente: Coleta de dados demográficos e de perfil para contextualizar as respostas, com perguntas customizadas para cada grupo de interesse (ex: profissionais, pais/cuidadores, gestores).
- Seção B: Percepção sobre a Órtese (Produto): Avalia, por meio de escala Likert, a percepção sobre a eficácia funcional, o conforto, a segurança e a durabilidade do dispositivo.
- Seção C: Percepção sobre o Serviço: Analisa a percepção sobre os processos de atendimento, como o acesso, o tempo de entrega, a qualidade do suporte profissional e a manutenção.
- Seção D: Percepção sobre o Impacto Biopsicossocial: Investiga o impacto combinado do produto e do serviço na participação social, na qualidade de vida e no envolvimento familiar do usuário.
- Seção E: Barreiras e Facilitadores: Coleta dados qualitativos por meio de perguntas abertas, permitindo que os respondentes descrevam os principais desafios e pontos positivos do serviço.

Para demonstrar as referências na criação dos itens, o Quadro 2 apresenta uma síntese da matriz de construção do questionário. Ela ilustra como os domínios de avaliação foram diretamente inspirados nos questionários teóricos B-QUEST 2.0, ATD PA Br e CIF. A versãocompleta do Quadro 2 encontra-se como material suplementar.

Quadro 02 - Síntese da Matriz de Construção dos Itens do Questionário.

Domínio Avaliado	Questionário Teórico (Inspiração)	Exemplo de Item (Versão Pais/ Cuidadores)
B1. Eficácia Funcional da Órtese	B-QUEST: Eficácia do recurso. CIF: Atividade e Participação (d450 -Andar).	"Observo que, desde o início do uso da órtese, a criança que eu cuido consegue andar e se movimentar com mais facilidade e segurança."
C2. Qualidade do Suporte Profissional	B-QUEST: Qualidade dos serviços profissionais. CIF: Fatores Ambientais (e355 - Profissionais de Saúde).	"Sinto-me seguro(a) e bem orientado(a) pelos profissionais sobre como colocar, retirar, limpar e identificar problemas com a órtese da criança que eu cuido."
D1. Participação Social e Inclusão	ATD PA Br: Fatores psicossociais e autoestima. CIF: Atividade e Participação (d920 - Lazer e Recreação).	"A criança sob meus cuidados sente-se à vontade para participar de brincadeiras e atividades sociais (na escola, parque, passeios) usando a órtese."

Fonte: Elaborado pelo autor (2025), com base em Carvalho, Gois e Sá (2014), Alves (2017) e OMS (2003).

Portanto, o resultado deste trabalho é uma ferramenta de diagnóstico estruturada e teoricamente fundamentada. A sua concepção para diferentes públicos e a sua base multidimensional o tornam um resultado prático e aplicável, capaz de gerar dados relevantes para o aprimoramento de serviços de dispensação de órteses no contexto da saúde pública. O questionário completo encontra-se no material suplementar 2.

4. CONCLUSÕES

O propósito deste estudo foi apresentar o processo de desenvolvimento e a estrutura do "Questionário Multidimensional de Percepção sobre o Serviço de Órteses Tornozelo-Pé". Conclui-se que este objetivo foi plenamente alcançado, uma vez que o relato detalhou a fundamentação teórica, a concepção metodológica e a estrutura final da ferramenta, que constitui o principal resultado prático desta fase da pesquisa.

A principal contribuição prática deste trabalho é a disponibilização de uma ferramenta de diagnóstico estruturada, que pode ser utilizada por gestores, equipes de saúde, designers, educadores e, principalmente, pela pessoa com deficiência e seus familiares para avaliar a qualidade dos serviços. Para os usuários de TA e suas famílias, o ganho se traduz na possibilidade de terem suas

percepções coletadas de forma sistemática, criando um canal formal de feedback para que os serviços identifiquem barreiras e melhorem as intervenções.

Como sugestão para o desenvolvimento futuro, o próximo passo consiste na aplicação do instrumento para coletar os dados que informarão a implementação de um projeto piloto da "Oficina TA". O aperfeiçoamento da tecnologia se dará pelo uso desses dados para refinar o fluxo de trabalho do serviço, com foco na personalização e agilidade da manufatura aditiva. Espera-se que este trabalho sirva como um modelo replicável para outros centros, fomentando a inovação no campo da Tecnologia Assistiva.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Catarinense de Educação Especial (FCEE), à Universidade Federal do Paraná (UFPR), ao Programa de Pós-Graduação em Design da UDESC, ao CNPq (Proc. 313031/2022-3) e à FAPESC (Proc. 2021TR823 e 2023TR632).

REFERÊNCIAS

ALVES, Ana Cristina de Jesus. Avaliação de tecnologia assistiva predisposição ao uso: ATD PA Br: versão brasileira. 2017. Tese (Doutorado em Ciências da Reabilitação) - Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

BASTOS, Paula Alessandra Lima Santos *et al.* Assistive technology and public policies in Brazil. Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional, São Carlos, v. 31, e3401, 2023.

CARO, Camila Caminha *et al.* Dispensação de órteses, próteses e meios auxiliares de locomoção (OPM) no Departamento Regional de Saúde III – Araraquara/SP. Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional, São Carlos, v. 22, n. 3, p. 521-529, 2014.

CARVALHO, Karla Emanuelle Cotias de; GOIS, Miburge Bolívar; SÁ, Katia Nunes. 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.

CASTRO, Shamyr S.; CIEZA, Alarcos; FARIAS, Norma; BUCHALLA, Cássia M. Problems with accessibility to health services by persons with disabilities in São Paulo, Brazil. Disability and Rehabilitation, v. 33, n. 17-18, p. 1693-1698, 2011.

CHEN, Roland K. *et al.* Additive manufacturing of custom orthoses and prostheses – A review. Additive Manufacturing, v. 12, Part A, p. 77-89, 2016.

COSTA, Celso Rodrigues da *et al.* Dispositivos de tecnologia assistiva: fatores relacionados ao abandono.Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional, São Carlos, v. 23, n. 3, p. 611–624, 2015.

CRESWELL, John W.; CLARK, Vicki L. Plano. Pesquisa de métodos mistos. 2. ed. Porto Alegre: Penso, 2013. CRUZ, Daniel Marinho Cezar da; EMMEL, Maria Luisa Guillaumon. Políticas Públicas de Tecnologia Assistiva no Brasil: Um Estudo Sobre a Usabilidade e abandono por Pessoas com

Deficiência Física. Revista FSA (Faculdade Santo Agostinho), Teresina, v. 12, n. 1, p. 79-106, jan./fev. 2015.

CURI, Haidar Tafner *et al.* Satisfação de cadeirantes na Região Metropolitana da Baixada Santista. Ciência & Saúde Coletiva, v. 29, p. e17552022, 2024.

DEVELLIS, Robert F. Scale development: theory and applications. 4th ed. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 2016.

GIRARDI, Enrico Oliveira Lazzari. MODELO TEÓRICO-PRÁTICO PARA O DESENVOLVIMENTO DE ÓRTESESTORNOZELO-PÉ (AFOS) CENTRADO NO USUÁRIO: INTEGRANDO DESIGN PARTICIPATIVO, A CIF E

MANUFATURA ADITIVA NO CONTEXTO DA FCEE. Em preparação. Projeto de Tese (Doutorado em Design) – Programa de Pós-graduação em Design, Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, em preparação.

GORDO, Jessica Jorge *et al.* Biomechanical Outcomes Related with Gait in Children with Cerebral Palsy Using Ankle-Foot Orthotic-A Systematic Review. Applied Mechanics and Materials, v. 890, p. 301-313, 2019.

GORTER, J. W. *et al.* Co-designing an evidence-based and theoretically informed toolkit for a life course approach to health and well-being for youth with childhood-onset disabilities (the My-LIFE toolkit). Disability and Rehabilitation, p. 1-11, 2023.

KUMAR, Rohit *et al.* Efficacy of 3D printed carbon fiber composite shank in customized ankle foot orthosis.Composite Structures, v. 324, p. 117540, 2023.

LYNN, Mary R. Determination and quantification of content validity. Nursing Research, v. 35, n. 6, p. 382- 385, Nov./Dec. 1986.

MARTINS, Ketinlly Yasmyne *et al.* PP81 The importance of networking to produce better health technology assessment evaluations: an HTA guideline for orthotics and prosthetics in Brazil. International Journal of Technology Assessment in Health Care, v. 40, n. S1, p. S88-S88, 2024.

MENEZES, Tarcisio Almeida *et al.* Distribuição espacial dos serviços de saúde especializados para pessoas com deficiência em João Pessoa/PB: uma análise sobre o acesso em saúde. Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, v. 24, p. e202241, 2022.

MERINO, E. A. D. *et al.* Design e tecnologia assistiva. In: Anais do Congresso Internacional de Design e Tecnologia. Florianópolis, 2017.

MICCINILLI, Sandra *et al.* Efficacy of Lower Limb Orthoses in the Rehabilitation of Children Affected by Cerebral Palsy: A Systematic Review. Children, Basel, v. 11, n. 2, p. 212, 2024.

OKIMOTO, Maria Lúcia Leite Ribeiro *et al.* REDE DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM TECNOLOGIA ASSISTIVA: contribuições. In: OKIMOTO, M. L. L. R. *et al.* (org.). Rede de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologia Assistiva: Rede Incluir. Bauru: Canal 6, 2022. p. 15-31.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde: CIF. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo - EDUSP, 2003.

PASQUALI, Luiz. Instrumentação psicológica: fundamentos e práticas. Porto Alegre: Artmed, 2010. RICARDO, Diogo *et al.* Effects of Ankle Foot Orthoses on the Gait Patterns in Children with Spastic Bilateral Cerebral Palsy: A Scoping Review. Children, Basel, v. 8, n. 10, p. 903, 2021.

RIEMER-REISS, M. L.; WACKER, R. R. Factors associated with assistive technology discontinuance among individuals with disabilities. Journal of Rehabilitation, v. 66, n. 3, p. 44-50, Jul./Aug./Sep. 2000.

SANDERS, Elizabeth B. N.; STAPPERS, Pieter Jan. Co-creation and the new landscapes of design. CoDesign, v. 4, n. 1, p. 5-18, Mar. 2008.

SAVALL, Ana Carolina Rodrigues *et al.* Aprimoramento do serviço de tecnologia assistiva de uma instituição pública de referência 1. ed. São José: FCEE, 2018.

SUGAWARA, André T. *et al.* Assistive products abandonment: assessment of abandonment levels and factors that impact on it. Disability and Rehabilitation: Assistive Technology, v. 13, n. 7, p. 716-723, 2018.

YIN, Robert K. Case study research and applications: design and methods. 6. ed. Los Angeles: Sage, 2018. ZHOU, X. *et al.* A state-of-the-art review on the design and manufacturing of ankle-foot orthosis. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 123, p. 1-24, 2022.

Prótese de mão fabricada por impressão 3D: resultados preliminares

Santos, Giovanna Zarpelon [*1]; Muniz, Laura Pardinho[2]; Stoppa, Marcelo Henrique[3]; Foggiatto, José Aguiomar[4]

1 – Departamento de Mecânica, UTFPR, giovannazarpelon@alunos.utfpr.edu.br
2 – Departamento de Mecânica, UTFPR, lauramuniz@alunos.utfpr.edu.br
3 – Núcleo de Tecnologia Assistiva (NENA), UFCAT, mhstoppa@ufcat.edu.br
4 – Departamento de Mecânica, UTFPR, foggiatto@utfpr.edu.br
* Correspondência: NUFER/DAMEC/UTFPR-CT – Rua Deputado Heitor de Alencar Furtado, 5000, Sala EM-101, Ecoville, Curitiba, PR, Brasil, 81280340.

DOI 10.52050/9788579177149-26

RESUMO

A ausência ou perda de membros compromete significativamente a qualidade de vida, exigindo soluções mais acessíveis do que as já existentes. Este estudo teve como objetivo desenvolver uma prótese de mão de geometria similar a mão humana, visando baixo custo e fácil personalização. Foram utilizados programas de modelagem 3D e impressoras por extrusão de material para projetar, fabricar e montar os protótipos. Os resultados preliminares demonstraram boa funcionalidade mecânica e excelente viabilidade econômica da prótese. Conclui-se que a impressão 3D pode democratizar o acesso a dispositivos assistivos, promovendo avanços nas áreas da Engenharia, Design, Saúde, Educação e Tecnologia Assistiva.

Palavras-chave: Prótese, Mão, Impressão 3D.

ABSTRACT

The absence or loss of limbs significantly compromises quality of life, demanding more accessible solutions than those currently available. This study aimed to develop a hand prosthesis with geometry similar to that of the human hand, focusing on low cost and easy customization. 3D modeling software and material extrusion printers were used to design, manufacture, and assemble the prototypes. Preliminary results demonstrated good mechanical functionality and excellent economic feasibility of the prosthesis. It is concluded that 3D

printing can democratize access to assistive devices, promoting advancements in the fields of Engineering, Design, Health, Education, and Assistive Technology.
Keywords: *Prosthesis, Hand, 3D Printing.*

1. INTRODUÇÃO

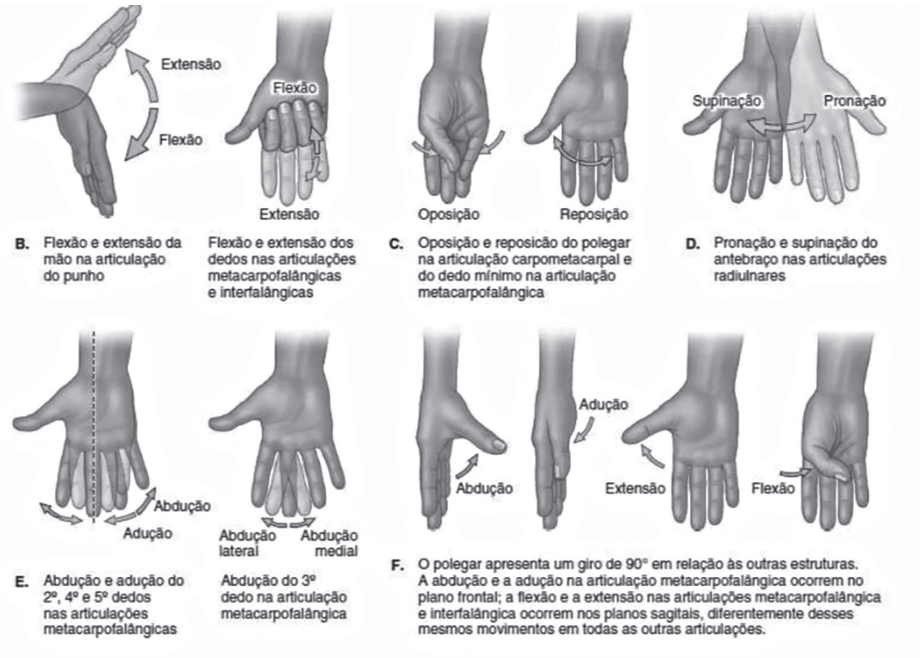
A perda de membros acarreta severas consequências funcionais, emocionais e sociais, comprometendo a independência e a qualidade de vida dos indivíduos afetados. Essa condição não implica apenas uma limitação física, mas também desencadeia um processo de ressignificação existencial, no qual o indivíduo é confrontado com novas formas de ser e estar no mundo. Nesse sentido, a tecnologia assistiva torna-se fundamental para promover o bem-estar e a reinserção em um novo contexto com maior qualidade de vida.

> Enquanto o paciente não visualiza claramente as possibilidades que se apresentam, que requerem redimensionamentos, sofre pela falta de perspectivas e a dependência ganha amplitude na vivência. O amputado passa a preocupar-se com a dependência, vislumbrando-a como um futuro marcado por sofrimento. Dessa forma, torna-se evidente a importância do desenvolvimento harmônico do processo de reabilitação, pois reabilitar um paciente não é só devolvê-lo à sociedade como uma pessoa independente, apesar da deficiência. A reabilitação deve ser capaz de levar ao paciente perspectivas de um fazer cotidiano ideal, de um existir modificado, que permita manter a abertura ao mundo e às coisas (CHINI; BOEMER; 2007, p. 336).

Do ponto de vista funcional, a mão desempenha um papel essencial na autonomia do indivíduo, sendo fundamental para a realização de tarefas diárias. A mão humana é uma ferramenta extraordinária, capaz de realizar uma infinidade de ações graças à preensão, que é sua principal função, assim como afirmou Aristóteles, ela é "o instrumento dos instrumentos" (KAPANDJI, 2000).

Além disso, a mão humana, em estreita colaboração com o cérebro, forma um par funcional inseparável, no qual cada componente influencia e é influenciado pelo outro de maneira lógica e coordenada. Essa interdependência permite que o ser humano transforme o ambiente natural conforme seus propósitos, destacando-se das demais espécies viventes. Consequentemente, a ausência desse membro, seja por lesões traumáticas, tumores, complicações de doenças como o diabetes, insuficiência vascular ou malformações congênitas, acarreta impactos significativos na qualidade de vida e na independência funcional. Os movimentos da mão, que participam da maioria das atividades durante o dia, podem ser observados na Figura 1.

Figura 1 - Movimentos da mão



B. Flexão e extensão da mão na articulação do punho

Flexão e extensão dos dedos nas articulações metacarpofalângicas e interfalângicas

C. Oposição e reposicão do polegar na articulação carpometacarpal e do dedo mínimo na articulação metacarpofalângica

D. Pronação e supinação do antebraço nas articulações radiulnares

E. Abdução e adução do 2º, 4º e 5º dedos nas articulações metacarpofalângicas

Abdução do 3º dedo na articulação metacarpofalângica

F. O polegar apresenta um giro de 90° em relação às outras estruturas. A abdução e a adução na articulação metacarpofalângica ocorrem no plano frontal; a flexão e a extensão nas articulações metacarpofalângica e interfalângica ocorrem nos planos sagitais, diferentemente desses mesmos movimentos em todas as outras articulações.

Fonte: Moore (2024)

No Brasil, embora não existam dados consolidados sobre o número total de pessoas amputadas ou com ausência congênita de membros, registros do Sistema Único de Saúde (SUS) indicam um crescimento significativo no número de amputações, especialmente de membros inferiores, tendo como grande causa a diabetes *mellitus* (Sociedade Brasileira de Diabetes, 2016).

As próteses comercialmente disponíveis, em geral, apresentam alto custo e acesso limitado, o que restringe sua utilização por grande parte da população. Através de pesquisa de mercado, estima-se que o custo médio de uma prótese de mão é 10 mil reais, porém pode variar de mil reais, nas mais básicas, até 100 mil dólares em próteses complexas. Nesse cenário, a aplicação da manufatura aditiva (impressão 3D), configura-se como uma alternativa viável e promissora para o desenvolvimento de dispositivos assistivos de baixo custo e com elevado potencial de personalização, além de já ser validada em seu uso na reabilitação funcional, uma vez que já existem diversas aplicações, como por exemplo na criação de calçados ortopédicos personalizados (MENESES; ALVES; LOPES, 2016) e colheres adaptadas para pessoas com paralisia cerebral (SILVA et al., 2020, p. 183).

O presente estudo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de uma prótese de mão mecânica produzida por meio de impressão 3D, explorando seu potencial como solução acessível e multidisciplinar nas áreas da Engenharia, Design, Saúde, Educação e Tecnologia Assistiva. O objetivo de utilizar a manufatura aditiva é democratizar a tecnologia assistiva, tendo em vista seu reconhecimento como instrumento essencial para que pessoas com deficiência possam exercer plenamente as suas atividades cotidianas.

2. DESENVOLVIMENTO

Esse trabalho foi realizado utilizando como base uma prótese desenvolvida em 2015 e patenteada em 2018 (BR302018056021-3) que foi gerada a partir de uma tomografia computadorizada e objetivou dar uma aparência de mão humana à prótese. Dez anos depois, aproveitando a evolução das tecnologias de manufatura aditiva e da modelagem 3D, pretende-se dar continuidade a esse projeto iniciando com a modelagem paramétrica e adicionando mais funcionalidades à prótese, como automatizá-la numa parceria com o Núcleo de Tecnologia Assistiva (NENA) da Universidade Federal do Catalão.

a) Materiais utilizados

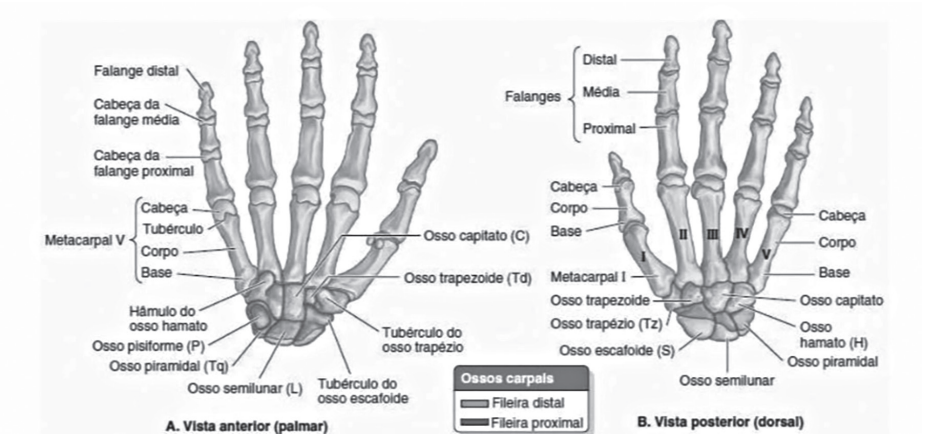
Para iniciar o desenvolvimento do protótipo, primeiramente foram selecionados os materiais a serem utilizados, que foram: PLA (ácido polilático), que é um filamento versátil, amplamente utilizado na tecnologia assistiva, mas relativamente frágil, não sendo recomendado para componentes que exigem alta resistência mecânica ou que fiquem expostos a temperaturas acima de 60°C (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017). Fio de nylon, com diâmetro de 0,8 mm, que se destaca pela alta resistência à tração e boa elasticidade, podendo ser tensionado sem romper e retornando ao estado original. Elástico cilíndrico, que também retorna ao estado original após tracionado, mas possui um módulo de elasticidade maior, o que permite maior deformação antes de voltar às dimensões normais.

b) Projeto e modelagem 3D

A modelagem paramétrica foi feita inteiramente no programa *Solidworks®*, e foi dividida em partes: punho (corpo da mão), dedos, segmento de pulso e tampa. Os dedos foram subdivididos entre as falanges distal, média e proximal, conforme a anatomia óssea da mão ilustrada na Figura 2 por Moore (2024).

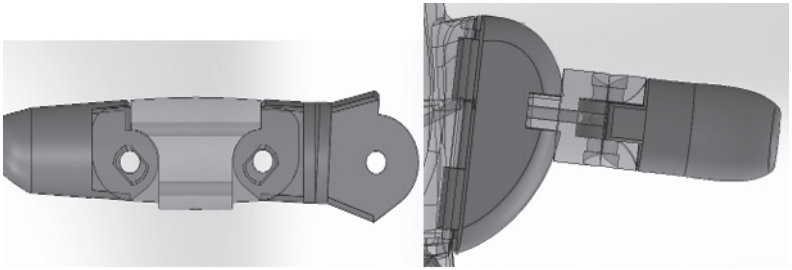
Tendo como base a anatomia óssea da mão, os dedos foram projetados com três falanges articuladas, conectadas por pinos que permitem movimentos de flexão e exten-são. A articulação do polegar foi posicionada de forma a possibilitar a preensão em pinça, essencial para atividades diárias. As modelagens podem ser visualizadas na Figura 3.

Figura 2 - Ossos da mão direita



Fonte: Moore (2024)

Figura 3 - modelagem dos dedos: Indicador (a) e polegar (b)

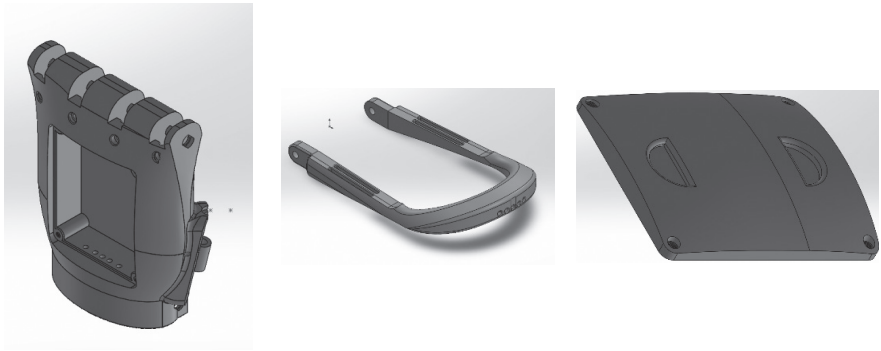


(a) (b)

Fonte: O autor (2025)

Após a modelagem dos dedos, foi possível modelar a estrutura do punho, que unirá as falanges proximais e o pulso, permitindo a extensão e flexão. A modelagem do punho, do pulso e da tampa pode ser visualizada na Figura 4:

Figura 4 - Modelagem do punho (a), pulso (b) e tampa (c)

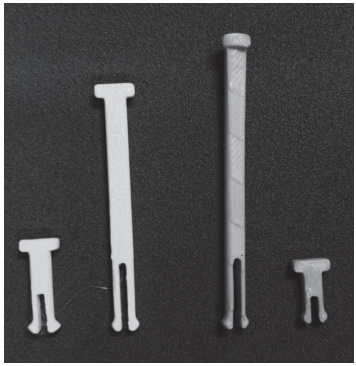


(a) (b) (c)

Fonte: O autor (2025)

Para unir as partes entre si, foram modelados quatro tipos de pinos: 9 do tipo A para unir as falanges entre si, 2 do tipo B para unir as falanges ao punho com comprimento maior, a fim de prender dois dedos por vez, 1 do tipo C para unir a articulação central do polegar ao punho, possuindo base completamente circular, e 2 do tipo D para unir o pulso ao punho, com o menor comprimento. Os pinos podem ser observados na Figura 5:

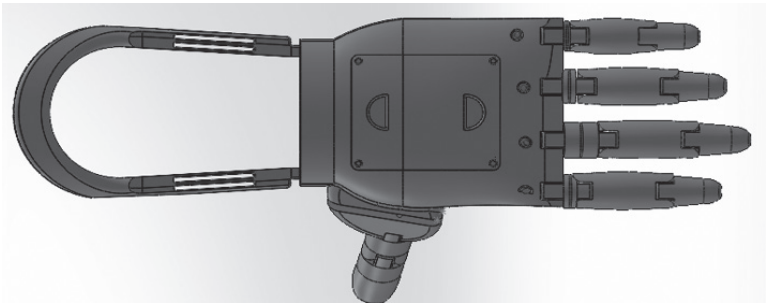
Figura 5 - Pinos A, B C e D



c) Montagem

A montagem foi feita usando o programa *Solidworks* para melhor análise e simulação do resultado, conforme pode ser observado na Figura 6:

Figura 6 - montagem completa no *Solidworks*



Após a análise da modelagem, foi feita a impressão dos componentes utilizando filamentos de PLA, com os parâmetros de impressão conforme a Tabela 1, tendo em vista que o preenchimento pode ser alterado conforme o projeto avançar. Foram utilizadas duas impressoras: a *K1 Max* (*Creality Print*) e a *CarbonX1* (*Bambu Lab.*).

Para o funcionamento dos movimentos da mão, foram transpassados fios nos furos projetados desde as pontas dos dedos até a extremidade do pulso. Os fios elásticos foram amarrados nas pontas superiores das falanges distais e no início do punho, de forma que estivessem tensionados, a fim de manter os dedos esticados quando não houver forças aplicadas. Já os fios de nylon foram amarrados nas pontas inferiores das falanges distais, passando pela parte inferior das outras falanges e do punho até a extremidade do pulso, de forma tensionada, a fim de promover a flexão dos dedos quando o pulso realizar o movimento de flexão.

Tabela 1 - Parâmetros de impressão

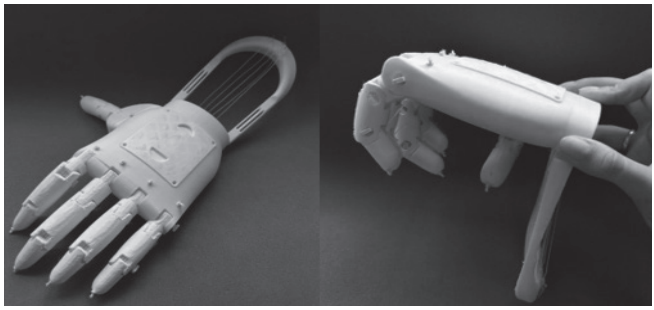
Material	PLA
Altura de camada - mm	0,08
Temperatura de extrusão - °C	220
Temperatura da mesa - °C	55
Velocidade do perímetro externo - mm/s	60
Velocidade do perímetro interno - mm/s	120
Preenchimento - %	15

No interior do punho foi deixado espaço para posteriormente serem colocados mecanismos eletrônicos para controlar os movimentos dos dedos numa versão que será implementada em parceria com a Universidade Federal de Catalão.

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos até o momento permitiram boa amplitude de movimento de extensão e flexão dos dedos e do punho, mostrando que o sistema através de fios obteve bom funcionamento, conforme ilustra a Figura 7.

Figura 7 - prótese em repouso e flexionada



O custo médio da prótese considerando apenas o material utilizado foi de aproximadamente 21 reais (Tabela 2).

Tabela 2 - Custo do material

Material	Quantidade média	Preço médio
Filamento de PLA	180 g	R$ 20,25
Elástico roliço	31,5 cm	R$ 0,33
Nylon para pedreiro	160 cm	R$ 0,14
	Total:	R$ 20,72

Os resultados obtidos permitem que o projeto avance para a próxima etapa, que é melhorar o posicionamento do polegar e desenvolver um sistema eletrônico para comandar os movimentos da prótese.

4. CONCLUSÕES

A manufatura aditiva é uma excelente alternativa para a personalização e redução dos custos de próteses, uma vez que esse meio de produção permitiu o desenvolvimento de uma prótese de mão com boa estética e funcionalidade por um preço muito menor do que as disponíveis no mercado.

O desenvolvimento de uma prótese impressa parecida com uma mão humana visa permitir que esse produto assistivo passe despercebido quando em uso e melhoramentos ainda serão realizados para se chegar ao máximo de similaridade.

Os principais desafios para o desenvolvimento da prótese são no quesito de similaridade com a anatomia e os movimentos, pois a mão humana possui movimentos e geometria extremamente complexos, exigindo detalhes minuciosos. Além disso, visando o baixo custo, os materiais podem não resistir longos anos de uso, o que é um ponto a ser examinado nos próximos passos do projeto.

Democratizar a tecnologia assistiva é fundamental, afinal assim é possível promover mais dignidade e inclusão às pessoas com limitações físicas, e que, devido a isso, acabam muitas vezes ficando à margem da sociedade.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação Araucária pelo apoio financeiro através do NAPI-TA (Novo Arranjo de Pesquisa e Inovação em Tecnologia Assistiva) e ao CNPq pela bolsa de produtividade em desenvolvimento tecnológico e extensão inovadora. Ainda, agradecemos aos colegas de iniciação científica e professores que auxiliaram no processo.

REFERÊNCIAS

BESKO, M.; BILYK, C.; SIEBEN, P. G. Aspectos técnicos e nocivos dos principais filamentos usados em impressão 3D. *Revista Eletrônica dos Cursos de Engenharia*, Curitiba, v. 1, n. 3, p. 12-14, 2017.

CHINI, G. C.; BOEMER, M. A amputação na percepção de quem a vivência: um estudo sob a ótica fenomenológica. *Revista Latino-Americana de Enfermagem,* Ribeirão Preto, v. 15, n. 2, p. 330–336, mar./abr. 2007.

KAPANDJI, A.I. *Fisiologia Articular – Membro Superior.* Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.

MENESES, A. D; ALVES, J. L.; LOPES, Lígia. Study of 3D printing potential in supporting the manufacturing process of shoes for people with cerebral palsy. *International Journal of Materials Engineering Innovation*, v. 7, n. 3/4, p. 184–199, 2016.

MOORE, K. L.; DALLEY, A. F.; AGUR, A. M. R. *Anatomia orientada para a clínica*. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2024.

SILVA, E. F; SILVA, L. M; DEON, V. G; TOSO, M. A. *Impressão 3D aplicada à tecnologia assistiva*. *Revista Destaques Acadêmicos*, Lajeado, v. 12, n. 4, p. 181–193, 2020.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE DIABETES (SBD). Diretrizes da Sociedade Brasileira de Diabetes: 2015-2016. São Paulo: AC Farmaceutica, 2016.

Uso de planejamento digital e impressão 3D na confecção de prótese auricular adesiva: Relato de caso clínico

Stramandinoli-Zanicotti, Roberta Targa*[1], Sade, Maria Clara Abdala Vasques[2]; Borges, Mariana Ortelan[3]; Foggiatto, José Aguiomar[4]

1 – Serviço de Prótese Facial Reconstrutiva, CHT/HR, robertastramandinoli@yahoo.com.br 2 – Serviço de Prótese Facial Reconstrutiva, CHT/HR, mcabdala.vasques@gmail.com
3 – Departamento de Odontologia, UFPR, mariana.ortelan@ufpr.br
4 – Departamento de Mecânica, UTFPR, foggiatto@utfpr.edu.br
* - Correspondência: Centro Hospitalar de Reabilitação Rua Quintino Bocaiuva, 329 Curitiba PR Brasil 800035-090 .

DOI 10.52050/9788579177149-27

RESUMO

Pacientes com mutilações faciais enfrentam desafios estéticos, funcionais, psicossociais e dificuldades na reabilitação protética, tanto por falta de acesso a serviços e profissionais especializados, quanto pela dificuldade técnica de confecção das próteses faciais. Este estudo relata a confecção de uma prótese auricular adesiva por meio de tecnologias digitais e manufatura aditiva. Foi utilizado um fluxo digital com tomografia computadorizada, segmentação via *InVesalius*, modelagem em *Meshmixer* e impressão 3D do protótipo. A fabricação final da prótese auricular em silicone grau médico seguiu-se pelo método convencional. Os resultados demonstraram precisão anatômica e redução no tempo clínico. Conclui-se que a abordagem tecnológica favorece a individualização protética, otimizando e facilitando o processo de reabilitação e reintegração social.

Palavras-chave: prótese auricular, prótese facial, manufatura aditiva, planejamento digital.

ABSTRACT

Patients with facial mutilations face aesthetic, functional, and psychosocial challenges, along with difficulties in prosthetic rehabilitation due to limited access to specialized professionals and the technical complexity of facial prosthesis fabrication. This study reports the creation of an adhesive auricular prosthesis

using digital technologies and additive manufacturing. A digital workflow was applied, involving CT imaging, segmentation with InVesalius, modeling in Meshmixer, and 3D printing. The final fabrication of the medical-grade silicone auricular prosthesis was carried out using the conventional method. The results showed anatomical accuracy and reduced clinical time. The technological approach supports prosthetic customization, optimizing and facilitating the rehabilitation process and social reintegration.
Keywords: *auricular prosthesis, additive manufacturing, digital planning.*

1. INTRODUÇÃO

A reabilitação de pacientes com mutilações faciais decorrentes de neoplasias malignas constitui um dos maiores desafios no campo da prótese bucomaxilofacial, considerando tanto os aspectos funcionais quanto os impactos estéticos e psicossociais envolvidos. A perda de estruturas faciais, como a orelha, compromete diretamente a identidade, a autoestima e a qualidade de vida dos indivíduos, exigindo abordagens terapêuticas precisas e adaptadas à singularidade de cada caso (RODRIGUES et al., 2021). No contexto oncológico, o carcinoma espinocelular configura-se como uma das principais causas de ressecções extensas na região da cabeça e pescoço, frequentemente demandando intervenções cirúrgicas amplas que inviabilizam a reconstrução por meio de enxertos convencionais (MSD MANUALS, 2025). Nessa perspectiva, a prótese auricular surge como uma alternativa viável e menos invasiva, sobretudo quando confeccionada a partir de fluxos digitais que integram tecnologias como a tomografia computadorizada e a manufatura aditiva.

O desenvolvimento de ferramentas tridimensionais tem possibilitado avanços relevantes na reabilitação estética e funcional de pacientes, oferecendo maior precisão anatômica, otimização do tempo clínico e resultados personalizados, compatíveis com a morfologia individual (KHORSANDI et al., 2021). Estudos recentes demonstram que o uso combinado de *softwares* de segmentação e modelagem, como o *InVesalius* e o *Meshmixer*, associado à impressão tridimensional, contribui para um processo mais eficiente e assertivo na confecção de próteses faciais (STADLINGER et al., 2020; ZOABI; REDENSKI, 2022). Tais ferramentas digitais ampliam as possibilidades de planejamento protético ao permitir a reprodução simétrica de estruturas perdidas com base em elementos anatômicos preservados, além de facilitar as etapas de escultura e adaptação com menor suscetibilidade a falhas manuais (HEYDENRYCH; VAN DER WALT; VAN DEN HEEVER, 2023).

Diante dessas inovações, torna-se fundamental relatar casos clínicos que evidenciam a aplicabilidade e os benefícios das tecnologias emergentes no

cotidiano da prática clínica especializada. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo apresentar um relato de caso clínico sobre a confecção de uma prótese auricular adesiva por meio de planejamento digital e impressão 3D, destacando os aspectos técnicos envolvidos, os ganhos estético-funcionais obtidos, bem como as implicações clínicas e psicossociais decorrentes da intervenção.

2. DESENVOLVIMENTO

A integração da manufatura aditiva no contexto das próteses bucomaxilofaciais representa um avanço significativo no processo de reabilitação de pacientes acometidos por mutilações faciais. A utilização das tecnologias de impressão tridimensional na criação de próteses personalizadas tem demonstrado potencial transformador, viabilizando não apenas a restauração funcional, mas também a melhoria do bem-estar psicossocial dos pacientes (STRAMANDINOLI-ZANICOTTI; CORSO; KUNKEL, 2022).

O paciente foi diagnosticado com uma neoplasia maligna na região auricular esquerda e direita, sendo submetido a procedimento cirúrgico com mutilação parcial em ambos os lados, porém no lado esquerdo a exérтese do tumor resultou em mutilação extensa seguido de radioterapia. Após o acompanhamento, optou-se pela confecção de uma prótese auricular total adesiva, colada sobre o remascente (Figura 01)

Para garantir a personalização e adaptação da prótese, foi realizada uma tomografia computadorizada multislice, com cortes axiais de 1 mm de espessura. Os arquivos obtidos em formato DICOM foram utilizados para segmentação anatômica e geração do modelo 3D (Figura 02 e 03).

Etapas do processo digital

O desenvolvimento do fluxo digital teve início com a segmentação da tomografia, realizada por meio do software InVesalius 3.1. A partir da importação dos arquivos DICOM (formato .DCM), foi feita a seleção de uma faixa de densidade correspondente a tecidos moles e duros, permitindo a geração automática de um modelo 3D com base na densidade desses tecidos. Por fim, o arquivo foi exportado em formato STL. Esse processo foi essencial para a obtenção de um modelo anatômico fiel, aspecto fundamental para a reabilitação funcional e estética (KHORSANDI et al., 2021).

Em seguida, foi realizada à modelagem digital no software Meshmixer (Autodesk), com a importação do arquivo STL. O fluxo de trabalho envolveu a limpeza digital da região afetada, criação de uma cópia em 3D do rosto e

impressão 3D por extrusão de material (Figura 02), além do espelhamento da orelha preservada para gerar a prótese contralateral. Também foram realizados ajustes finos na base da prótese e no planejamento da borda de fixação adesiva, seguidos de suavização e preparação do modelo final. A possibilidade de espelhamento e personalização digital garantiu simetria e naturalidade à prótese, características essenciais para a reintegração psicossocial do paciente (STADLINGER et al., 2020; ZOABI; REDENSKI, 2022).

A etapa seguinte consistiu na impressão 3D do biomodelo, utilizando uma impressora Anycubic Photon Mono X e resina fotopolimerizável lavável. Foram adotados os seguintes parâmetros: espessura da camada de 0,05 mm, tempo de exposição inicial de 30 segundos e tempo de exposição por camada de 2,5 segundos. O modelo foi impresso inclinado a 45°, com suportes automáticos gerados no slicer. O resultado foi um biomodelo físico altamente preciso, que serviu como guia para a escultura da prótese em cera e posterior moldagem em silicone (STADLINGER et al., 2020).

Após a impressão, o pós-processamento incluiu a lavagem do biomodelo com álcool isopropílico 96%, seguido de cura em câmara UV por 10 minutos. Por fim, os suportes foram removidos manualmente, garantindo a integridade do modelo.

A escultura da prótese definitiva foi realizada com base no biomodelo impresso. Primeiramente, foi confeccionada uma versão em cera para avaliação estética e adaptação sobre o remanescente (Figura 02). Após a avaliação e prova no paciente, seguiu-se para a fabricação da prótese final em silicone médico, com aplicação de coloração intrínseca para simular com fidelidade a tonalidade da pele, além de pigmentação extrínseca para reproduzir texturas e manchas naturais. (Figura 04).

Por fim, cabe destacar as considerações clínicas e tecnológicas envolvidas. O uso do fluxo digital possibilitou um alto grau de personalização, o que foi especialmente relevante em um caso clínico com presença de tecido cicatricial. A abordagem digital reduziu significativamente o tempo clínico, aumentou a precisão do encaixe da prótese e contribuiu para a satisfação do paciente. Dessa forma, a reabilitação bucomaxilofacial extrapola o campo estético e se apresenta como uma importante ferramenta terapêutica diante do impacto psicossocial causado por mutilações (DODZIUK, 2016; STRAMANDINOLI-ZANICOTTI; CORSO; KUNKEL, 2022).

3. RESULTADOS

A aplicação do fluxo digital descrito resultou em uma prótese auricular personalizada com alto grau de fidelidade anatômica e adaptação funcional. O

uso integrado da tomografia computadorizada, da segmentação com o software InVesalius e da modelagem no Meshmixer permitiu a reprodução precisa da anatomia auricular contralateral por meio da ferramenta de espelhamento. Isso foi decisivo para alcançar simetria facial e um resultado estético natural.

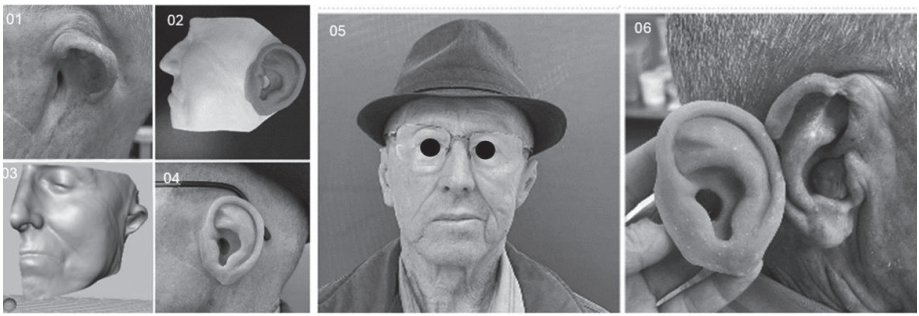
A impressão tridimensional do biomodelo foi realizada com sucesso utilizando resina fotopolimerizável lavável, garantindo definição adequada das estruturas anatômicas. O biomodelo impresso serviu como guia para a escultura em cera da prótese, facilitando o ajuste clínico e reduzindo etapas manuais do processo. A qualidade do encaixe obtido foi significativamente superior em comparação com métodos convencionais, sobretudo devido à possibilidade de testar previamente a adaptação ao leito cicatricial do paciente.

Durante o pós-processamento, o biomodelo foi devidamente limpo e curado, mantendo suas propriedades estruturais e servindo como base confiável para as etapas subsequentes. A escultura em cera, guiada pelo biomodelo, assegurou fidelidade ao planejamento digital e possibilitou a moldagem do protótipo final em silicone médico, com aplicação individualizada de coloração intrínseca e extrínseca.

Clinicamente, observou-se excelente adaptação da prótese ao leito receptor, com estabilidade, conforto e naturalidade estética (Figura 05 e 06). O paciente relatou melhora na autoestima e maior segurança para reinserção social. A estratégia digital adotada reduziu o tempo clínico total necessário para a confecção da prótese, além de minimizar falhas recorrentes em moldagens convencionais, especialmente em áreas com presença de tecido fibroso ou irregularidades anatômicas.

Este caso demonstra que o uso da manufatura aditiva, aliado a ferramentas de planejamento digital, pode ser eficaz mesmo em contextos clínicos complexos, promovendo reabilitação estética e funcional com impacto positivo na qualidade de vida do paciente.

Figura 01 - Aspecto clínico inicial do remanescente auricular esquerdo e área a ser reabilitada.
Figura 02 - Protótipo impresso em 3D com posicionamento da escultura em cera.
Figura 03 - . Modelo 3D virtual gerado a partir da tomografia computadorizada.
Figura 04 - Prótese auricular caracterizada e finalizada.
Figura 05 - Vista frontal do paciente com a prótese auricular em posição.
Figura 06 - Comparação da caracterização da prótese auricular com a orelha direita do paciente, a qual também apresenta mutilação parcial por câncer.



4. CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo relatar a aplicação do planejamento digital aliado à manufatura aditiva na confecção de uma prótese auricular adesiva, buscando demonstrar sua viabilidade técnica e benefícios clínicos. A partir do uso integrado de tomografia computadorizada, segmentação digital, modelagem e impressão 3D, foi possível alcançar os propósitos delineados, confirmando-se, de forma plena, a eficácia do fluxo digital na obtenção de um resultado protético preciso, estético e funcionalmente satisfatório.

Como contribuição prática, destaca-se a individualização da prótese conforme a anatomia do paciente, promovendo conforto, simetria e reintegração psicossocial. A utilização de ferramentas digitais como *InVesalius* e *Meshmixer* possibilitou uma abordagem menos invasiva e mais eficiente, reduzindo o tempo clínico, o número de etapas manuais e, consequentemente, o potencial de falhas. Tais características evidenciam o potencial das tecnologias digitais baseadas em manufatura aditiva para ampliar o acesso a soluções de reabilitação facial com maior qualidade e previsibilidade, especialmente em contextos oncológicos.

Diante dos avanços apresentados, recomenda-se o fomento a estratégias de capacitação técnica para profissionais da área, bem como a realização de estudos multicêntricos que explorem diferentes variações anatômicas e contextos clínicos. Além disso, investimentos em pesquisa e desenvolvimento são fundamentais para aprimorar a acessibilidade às ferramentas digitais, reduzir os custos envolvidos e ampliar o alcance da tecnologia assistiva na reabilitação protética de indivíduos mutilados faciais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação Araucária pelo apoio financeiro através do NAPI-TA (Novo Arranjo de Pesquisa e Inovação em Tecnologia Assistiva) e ao CNPq pela bolsa de produtividade em desenvolvimento tecnológico e extensão inovadora. Ainda, agradecemos aos colegas de iniciação científica e professores que auxiliaram no processo. Agradecemos também à Liga Acadêmica de Prótese Bucomaxilofacial do Hospital do Trabalhador, por oportunizar aos estudantes de odontologia estágio no Serviço de Prótese Facial Reconstrutiva.

REFERÊNCIAS

DODZIUK, H. *Applications of 3D printing in healthcare*. *Polish Journal Of Cardio-Thoracic Surgery*, [S.l.], v. 3, p. 283-293, 2016. Disponível em: http://dx.doi.org/10.5114/kitp.2016.62625.

HEYDENRYCH, A.; VAN DER WALT, J. G.; VAN DEN HEEVER, H. J. *Auricular prosthesis positioning using virtual planning in combination with additive manufacturing*. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*, v. 124, n. 1, p. 101258, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jormas.2022.08.001.

KHORSANDI, D.; FAHIMIPOUR, A.; ABASIAN, P.; SABER, S. S.; SEYEDI, M.; GHANAVATI, S.; AHMAD, A.; STEPHANIS, A. A.; TAGHAVINEZHADDILAMI, F.; LEONOVA, A. *3D and 4D printing in dentistry and maxillofacial surgery: printing techniques, materials, and applications*. *Acta Biomaterialia*, [S.l.], v. 122, p. 26-49, mar. 2021. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.actbio.2020.12.044.

MELLO, B. et al. *Advancements in Digital Workflows for 3D-Printed Maxillofacial Soft Prostheses: A Scoping Review*. *Applied Sciences*, v. 15, n. 4, p. 1701, 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/2076-3417/15/4/1701.

MSD MANUALS. *Carcinoma de células escamosas*. *MSD Manual Versão para Profissionais*, 2025. Disponível em: https://www.msdmanuals.com/pt/profissional/dist%C3%BArbios-do-ouvido-nariz--e-garganta/tumo res-da-cabe%C3%A7a-e-do-pesco%C3%A7o/carcinoma-oral-de-c%C3%A9lulas--escamosas.

PROKOP, M.; GALANSKI, M. *Spiral and Multislice Computed Tomography of the Body*. In: VAN DER MOLEN, A. J.; SCHAEFER-PROKOP, C. M. (eds.). New York: Thieme, 2003. p. 1-1090.

RODRIGUES, A. et al. *Impacto psicossocial da reabilitação protética em pacientes com mutilações faciais devido ao câncer*. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, v. 87, n. 5, p. 583-589, 2021. Disponível em: https://www.scielo.br/j/bjorl/a/XsGnGrSFJsR9QrTtDpdQccB/.

ROSE, A. M.; LUTHERT, P. J.; JAYASENA, C. N.; VERITY, D. H.; ROSE, G. E. *Primary Orbital Melanoma: Presentation, Treatment, and Long-term Outcomes for 13 Patients*. *Frontiers in Oncology*, v. 7, p. 316, 2017. doi: 10.3389/fonc.2017.00316.

STADLINGER, B.; VALDEC, S.; WACHT, L.; ESSIG, H.; WINKLHOFER, S. *3D-cinematic rendering for dental and maxillofacial imaging*. *Dentomaxillofacial Radiology*, [S.l.], v. 49, n. 1, p. 20190249, jan. 2020. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1259/dmfr.20190249.

STRAMANDINOLI-ZANICOTTI, R. T.; CORSO, P. F.; KUNKEL, M. E. *Maxillofacial prostheses: Assistive technology in mutilated facial patients*. In: *Personalized Orthopedics*. Berlin: Springer, 2022. p. 355-371.

ZOABI, A.; REDENSKI, I.; OREN, D.; KASEM, A.; ZIGRON, A.; DAOUD, S.; MOSKOVICH, L.; KABLAN, F.; SROUJI, S. *3D Printing and Virtual Surgical Planning in Oral and Maxillofacial Surgery. Journal of Clinical Medicine*, v. 11, n. 9, p. 2385, 24 abr. 2022. doi: 10.3390/jcm11092385.

Tecnologia que abraça: impressão 3D de prótese infantil personalizada para inclusão e autonomia

Muniz, Laura Pardinho*[1]; De Sá, Letícia Caroline Kaspchak[2]; Dos Santos, Giovanna Zarpelon[3]; Barduco, Gabriela Schrann[4]; Stramandinoli-Zanicotti, Roberta Targa[5] Foggiatto, José Aguiomar[6]

1 – Departamento de Mecânica, UTFPR, lauramuniz@alunos.utfpr.edu.br
2 – Departamento de Engenharia biomédica , UFPR, adm.leticia.kterapia@gmail.com
3 – Departamento de Mecânica, UTFPR, giovannazarpelon@alunos.utfpr.edu.br
4 – Departamento de Mecânica, UTFPR, gabrielabarduco@alunos.utfpr.edu.br
5 – Serviço de Prótese Facial Reconstrutiva do Complexo Hospitalar do Trabalhador, CHT, robertastramandinoli@yahoo.com.br
6 – Departamento de Mecânica, UTFPR, foggiatto@utfpr.edu.br
* - Correspondência: NUFER/DAMEC/UTFPR-CT - Rua Deputado Heitor de Alencar Furtado, 5000, Sala EM-101, Ecoville, Curitiba, PR, Brasil, 81.280-340

DOI 10.52050/9788579177149-28

RESUMO

A dificuldade de adaptar métodos convencionais à realidade de pacientes pediátricos motivou o uso de soluções em tecnologia assistiva para personalização de próteses. Este estudo teve como objetivo desenvolver uma prótese infantil personalizada por meio da modelagem 3D e impressão 3D, com foco na inclusão e autonomia. Utilizou-se moldagem convencional, modelagem digital e manufatura aditiva por extrusão de material. Os resultados preliminares demonstraram viabilidade técnica, baixo custo e agilidade na produção. A pesquisa contribui para as áreas de Engenharia, Design, Saúde e Tecnologia Assistiva, ao propor uma abordagem centrada no usuário e voltada à melhoria da qualidade de vida infantil.

Palavras-chave: prótese personalizada, manufatura aditiva, tecnologia assistiva.

ABSTRACT

The difficulty of adapting conventional methods to pediatric patients has prompted the use of assistive technology solutions for personalized prostheses. The aim of this study was to develop a personalized children's prosthesis using 3D modeling and 3D printing, with a focus on inclusion and autonomy. Conventional molding,

digital modeling and additive manufacturing by material extrusion were used. Preliminary results showed technical feasibility, low cost and agility in production. This research contributes to the areas of Engineering, Design, Health and Assistive Technology by proposing a user-centered approach with the aim of improving children's quality of life.
Keywords: *customized prosthesis, additive manufacturing, assistive technology.*

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o Censo Demográfico de 2010 do IBGE revelou que cerca de 23,9% da população possui algum tipo de deficiência, incluindo limitações visuais, motoras, auditivas ou intelectuais. Para promover a inclusão social e garantir direitos fundamentais, foram implementadas diversas iniciativas, como o Estatuto da Pessoa com Deficiência (Lei nº 13.146/2015), ações do Comitê de Ajudas Técnicas (CAT) e investimentos em pesquisas e inovações em Tecnologia Assistiva (TA) (LAJARIN et al, 2025) .

As malformações congênitas são um dos fatores relevantes para o surgimento de deficiências, caracterizando-se por alterações estruturais, funcionais ou metabólicas presentes desde o nascimento. Elas podem variar em número e gravidade, e causam impactos significativos tanto para os indivíduos acometidos quanto para seus familiares e profissionais de saúde. Malformações nos membros superiores ou inferiores, por exemplo, exigem cuidados especializados e suporte contínuo para promover o desenvolvimento e a qualidade de vida do paciente (PEREIRA et al., 2008).

A Tecnologia Assistiva é um campo interdisciplinar que engloba produtos, recursos e serviços para promover autonomia e inclusão social de pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida. No Brasil, esses recursos são organizados em doze categorias funcionais, abrangendo órteses, próteses e dispositivos de comunicação, aplicados em contextos como educação, saúde e reabilitação, facilitando a participação social e a funcionalidade dos usuários. Nisso, os Novos Arranjos de Pesquisa e Inovação em Tecnologia Assistiva (NAPI-TA) representam uma iniciativa que integra instituições acadêmicas, órgãos públicos e organizações sociais para desenvolver políticas, pesquisas e inovações que aprimorem o atendimento às pessoas com deficiência no país (BERSCH, 2017).

As próteses desempenham papel essencial na reabilitação física e reinserção social de pessoas com ausência de membros, seja por causas congênitas ou adquiridas. Além de restaurar funções motoras e estéticas, esses dispositivos têm impacto positivo na autoestima e na autonomia dos usuários. A evolução tecnológica tem ampliado a diversidade e a eficiência das próteses, mas o custo elevado de produção ainda representa um obstáculo à sua ampla distribuição.

O processo de fabricação de próteses envolve materiais caros e mão de obra especializada, o que encarece os produtos finais. Como resultado, muitas pessoas com deficiência não conseguem acesso às próteses personalizadas. Diante disso, a multidisciplinaridade aliada ao avanço tecnológico nas mais abrangentes áreas do conhecimento vem tentando oferecer métodos de fabricação de baixo custo, visando ampliar a acessibilidade destes dispositivos reabilitadores (GRETSCH et al., 2016).

A impressão tridimensional (3D), ou manufatura aditiva, surge como uma tecnologia inovadora que permite a produção rápida e personalizada de objetos complexos a partir de modelos digitais. Na saúde, essa técnica tem sido aplicada na confecção de partes do corpo e dispositivos de Tecnologia Assistiva, oferecendo maior precisão, adaptação individual e benefícios clínicos. Estudos como os de Denadai et al., (2023), Merino (2023) e Lajarin et al. (2025), ilustram aplicações clínicas desta tecnologia, como na confecção de próteses nasais estéticas e identificaram vantagens econômicas e funcionais da tecnologia na produção de órteses e próteses para membros superiores.

A fabricação de órteses e próteses por impressão 3D tem ganhado destaque por possibilitar produtos personalizados, confortáveis e que facilitam a reintegração social dos usuários. Estudos recentes demonstram vantagens econômicas e funcionais dessa tecnologia, especialmente na produção de próteses para membros superiores, o que motiva o desenvolvimento de soluções multifuncionais, personalizadas e de baixo custo para pacientes com malformações congênitas, utilizando recursos da manufatura aditiva Produtos personalizados podem proporcionar maior conforto e facilitar a reintegração às atividades cotidianas. Diante disso, com a mesma visão dos estudos citados anteriormente, este trabalho tem por objetivo desenvolver, utilizando recurso da manufatura aditiva, uma prótese multifuncional, personalizada e de baixo custo para um paciente com malformação congênita, apresentando redução de membros superiores.

2. DESENVOLVIMENTO

Paciente J.B.B. possui um ano e quatro meses de idade e apresenta uma malformação congênita de extremidades de membros superiores e inferiores que foi identificada na primeira ecografia morfológica do pré-natal. Em aspectos relacionados ao desenvolvimento neuropsicomotor, não apresenta atrasos aparentes, bem como, não é possível perceber alterações sensoriais nas extremidades existentes. No membro superior direito, possui a porção proximal do úmero, o que favorece o processo de adaptações no coto, já o esquerdo possui uma porção menor do úmero. Em membros inferiores, não possui alterações de

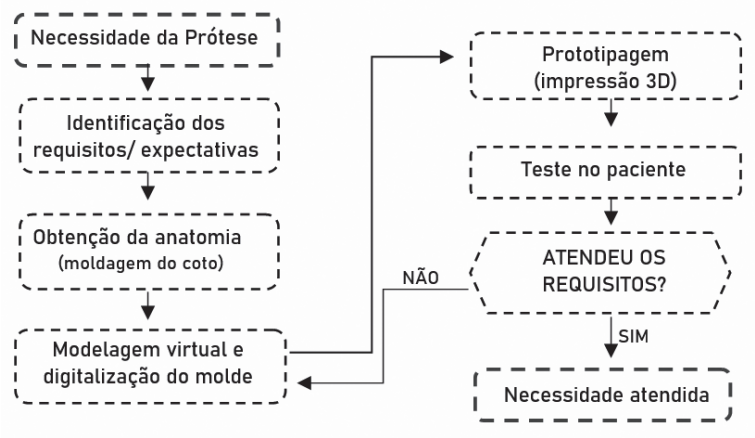
pelve, porém fêmur e porções distais são ausentes. Ainda são desconhecidas as possíveis causas da malformação de membros, e não foram realizados exames genéticos bem como exames de imagem como tomografias e ressonância.

É essencial o uso de adaptações que potencializam a funcionalidade dos cotos durante essa fase do desenvolvimento, a fim de possibilitar maior exploração de objetos, do ambiente e de diferentes brinquedos, além de viabilizar a participação em atividades cotidianas compatíveis com a faixa etária, como a alimentação. Tal abordagem contribui para um desenvolvimento cortical mais eficiente, o que poderá facilitar, futuramente, a adaptação de próteses de maior complexidade. Com o objetivo de desenvolver uma solução personalizada, foram necessárias ações multidisciplinares que envolveram profissionais da saúde, responsáveis pelo manejo do paciente e todo atendimento, levantamento dos requisitos e necessidades individuais junto à família, aliados a estudantes de engenharia na modelagem e desenvolvimento da prótese.

O primeiro passo do projeto foi identificar junto aos familiares do paciente e respeitando a faixa etária os requisitos propostos, que foram: promover maior independência nas atividades cotidianas, auxiliando, assim, seu desenvolvimento motor, estabilidade adequada da prótese no corpo, garantindo fixação segura sem risco de queda, sem comprometer o conforto do usuário, permitindo que a criança se movimente livremente e com segurança durante as atividades típicas da infância. Um fluxograma com as etapas para fabricação pode ser visto na Figura 1.

Foi realizada moldagem do coto esquerdo e direito enrolando várias camadas de filme de PVC seguido de atadura gessada para a obtenção de um molde mais firme e fiel da anatomia. Após essa etapa foi realizado o envasamento de gesso pedra tipo III a fim de garantir estabilidade dimensional e obter um modelo opaco, propício para digitalização. A partir do molde de gesso foi feita a digitalização através do scanner Creality CR-scan Lizard e do programa CR-scan. Em seguida foi feita a exportação do arquivo resultante em formato STL, para realizar as etapas de modelagem via CAD, (do inglês, Computer Aided Design) e o projeto conceitual foi iniciado.

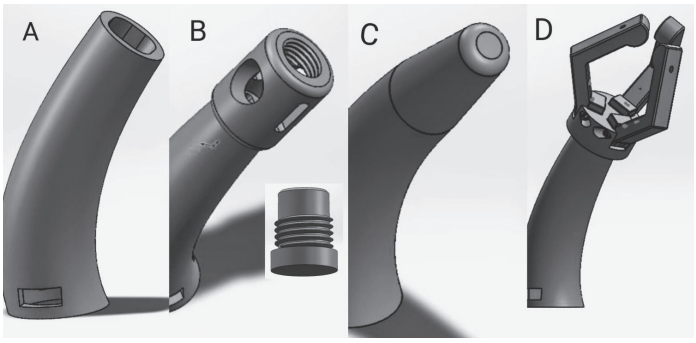
Figura 1 - Fluxograma das etapas de fabricação da prótese.



Com os pré-requisitos elencados, foi desenvolvida a ideia de uma prótese com pontas intercambiáveis entre três ponteiras diferentes, ligada por imãs a uma peça intermediária que é fixa ao coto com fitas de velcro. Para atender as necessidades como se alimentar e escrever, foi desenvolvido uma ponteira destinada a rosquear objetos cilíndricos ou achatados, como talheres, lápis e canetas; outra em formato de garra, visando possibilitar ao paciente a pega de objetos maiores e uma terceira com um ímã na ponta, permitindo a fixação de brinquedos metálicos ou adaptados com ímãs, facilitando sua apreensão pelo paciente.

A parte fixa da prótese foi modelada a partir da anatomia digitalizada do coto no programa gratuito Meshmixer da Autodesk. As demais partes do projeto foram modeladas em um sistema CAD 3D (Solidworks). Na Figura 2 é possível observar o projeto das ponteiras e da peça intermediária para fixar ao coto.

Figura 2 - Peças desenvolvidas - A: intermediário entre o encaixe da peça que vai direto no coto e as ponteiras; B: ponteira rosqueável para apreender talheres; C: ponteira cônica com imã na ponta para atrair peças metálicas; D: garra para apreensão de objetos maiores.



Para a prototipagem das peças foi usado o processo de manufatura aditiva com princípio de extrusão de material (MEX). A porção da prótese que ficará em contato direto ao coto, foi fabricada com filamento flexível de TPU (Termoplástico de Poliuretano), um composto flexível e de menor densidade com a possibilidade de dobras e tração e as demais peças com filamento de PLA (Ácido Polilático) que é rígido, amplamente disponível, baixo custo e de fácil processamento. Todas as peças foram fabricadas na impressora 3D K1 Max da Creality com volume de impressão 300 x 300 x 300 mm. Os parâmetros de impressão encontram-se na Tabela 1. Optou-se pelo preenchimento indicado visando o máximo de leveza possível, mas com resistência mecânica. No furo da extremidade foram acopladas quatro imãs, as quais fixarão as ponteiras removíveis.

Tabela 1 - Principais parâmetros de impressão em TPU e PLA.

Parâmetro	Encaixe no coto em TPU	Parte intermediária em Hyper PLA	Ponteiras em Hyper PLA
Altura da camada	0,20 mm	0,20 mm	0,20 mm
Temperatura de impressão	230°C	220°C	220°C
Temperatura da 1ª camada	230°C	220°C	220°C
Temperatura da mesa de impressão	35°C	50°C	50°C
Veloc. de extrusão na 1ª camada	30 mm/s	60 mm/s	60 mm/s
Veloc. de extrusão geral	50 mm/s	150 mm/s	150 mm/s
Contornos sólidos na parede	4	3	4
Preenchimento interno	30%	12%	15% a 30%
Geometria de preenchimento	Grade	Honeycomb	Grade
Ângulo de limite do suporte	30°	45°	25°
Tipo de suporte	Árvore	Árvore	Árvore

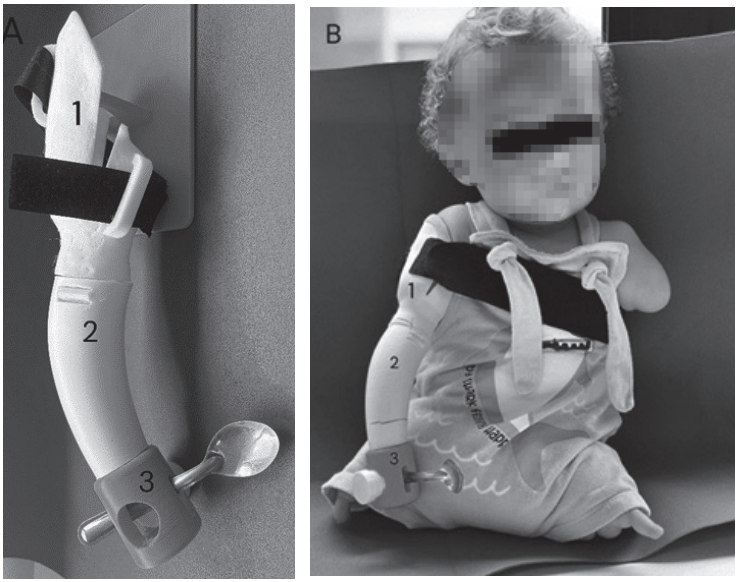
3. RESULTADOS

A etapa inicial do projeto consistiu na obtenção da anatomia do paciente e na escuta ativa das necessidades relatadas por seus familiares, com ênfase em um processo de desenvolvimento centrado no usuário. Devido à dificuldade do paciente em manter-se imóvel para a digitalização direta — em razão de sua pouca idade — optou-se pela moldagem física como alternativa viável para a obtenção precisa da geometria necessária à modelagem tridimensional. Esse método possibilitou a criação de uma base anatômica fiel, fundamental para a personalização da prótese.

A manufatura aditiva (AM), por extrusão de material, permitiu a produção ágil de protótipos com geometrias complexas e a um custo significativamente menor do que processos tradicionais como usinagem e injeção plástica. Essa tecnologia mostrou-se eficiente na produção de peças personalizadas e adaptadas às necessidades específicas do usuário. A versatilidade da AM ficou evidente ao possibilitar alterações de design e reimpressões em poucas horas, promovendo um rápido processo iterativo. Nesse trabalho não foram realizados testes sistemáticos de resistência mecânica, durabilidade e desempenho funcional.

Atualmente, a prótese encontra-se em fase de adaptação de geometria e uso supervisionado (demonstrado na Figura 3). A família demonstrou grande satisfação com os primeiros resultados, relatando entusiasmo ao observar os avanços no uso da prótese. Apesar das limitações iniciais, o paciente já apresenta capacidade de alcançar objetos com apoio do dispositivo, o que representa um progresso importante na interação com o ambiente. Esses pequenos ganhos funcionais reforçam o potencial da prótese personalizada para promover maior independência quando se trata de crianças pequenas, exigindo o apoio de equipe multiprofissional para garantir adesão gradual e efetiva ao uso.

Figura 3 - Prótese montada e seus componentes: A: Peças constituintes da prótese impressa: 1- encaixe no coto, 2- peça intermediária contendo imãs e 3- ponteira removível; **B:** Prova da prótese e adaptação no paciente.



4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo, embora preliminares, demonstram que a modelagem 3D associada à manufatura aditiva é uma alternativa promissora e viável para a produção de dispositivos personalizados. A abordagem utilizada permitiu contornar limitações clínicas importantes, como a impossibilidade de escaneamento direto, evidenciando a flexibilidade do processo e sua aplicabilidade em contextos reais, mesmo diante de desafios como o atendimento a pacientes pediátricos.

Apesar das dificuldades de adaptação do paciente por se tratar de uma criança, o trabalho mostrou-se de grande valia ao possibilitar a produção rápida e de baixo custo de protótipos personalizados, além de promover um desenvolvimento centrado no usuário. Os resultados reforçam a relevância do tema e indicam a necessidade de novos estudos que aprofundem a análise funcional, ergonômica e mecânica das soluções propostas, visando à consolidação dessa tecnologia na prática clínica.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação Araucária pelo apoio financeiro através do NAPI-TA (Novo Arranjo de Pesquisa e Inovação em Tecnologia Assistiva) ao CNPq pela bolsa de produtividade em desenvolvimento tecnológico e extensão inovadora e aos familiares do paciente por todo envolvimento e disposição com o estudo.

REFERÊNCIAS

MERINO, G. S. A. D. *GoDP - Guia de orientação para Desenvolvimento de Projetos: uma metodologia de Design Centrado no Usuário*. Florianópolis: NGD/UFSC, 2016.

BERSCH, R. *Introdução à tecnologia assistiva: citações e bibliografias*. [S.l.]: 2017.

DENADAI, B. B.; FRANCO, F. M.; BARCZYSZYN, K.; FOGGIATTO, J. A. *Manufacture of silicone nasal prostheses with digital tools and 3D-printed molds*. *International Journal of Health Science*, [s.l.], v. 3, n. 3, p. 2–7, 2023.

GRETSCH, K. F.; LATHER, H. D.; PEDDADA, K. V.; DEEKEN, C. R.; WALL, L. B.; GOLDFARB, C. A. *Development of novel 3D-printed robotic prosthetic for transradial amputees*. *Prosthetics & Orthotics International*, [s.l.], v. 40, n. 3, p. 400–403, 2016.

LAJARIN, S. F.; ALMEIDA, S. T.; DIAS, R. F. R.; VALENTINI, F. I. P.; LEAL, M.; ARAUJO, A. C. de S.; POIER, P. H.; OKIMOTO, M. L. L. R. *Prótese de baixo custo com pontas funcionais intercambiáveis e adaptações para bi amputado de membro superior. Caderno Pedagógico*, [s.l.], v. 22, n. 5, p. e14623, 2025.

PEREIRA, R. J. da S.; ABREU, L. C. de; VALENTI, V. E.; ALBUQUERQUE, W. D. M.; PEREIRA, S. C.; ARAÚJO, R.; FERREIRA NETO, M. L.; DOS SANTOS, S. M. *Freqüência de malformações congênitas das extremidades em recém-nascidos*. *Journal of Human Growth and Development*, [s.l.], v. 18, n. 2, p. 155, 2008.

EIXO TEMÁTICO | Órteses e Próteses

RESUMOS

Métodos para readequação postural em produtos de tecnologia assistiva utilizando modelagem 3D

Sierra, Isabella de Souza*[1]; Figueiredo, Luiz Fernando Gonçalves[2]

1 – Programa de Pós-graduação em Design, Departamento de Design, UFSC, isabella.sierra@ufpr.br.
2 – Programa de Pós-graduação em Design, Departamento de Design, UFSC, lff@cce.ufsc.br.
* - Correspondência: Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, Trindade, Florianópolis, Santa Catarina - Brasil, 88040-970.

Artigo aprovado e selecionado pelo comitê científico do V CBTA para *Special Edition*.

RESUMO

O design digital de tecnologia assistiva tem avançado, mas a sua aplicação à readequação postural ainda é limitada. Esta pesquisa investiga três métodos distintos de modelagem 3D voltados a esse fim, reconstrução, *rigging* e escultura digital. Utilizando um modelo anatômico de membro inferior, cada método foi analisado quanto à fidelidade anatômica, tempo de execução, facilidade de operação, qualidade da malha final e potencial de reaplicação. Os resultados demonstram que todos os métodos são viáveis, com vantagens distintas, e destacam a importância da atuação multidisciplinar no processo.
Palavras-chave: readequação postural, tecnologia assistiva, modelagem 3D

ABSTRACT

Digital design for assistive technology has advanced, but its application to postural realignment remains limited. This study investigates three distinct 3D modeling methods for this purpose: reconstruction, rigging, and digital sculpting. Using an anatomical model of a lower limb, each method was analyzed in terms of anatomical fidelity, execution time, ease of operation, final mesh quality, and potential for reuse. The results show that all methods are viable, each with distinct advantages, and highlight the importance of multidisciplinary collaboration in the process.
Keywords: *postural adjustment, assistive technology, 3D modeling*

Ergonomia na imobilização ortopédica: comparação entre o método tradicional (gesso) e a impressão 3D sob a perspectiva física e cognitiva

Santos, Bárbara Tatiele *1; Brendler, Clariana Fischer2

1 – Programa de Pós-Graduação em Design, UFRGS, barbara.santos.designer@gmail.com
2 – Programa de Pós-Graduação em Design, UFRGS, clafischer@hotmail.com
* -Santos, Bárbara Tatiele: Laboratório Design Virtual - VID, Prédio da Engenharia Nova – Av. Osvaldo Aranha, 99 – Campus Centro, Centro, Porto Alegre – RS, Brasil – CEP 90035-190.

Artigo aprovado e selecionado pelo comitê científico do V CBTA para *Special Edition.*

RESUMO

Este artigo analisa os impactos ergonômicos do uso do gesso na imobilização ortopédica ambulatorial em comparação às órteses produzidas por impressão 3D. O objetivo é investigar, por meio de revisão bibliográfica, aspectos físicos, cognitivos e organizacionais que afetam profissionais da saúde e pacientes. Os resultados destacam limitações ergonômicas do gesso e apontam a impressão 3D como alternativa mais leve, ventilada e personalizada. Conclui-se que a manufatura aditiva apresenta vantagens ergonômicas e sustentáveis, além de contribuir para o redesenho de práticas clínicas centradas no usuário nas áreas de saúde, design e tecnologia assistiva.
Palavras-chave: órtese, ergonomia, design centrado no usuário.

ABSTRACT

This article analyzes the ergonomic impacts of using plaster in outpatient orthopedic immobilization compared to orthoses produced by 3D printing. The objective is to investigate, through a literature review, the physical, cognitive, and organizational aspects that affect healthcare professionals and patients. The results highlight the ergonomic limitations of plaster and point to 3D printing as a lighter, more ventilated, and personalized alternative. It is concluded that additive manufacturing offers ergonomic and sustainable advantages, in addition

to contributing to the redesign of user-centered clinical practices in the fields of healthcare, design, and assistive technology.
Keywords: *orthosis, ergonomics, user-centered design.*

Desenvolvimento de órteses tornozelo-pé por modelagem 3D: requisitos de projeto e implicações dos materiais nos parâmetros de fabricação aditiva

Gonçalves, Karyne *[1]**; Gonçalves, Pedro Henrique** [2]

1 – Graduanda em Design de Produto, UFG, karyne@discente.ufg.br
2 – Doutor em Construção Civil, Docente do curso de Design de Produto, UFG, pedrogoncalves@ufg.br
* -Correspondência: Av. Esperança, s/n, FAV UFG - Campus Samambaia, Goiânia, Goiás, Brasil, 74690-900.

Artigo aprovado e selecionado pelo comitê científico do V CBTA para *Special Edition.*

RESUMO

Este estudo apresenta o desenvolvimento de dois protótipos de órtese tornozelo-pé por modelagem tridimensional e impressão 3D, como alternativa às técnicas tradicionais. O objetivo foi analisar os requisitos e os parâmetros de produção aplicados à impressão 3D por meio de testes com polipropileno (PP) e **nylon.** Os modelos finais apresentaram boa resistência e durabilidade, com vantagens distintas por material, embora apresentarem pouca rigidez estrutural, o que pode ser relacionado com a espessura aplicada. Desta forma, a pesquisa contribui para o avanço da tecnologia assistiva ao propor um novo método mais acessível para a produção de órteses.
Palavras-chave: órtese, tornozelo-pé, impressão 3D, tecnologia assistiva.

ABSTRACT

This study presents the development of two ankle-foot orthosis prototypes by three-dimensional modeling and 3D printing, as an alternative to traditional techniques. The objective was to analyze the requirements and production parameters applied to 3D printing through tests with polypropylene (PP) and ***nylon****. The final models presented good resistance and durability, with distinct advantages for each material, although they presented little structural rigidity, which can be related to the applied thickness. In this way, the research contributes to the advancement of assistive technology by proposing a new, more accessible method for the production of orthoses.*

Keywords: *orthosis, ankle-foot, 3D printing, assistive technology.*

Cartilha educativa como ferramenta de tecnologia assistiva para pessoas amputadas: um recurso para familiares e cuidadores

Alexandrino, Taís do Santos[1]; Bonfim, Amanda Maria[2]; Santos, Leandro Brito[3]; Bião, Menilde Araújo Silva[4]

1 – Centro Estadual de Educação, Inovação e Formação da Bahia Mãe Stella, CEEINFOR alexandrina.14@gmail.com
2 – Centro Estadual de Educação, Inovação e Formação da Bahia Mãe Stela, CEEINFOR amandabonfim.fisio@gmail.com
3 – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, UFRB, lbsantos@ufbr.edu.br
4* – Centro Estadual de Educação, Inovação e Formação da Bahia Mãe Stella, CEEINFOR, menildebiao@gmail.com
* -Correspondência: Avenida Artêmia Pires, 3040, Sim, Feira de Santana, Ba, Brasil, 44085-370.

Artigo aprovado e selecionado pelo comitê científico do V CBTA para *Special Edition.*

RESUMO

A amputação traz desafios físicos, emocionais e sociais, exigindo processos adaptativos para a reabilitação e inclusão. Este estudo apresenta o desenvolvimento de uma cartilha educativa destinada a pessoas amputadas, seus familiares e cuidadores. A metodologia inclui um levantamento bibliográfico nas bases SciELO, a análise dos manuais técnicos do Ministério da Saúde e revisão da legislação vigente. O material foi elaborado em linguagem acessível, abordando o processo de reabilitação e os direitos assegurados por lei. A cartilha, concebida como uma tecnologia assistiva educacional, alinha-se aos princípios do Sistema Único de Saúde (SUS), e tem potencial de fortalecer a autonomia dos usuários.
Palavras-chave: Amputação, Tecnologia Assistiva, Reabilitação.

ABSTRACT

Amputation brings physical, emotional and social challenges, requiring adaptive processes for rehabilitation and inclusion. This study presents the development of an educational booklet aimed at amputees, their families and caregivers. The methodology includes a bibliographic survey in the SciELO databases, the analysis of technical manuals from the Ministry of Health and a review of current legislation. The material was prepared in accessible language, addressing the rehabilitation

process and the rights guaranteed by law. The booklet, conceived as an educational assistive technology, is aligned with the principles of the Unified Health System (SUS), and has the potential to strengthen the autonomy of users.
Keywords: *Amputation, Assistive Technology, Rehabilitation.*

Comparative analysis between different photogrammetry tools

Magalhães de Oliveira, Ruan Myller[1]; Stoppa, Marcelo H.*[2]

1 - Instituto de Matemática e Tecnologia, UFCAT, ruanmyller@discente.ufcat.edu.br

2 - Instituto de Matemática e Tecnologia, UFCAT, mhstoppa@ufcat.edu.br

* Bloco L, Sala 201, UFCAT, Av. Dr. Lamartine P. Avelar, Setor Universitário, Catalão, GO, Brasil, 75705-220.

Artigo aprovado e selecionado pelo comitê científico do V CBTA para *Special Edition*.

RESUMO

Durante o processo de confecção de próteses bucomaxilofaciais, a fotogrametria surge como uma via promissora na coleta das características faciais. A proposta deste estudo é prover uma avaliação entre modelos faciais tridimensionais gerados através de distintos sistemas de fotogrametria. Neste trabalho, seguiu-se com a seleção dos softwares adequados e, posteriormente, com a realização de sessões de captura, seguidas pelo processamento destes arquivos em cada sistema. Os resultados sugerem que duas das ferramentas despontaram como excelentes alternativas à proposta. Quanto à viabilidade de confecção destas próteses, este estudo defende solidamente uma técnica não invasiva e pouco dispendiosa.

Palavras-chave: próteses faciais, fotogrametria, modelagem 3D

ABSTRACT

During the manufacturing process of maxillofacial prosthetics, photogrammetry stands as a promising avenue for facial feature collection. This study aims to provide an assessment between three-dimensional facial models generated using distinct photogrammetry systems. This work was conducted as follows. First, appropriate software was selected. Next, image capture sessions were carried out, followed by the processing of these media files in each chosen system. The results suggest that two of the selected tools excelled at facial modeling. Regarding the feasibility of manufacturing these prosthetics, this study supports a well-grounded defense of a non-invasive and low-cost technique.

Keywords: *Facial prosthetics, photogrammetry, 3D modeling.*

Aplicação de bibliotecas de modelos anatômicos de orelhas e narizes em manufatura aditiva para apoio na confecção de próteses faciais

Barduco, Gabriela Schrann*[1]; Muniz, Laura Pardinho[2]; Foggiatto, José Aguiomar[3]

1 – Departamento de Mecânica, UTFPR, gabrielabarduco@alunos.utfpr.edu.br
2 – Departamento de Mecânica, UTFPR, lauramuniz@alunos.utfpr.edu.br
3 – Departamento de Mecânica, UTFPR, foggiatto@utfpr.edu.br
* -Correspondência: NUFER/DAMEC/UTFPR-CT - Rua Deputado Heitor de Alencar Furtado, 5000, Sala EM-101, Ecoville, Curitiba, PR, Brasil, 81.280-340

Artigo aprovado e selecionado pelo comitê científico do V CBTA para *Special Edition*.

RESUMO

A confecção de próteses faciais tradicionalmente demanda habilidade manual e tempo considerável para modelagem personalizada. Considerando a existência de uma biblioteca de narizes, este estudo teve como objetivo avaliar o uso de bibliotecas anatômicas e desenvolver uma biblioteca física de modelos anatômicos de orelhas impressas em 3D a partir de tomografias computadorizadas anônimas. As peças foram impressas em resina com alta resolução, numeradas e armazenadas em caixa identificada. Os resultados indicam que o uso de bibliotecas facilita o início do processo protético. Concluiu-se que essa iniciativa contribui com a tecnologia assistiva por meio de soluções práticas, reprodutíveis e acessíveis.
Palavras-chave: impressão 3D, prótese facial, biblioteca anatômica.

ABSTRACT

The fabrication of facial prostheses traditionally requires manual skill and a considerable amount of time for personalized modeling. Considering the existence of a nose library, this study aimed to evaluate the use of anatomical libraries and to develop a physical library of 3D-printed anatomical ear models based on anonymous computed tomography scans. The pieces were printed in high-resolution resin, numbered, and stored in a labeled box. The results indicate that the use of libraries facilitates the beginning of the prosthetic process. It was

concluded that this initiative contributes to assistive technology through practical, reproducible, and accessible solutions.
Keywords: *3D printing, facial prosthesis, anatomical library.*

O efeito de um protótipo de joelho monocêntrico em aço inoxidável e polipropileno na funcionalidade da marcha no idoso amputado tranfemoral: relato de caso

Alves, Marcelo[1]*; Eleutério, Guilherme[2]; Oliveira, Rafael[3] ; Paccola, Karina[4] ; Ribeiro, Nise[5] ; Grandini, Carlos[6]

1 – Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais (POSMAT), UNESP, Bauru - SP, marcelo.a.macedo@unesp.br

2 – Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais (POSMAT), UNESP, Bauru - SP, guilherme.alcalde@unesp.br

3 – Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais (POSMAT), UNESP, Bauru - SP, rfo.santos@unesp.br

4 – Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais (POSMAT), UNESP, Bauru - SP, kgp.alcalde@unesp.br

5 – Doutor. Docente do Departamento de Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Faculdade de Filosofia e Ciências, UNESP, Marília - SP, nise.marques@unesp.br

6 – Doutor. Docente e coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais (POSMAT), UNESP, Bauru - SP, carlos.r.grandini@unesp.br

* - Correspondência: Av. Eng. Luís Edmundo Carrijo Coube, 14-01, Núcleo Residencial Presidente Geisel, Bauru, SP, Brasil, 17033-360.

Artigo aprovado e selecionado pelo comitê científico do V CBTA para *Special Edition*.

RESUMO

Amputação de membro inferior é um processo traumático em pessoas com mais de 65 anos onde o indivíduo amputado apresenta várias dificuldades, como por exemplo, na capacidade funcional, marcha e equilíbrio. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo investigar o efeito de um novo protótipo de joelho monocêntrico em aço inoxidável e polipropileno na funcionalidade da marcha no idoso amputado transfemoral. Nesse sentido, o estudo foi dividido em três momentos (M1, M2, M3). M1 – avaliação inicial do voluntário com a prótese do SUS, M2 – utilização do novo protótipo por 6 meses, M3 – avaliação final do voluntário com o novo protótipo, e ao final comparadas entre si.

Palavras-chave: Amputação Transfemoral, Joelho Monocêntrico, Biomateriais.

ABSTRACT

Lower limb amputation is a traumatic process for people over 65 years of age. The amputee experiences several difficulties, such as functional capacity, gait, and balance. Therefore, the present study aimed to investigate the effect of a new monocentric stainless steel and polypropylene knee prototype on gait functionality in elderly transfemoral amputees. The study was divided into three phases (M1, M2, *and* M3). *M1 included the initial evaluation of the volunteer with the SUS prosthesis*; M2 *included use of the new prototype for 6 months*; *and* M3 *included the final evaluation of the volunteer with the new prototype, and then compared.*
Keywords: *Transfemoral Amputation, Monocentric Knee, Biomaterials.*

Integração de técnicas convencionais e impressão 3D na confecção de próteses bucomaxilofaciais: uma abordagem híbrida para otimização do processo protético

Bartoszyk, Gabriele[*1]; Muniz, Laura Pardinho[2]; Stramandinoli-Zanicotti, Roberta Targa[3]; Foggiatto, José Aguiomar[4]

1 – Departamento de Odontologia, UP, gabrielebartozyk@gmail.com
2 – Departamento de Mecânica, UTFPR, lauramuniz@alunos.utfpr.edu.br
3 – Serviço de Prótese Facial Reconstrutiva do Complexo Hospitalar do Trabalhador, CHT, robertastramandinoli@yahoo.com.br
4 – Departamento de Mecânica, UTFPR, foggiatto@utfpr.edu.br
* - Correspondência: Rua Deputado Heitor de Alencar Furtado, 5000, Sala EM-101, Ecoville, Curitiba, PR, Brasil, 81280-340

Artigo aprovado e selecionado pelo comitê científico do V CBTA para *Special Edition*.

RESUMO

A reabilitação bucomaxilofacial exige abordagens precisas que integrem ciência e tecnologia para restaurar estética e função em pacientes com perdas anatômicas. Este estudo teve como objetivo analisar a associação entre métodos convencionais e impressão 3D na confecção de próteses bucomaxilofaciais. Foi realizada uma revisão na literatura abordando as principais técnicas, benefícios e limitações dessa integração. Os resultados indicam que a combinação das abordagens proporciona maior personalização, agilidade e previsibilidade nos tratamentos. Conclui-se que essa associação contribui significativamente para a odontologia, promovendo avanços na reabilitação protética e na qualidade de vida dos pacientes.
Palavras-chave: prótese bucomaxilofacial, impressão 3D, reabilitação protética.

ABSTRACT

Maxillofacial prostheses aim to restore facial anatomy compromised by trauma, oncologic surgery, or congenital anomalies. This study aimed to analyze the effectiveness of integrating 3D printing technology into conventional fabrication

techniques. A hybrid workflow was employed, combining traditional impressions with computed tomography, digital modeling, and additive manufacturing. The results demonstrated significant reductions in production time and clinical sessions, along with improved precision and aesthetic customization. The findings indicate that this digital-conventional integration offers practical benefits in Health and Assistive Technology fields, contributing to more efficient, accurate, and patient-centered rehabilitation processes.
Keywords: maxillofacial prosthesis, 3D printing, assistive technology.

Trajetória de extensão universitária na produção de tecnologia assistiva de baixo custo para a população

Zanette, João Vitor Malacarne[1]; Dias Júnior, Cezar Lourenço[2]; Moreira, Clara Reis[3]; Bastos, Develyn Izaura Da Silva[4]; Sime, Mariana Midori[5]; Gomes, Raphaele Cristina Julião dos Santos[6]

1 – Departamento de Terapia Ocupacional, UFES, joaovzanettem@gmail.com
2 – Departamento de Terapia Ocupacional, UFES, cezar.jldias@gmail.com
3 – Departamento de Terapia Ocupacional, UFES, a.claramoreirareis@gmail.com
4 – Departamento de Terapia Ocupacional, UFES, develyn.bastos@gmail.com
5 – Departamento de Terapia Ocupacional,UFES, mariana.sime@ufes.br
6 – Departamento de Terapia Ocupacional, UFES, raphaele.gomes@ufes.br
* Correspondência: Universidade Federal do Espírito Santo. Departamento de Terapia Ocupacional. Av. Maruípe, 1486 - Maruípe, Vitória, Espírito Santo, Brasil, 29047-185.

Artigo aprovado e selecionado pelo comitê científico do V CBTA para *Special Edition*.

RESUMO

O presente trabalho apresenta a trajetória do projeto de extensão Tato Comunidade, da Universidade Federal do Espírito Santo, voltado à confecção gratuita de órteses e adaptações personalizadas em termoplástico para pessoas com deficiência e/ou idosas. A metodologia envolve avaliação funcional, planejamento terapêutico, modelagem individualizada e acompanhamento. Entre 2013 e 2024, foram atendidos cerca de 700 usuários, com produção de mais de 100 órteses e 140 adaptações. Os resultados demonstram impacto social, formativo e científico, destacando a relevância da extensão universitária no desenvolvimento de Tecnologias Assistivas de baixo custo.
Palavras-chave: Tecnologia Assistiva, Extensão Universitária, Terapia Ocupacional.

ABSTRACT

This paper presents the trajectory of the Tato Comunidade extension project, developed at the Federal University of Espírito Santo, which provides free customized orthoses and adaptations in thermoplastic materials for people with

disabilities and/or elderly individuals. The methodology involves functional assessment, therapeutic planning,custom molding, and follow-up. Between 2013 and 2024, around 700 users were assisted, and more than 100 orthoses and 140 adaptations were produced. The results highlight the social, educational, and scientific impact of the initiative, emphasizing the relevance of university extension in the development of low-cost Assistive Technologies.
Keywords: *Assistive Technology, University Extension, Occupational Therapy.*

EIXO TEMÁTICO | Tratamento Clínico Individual

ARTIGOS COMPLETOS

Avaliação funcional de um usuário com epidermólise bolhosa

Oliveira, Amanda Leão de[1]; Mota, Renata de Sousa[2]; Silva, Laissa Soares[3]; Santos, Alice Bispo dos[4]; Costa, Andressa Borges[5]; Machado, Kedma Nunes[6]; Reis, Lucas Santos[7]

1 –Graduanda em Engenharia de Tecnologia Assistiva e Acessibilidade, UFRB, amanda.lleaoo@gmail.com
2 – Professor Adjunto, UFRB, renatamota@ufrb.edu.br
3 – Graduanda em Engenharia de Tecnologia Assistiva e Acessibilidade, UFRB, laissa@aluno.ufrb.edu.br
4 – Graduanda em Engenharia de Tecnologia Assistiva e Acessibilidade, UFRB, alicebispotmi@gmail.com
5 – Graduanda em Engenharia de Tecnologia Assistiva e Acessibilidade, UFRB, aandressaborges573@gmail.com
6 – Graduanda em Engenharia de Tecnologia Assistiva e Acessibilidade, UFRB, kedmata@aluno.ufrb.edu.br
7– Brailista, UFRB, lucasreis@ufrb.edu.br
* -Correspondência: Rua Rollie e Poppino, s/n, Condomínio Viva Sim, Bl 16, apt 04, Feira de Santana, Bahia, Brasil, 44085-370.

DOI 10.52050/9788579177149-29

RESUMO

Indivíduos com Epidermólise Bolhosa (EB) enfrentam sérias limitações funcionais que afetam sua autonomia e qualidade de vida, demandando soluções de Tecnologia Assistiva (TA) pensadas para suas especificidades. Este trabalho teve como objetivo realizar a avaliação funcional de um indivíduo com EB e propor recursos de TA. A metodologia foi qualitativa, utilizando como base o Guia para Avaliação do Usuário ao Uso de Recursos de TA e o formulário ATD PA-Br. A avaliação resultou na descrição detalhada do perfil do participante e na recomendação de quatro recursos. Este trabalho demonstra a importância de um processo de avaliação minucioso e individualizado.
Palavras-chave: Avaliação de usuário, Epidermólise Bolhosa, Serviço de Tecnologia Assistiva.

ABSTRACT

Individuals with Epidermolysis Bullosa (EB) face serious functional limitations that affect their autonomy and quality of life, requiring Assistive Technology (AT) solutions designed for their specific needs. The aim of this study was to carry out a functional assessment of an individual with EB and propose AT resources. The

methodology was qualitative, based on the User Assessment Guide for the Use of AT Resources and the ATD PA-Br form. The assessment resulted in a detailed description of the participant's profile and the recommendation of four resources. This work demonstrates the importance of a thorough and individualized evaluation process.
Keywords: *User evaluation, Epidermolysis Bullosa, Assistive Technology Service.*

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia assistiva é uma área multidisciplinar que não se restringe a produtos, mas inclui uma ampla variedade de serviços capazes de garantir a melhor combinação entre usuário e dispositivo. É através de serviços de TA que tais soluções podem ser desenvolvidas e implementadas de maneira assertiva na vida do usuário. Esses serviços englobam a avaliação das habilidades e necessidades do usuário, a adaptação dos recursos, o treinamento para o uso eficiente e o acompanhamento após a entrega (Bersch, 2009.). A avaliação é especialmente relevante, pois possibilita identificar os entraves enfrentados pelo indivíduo e assegurar que o recurso selecionado atenda às suas necessidades específicas. Esse processo é fundamental para o aproveitamento e otimização da funcionalidade da tecnologia assistiva, minimizando a possibilidade de abandono do dispositivo (Bastos et al., 2023).

A falta de um processo avaliativo do usuário anterior a recomendação de um equipamento pode originar um dispositivo inadequado para a pessoa com deficiência. De acordo com Braccialli et al. (2019), o percentual de abandono de tecnologia assistiva no Brasil é cerca de 20%. Ainda de acordo com o mesmo autor, essa taxa se mantém em torno de 30% em outros países. Essas altas taxas evidenciam um contraste entre as demandas do indivíduo, o ambiente de utilização e a TA recomendada (Braccialli et al., 2019). Dentre as razões que colaboram para o abandono de recursos se destacam a não participação do usuário no processo de seleção, recurso ineficaz, conforto, complexidade de uso do dispositivo e a não aceitação por parte do usuário (Braccialli; Braccialli; Araújo, 2019), fatores que poderiam ser previamente evitados com a realização de uma avaliação detalhada.

A avaliação como parte de um serviço de tecnologia assistiva é o primeiro passo no processo de decisão de um recurso. Nessa etapa deve estar incluso uma análise das necessidades do usuário e um estudo detalhado de seu perfil, incluindo limitações funcionais, interesses, hábitos, habilidades e o contexto no qual o recurso será utilizado (Braccialli et al., 2019). É preciso utilizar instrumentos de avaliação adequados e padronizados, além de pessoal capacitado para realizar tais serviços. Para Braccialli e Braccialli (2020), a adaptação da TA ao usuário pode

ser facilitada, ao utilizar um modelo padronizado que permita ações conjuntas e sistematizadas entre PCD, desenvolvedor do recurso e profissional responsável pela avaliação.

A partir da necessidade de uma avaliação estruturada, foram desenvolvidos diferentes métodos para guiar o processo de avaliação. Por exemplo, o Matching Person and Technology (MPT), esse modelo conceitual faz uso de uma abordagem colaborativa onde o usuário da tecnologia e o avaliador trabalham em conjunto. Ele empenha-se em encontrar a melhor compatibilidade entre recurso e as características individuais do usuário. Com essa abordagem, o modelo MPT garante que a solução seja funcional e esteja alinhada com as expectativas do usuário. Esse modelo propõe a utilização de diferentes formulários, cabendo à equipe responsável analisar a situação e entender quais formulários são apropriados para serem utilizados com cada cliente, não havendo necessidade da utilização de todos os formulários. Com o intuito de auxiliar o profissional na seleção dos formulários adequados e na organização do processo de avaliação é disponibilizado o fluxograma Modelo Colaborativo para combinar Pessoa e Tecnologia (Braccialli; Braccialli, 2020).

Outro método que pode ser utilizado para orientar a realização de uma avaliação é o Guia para Avaliação do Usuário ao Uso de Recursos de Tecnologia Assistiva, proposto por Reis (2024). Esse guia pretende nortear o processo avaliativo de modo a contribuir para a melhor combinação possível entre a pessoa com deficiência, sua demanda e o recurso assistivo. Ele é dividido em quatro blocos e propõe ações a serem realizadas antes, durante e após a avaliação (Reis, 2024).

Os serviços de avaliação são uma parte primordial da área da tecnologia assistiva, sendo necessário que todos os processos avaliativos tenham o usuário como protagonista. Assim, ao considerar as características pessoais, as habilidades e as demandas, os profissionais podem garantir que o recurso desenvolvido seja eficiente, confortável e capaz de promover independência e qualidade de vida. Dessa forma, a avaliação é um serviço fundamental que baseia todo o processo de seleção de tecnologia assistiva.

A Epidermólise Bolhosa é uma doença genética grave, de alta variabilidade clínica caracterizada principalmente pela formação de bolhas na pele causadas a partir de traumas mínimos, como lesões, altas temperaturas e fricção, ou de modo espontâneo, resultando em pele e mucosas extremamente frágeis (Semedo, 2023). Em uma pele saudável existe, entre a epiderme e a derme, uma faixa de proteína, o colágeno, responsável por assegurar que a pele permaneça íntegra e suas camadas unidas. Além de seu papel na união das camadas, o colágeno proporciona resistência e tem função protetora. Nas pessoas com EB,

esse colágeno não está presente ou sofreu algum tipo de mutação, ocasionando ruptura e formação de bolhas e lacerações na pele (Araújo et al., 2023).

Decerto, a característica principal da EB é a formação de bolhas, elas são pequenas, numerosas, desconfortáveis e dolorosas. Segundo Semedo (2023), essas bolhas podem ocasionar cicatrizes e evoluir para câncer de pele. Além da pele, essa condição pode causar manifestações extracutâneas, que afetam órgãos internos, como as manifestações gastrointestinais, oculares e do trato geniturinário. O número e a gravidade das complicações provenientes da EB dependem de seu tipo, sendo que as de herança dominante estão associadas às formas menos graves e as recessivas às formas mais graves (Araújo et al., 2023; Semedo, 2023).

As pessoas com epidermólise bolhosa enfrentam em seu cotidiano inúmeros desafios, atividades simples podem se tornar complexas ou impraticáveis de serem realizadas de forma autônoma devido à extrema fragilidade da pele e às outras complicações associadas à condição. Situações corriqueiras, como pentear o cabelo, escrever, usar o computador, se alimentar, locomover e cumprir tarefas escolares, são afetadas e tornam-se inviáveis sem adaptações. Para Togo (2019), essas são algumas das razões que colaboram para que a qualidade de vida desses indivíduos seja afetada. Diante de tal cenário, a tecnologia assistiva pode desempenhar um papel fundamental na promoção da independência, qualidade de vida e inclusão social de pessoas com EB.

A utilização de TA por uma pessoas com EB é um processo de extrema complexidade e que requer recursos personalizados, visto a diversidade de complicações e necessidades. Com o objetivo de recomendar um recurso de TA para uma pessoa com EB, é ideal a utilização de um serviço de avaliação de usuário, de modo a ocorrer uma avaliação minuciosa, prezando principalmente pela elaboração de recursos que não afetem a pele frágil do indivíduo. Deste modo, as soluções de TA precisam ser projetadas não apenas para permitir a execução de atividades, mas também para diminuir o risco de novas lesões. Para além disso, devido a característica da doença, determinadas complicações podem se agravar, havendo a necessidade de um serviço de avaliação que acompanhe o usuário com EB durante longos períodos de tempo.

É importante frisar que o uso de tecnologia assistiva não apenas melhora a funcionalidade física, tendo também impactos diretos na saúde mental e autoestima das pessoas com EB. Esses recursos proporcionam maior independência e autonomia na realização de atividades, e proporcionam ao usuário maior participação social. A recomendação e implementação efetiva de soluções de TA requer uma visão interdisciplinar e contínua, que considere as especificidades da condição e o contexto de vida do usuário.

Tendo em vista o exposto acima, o presente trabalho propõe que a partir de uma análise minuciosa da pessoa com epidermólise bolhosa é possível compreender as limitações funcionais do indivíduo, seus hábitos, necessidades, dificuldades e interesses. Sendo assim, esta pesquisa tem por objetivo realizar a análise funcional de um indivíduo com Epidermólise Bolhosa e propor soluções de tecnologia assistiva.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Tendo como objetivo principal realizar a análise funcional de um indivíduo com Epidermólise Bolhosa e propor soluções de tecnologia assistiva, este trabalho é uma pesquisa aplicada de abordagem qualitativa.

A pesquisa aplicada está centrada em torno de problemas específicos, utilizando conhecimentos previamente adquiridos para processar dados, identificar dificuldades e elaborar soluções (Fleury e Werlang, 2017), sendo ideal para este estudo que visa propor soluções assistivas que facilitem a vida do usuário. A abordagem qualitativa foi empregada neste estudo por viabilizar a interpretação de informações subjetivas, como percepções, hábitos e limitações funcionais do usuário, sendo importante por propiciar uma coleta de dados aprofundada e o uso de diferentes fontes como entrevistas e observações do indivíduo (Godoy, 1995).

Esta pesquisa é um recorte de uma pesquisa maior intitulada "Avaliação, Acompanhamento de Usuário e Desenvolvimento de Produto de TA", a qual é realizada a qual é realizada dentro do curso de Engenharia de Tecnologia Assistiva e Acessibilidade (ETAA) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) e que possui aprovação do comitê de ética em pesquisa com seres humanos da UFRB (CAAE:68470423.7.0000.0056).

O participante desta pesquisa foi um adolescente EB, escolhido a partir da indicação de uma pesquisadora que tinha ciência sobre o trabalho desenvolvido pelo projeto de pesquisa. O indivíduo selecionado é relevante para o estudo pela complexidade de suas limitações, sendo um participante ideal para a avaliar e entender como as TAs podem ser benéficas para indivíduos com EB.

Para estruturar o processo avaliativo, foi utilizado o Guia para Avaliação do Usuário ao Uso de Recursos de Tecnologia Assistiva, proposto Reis (2024). Com base no Guia, antes de realizar a entrevista para avaliação, houve a coleta de informações importantes sobre o usuário e a preparação do profissional. Para conduzir a entrevista, seguindo a recomendação do fluxograma de utilização de instrumentos do Matching Person and Technology (MPT), optou-se pelo formulário Avaliação de Tecnologia Assistiva - Predisposição ao Uso (ATD PA-Br), que foi aplicado de forma adaptada. Após essa escolha, a entrevista foi

realizada de forma remota, visto que o participante reside em outra localidade, pelos pesquisadores do grupo de pesquisa, estando presentes um engenheiro de tecnologia assistiva e acessibilidade e três discentes deste mesmo curso.

Sendo assim, o trabalho seguiu as seguintes etapas: 1. Seleção do participante; 2. Coleta de dados do participante; 3. Estudo dos dados e preparação da equipe; 4. Escolha do formulário; 5. Entrevista e aplicação do formulário; 6. Análise das informações coletadas e descrição do perfil do participante; 7. Brainstorming e definição das soluções assistivas.

3. RESULTADOS

O serviço de avaliação é fundamental para encontrar a melhor solução de TA para pessoas com deficiência (Braccialli, 2019). Ele deve ser realizado por um indivíduo capaz e com conhecimentos multidisciplinares que devem perpassar, principalmente, as áreas de avaliação, de tecnologia assistiva e de pessoa com deficiência. O profissional, ou equipe responsável, deve fazer um estudo prévio e escolher o melhor curso de ação para a avaliação do usuário, decidindo qual método, guia e/ou formulário será utilizado como base para a avaliação. Levando em consideração que cada processo avaliativo, e seu avaliado, possuem características distintas, a avaliação pode sofrer alterações. Deste modo, cabe aos profissionais envolvidos perceber a necessidade de qualquer mudança ou adaptação dos materiais previamente decididos, sempre prezando para que a avaliação possibilite a melhor combinação entre pessoa e recurso.

Para a avaliação realizada neste estudo foi utilizado como base o Guia para Avaliação do Usuário ao Uso de Recursos de Tecnologia Assistiva, proposto por Reis (2024) e disposto de forma sintetizada na Tabela 01. Nele, o primeiro passo é a preparação do profissional para a avaliação. O profissional deve revisar as informações previamente coletadas do indivíduo avaliado e, quando possível, realizar uma pesquisa sobre a deficiência que será avaliada e possíveis produtos que possam servir para aquele usuário. Com base nisso, o primeiro passo para avaliação do participante deste trabalho foi a revisão de informações que o projeto de pesquisa havia coletado em um primeiro contato. Esse contato visou entender se o usuário poderia participar da pesquisa. Tais informações, exceto aquelas de caráter sensível que podem levar a identificação do participante, estão dispostas na Tabela 02.

Tabela 01 - Síntese do Guia para Avaliação do Usuário ao Uso de Recursos de TA

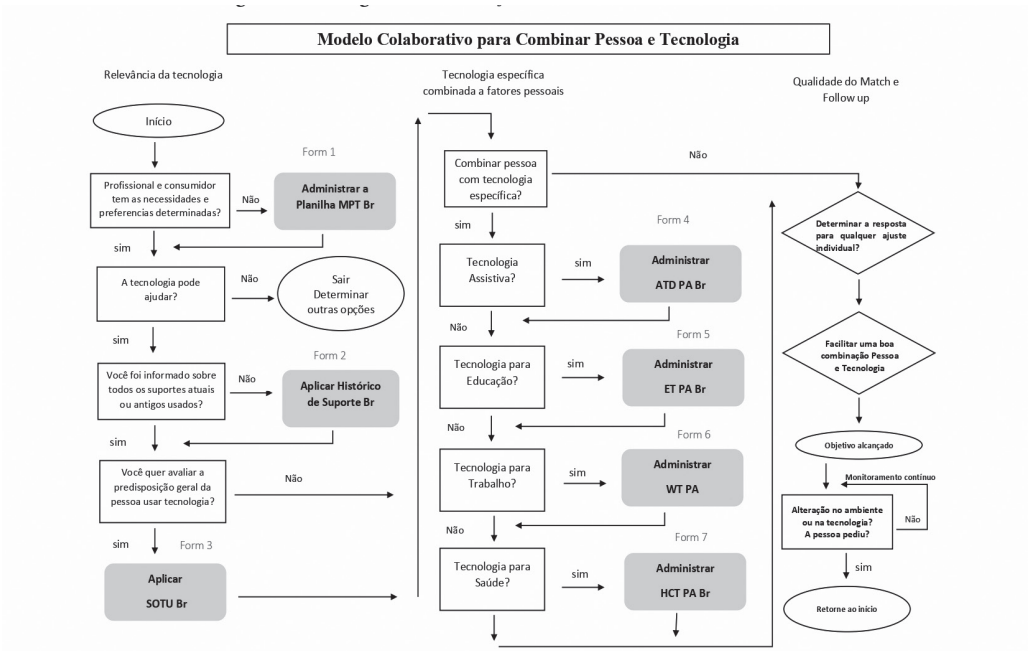
Bloco	Título	Descrição
1	Preparando o Profissional para a Avaliação	• Revisão das informações previamente coletadas do usuário; • Pesquisa sobre a deficiência a ser avaliada
2	Reunindo Informações Necessárias – Entrevista	• Coleta de informações pessoais; • Utilização de testes formais ou informais escolhidos pela equipe; • Coleta de informações sobre as características e demandas do usuário.
3	Área de Preocupação: Buscando Entender os Problemas do Usuário	• Discussão da equipe de avaliação; • Descrever as habilidades e dificuldades; • Descrever os principais aspectos do ambiente que ele está inserido; • Preenchimento da tabela WATI.
4	Tomando a Decisão do Recurso de Ta	• Brainstorming de possíveis soluções; • Escolha do recurso.
5	Plano de Implementação, Acompanhamento e Relatório Final	• Implementação ou orientação do recurso de TA; • Entrega do recurso; • Acompanhamento • Relatório final.

Tabela 02 - Informações previamente conhecidas do usuário.

Nome	–––
Idade	15 anos
Sexo	Masculino
Deficiência	Epidermólise Bolhosa
Escolaridade	Ensino Fundamental, alfabetizado

Com essas informações e a delimitação dos impedimentos causados pela epidermólise bolhosa, houve uma pesquisa sobre a doença, suas implicações e possíveis recursos para aquele usuário. A partir dessa pesquisa inicial, utilizou-se como base o fluxograma do modelo MPT (Figura 01) para escolher um dos métodos avaliativos recomendados, o formulário 1-cliente, intitulado Avaliação de Tecnologia Assistiva - Predisposição ao Uso (ATD PA-Br). Ele apresenta quatro blocos: A. Que nota você daria hoje para suas habilidades nas 9 áreas listadas abaixo?; B. Quanto você está satisfeito atualmente com as seguintes áreas?; C. Por favor marque todas as alternativas abaixo que descrevem você; 4. Comentários.

Figura 01 - Modelo MPT

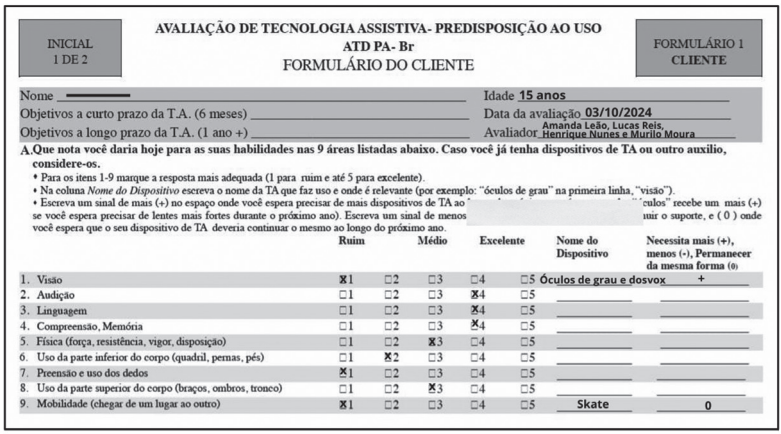


Fonte: Braccialli, 2017

Com isso em mãos iniciou-se o processo de agendamento da avaliação. A avaliação ocorreu no dia 03/10/2024, estiveram presentes os profissionais responsáveis pela avaliação, o participante e sua professora da escola de atendimento especializado, a qual foi responsável por sua indicação ao projeto. A avaliação teve início às 14 horas do referido dia e durou aproximadamente uma hora.

Inicialmente, os profissionais presentes, o participante e sua professora foram apresentados. Iniciou-se então o uso do formulário anteriormente descrito, onde, no decorrer da avaliação os avaliadores optaram pela utilização apenas do primeiro bloco (Figura 02). Tal decisão foi tomada pois, durante o processo avaliativo, o participante e sua professora apresentaram de forma clara as dificuldades, limitações e demandas requeridas pelo usuário e, ao longo da avaliação, os profissionais puderam verificar a necessidade das demandas anteriormente apresentadas. As complicações, limitações e soluções previamente utilizadas estão descritas na Tabela 03.

Figura 02 -Recorte do formulário 1-cliente ATD PA-Br preenchido



INICIAL 1 DE 2

AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA- PREDISPOSIÇÃO AO USO
ATD PA- Br
FORMULÁRIO DO CLIENTE

FORMULÁRIO 1 **CLIENTE**

Nome _____ Idade **15 anos**
Objetivos a curto prazo da T.A. (6 meses) _____ Data da avaliação **03/10/2024**
Objetivos a longo prazo da T.A. (1 ano +) _____ Avaliador **Amanda Leão, Lucas Reis, Henrique Nunes e Murilo Moura**

A. Que nota você daria hoje para as suas habilidades nas 9 áreas listadas abaixo. Caso você já tenha dispositivos de TA ou outro auxílio, considere-os.

- Para os itens 1-9 marque a resposta mais adequada (1 para ruim e até 5 para excelente).
- Na coluna *Nome do Dispositivo* escreva o nome da TA que faz uso e onde é relevante (por exemplo: "óculos de grau" na primeira linha, "visão").
- Escreva um sinal de mais (+) no espaço onde você espera precisar de mais dispositivos de TA ao [illegible] "culos" recebe um mais (+) se você espera precisar de lentes mais fortes durante o próximo ano). Escreva um sinal de menos [illegible] uir o suporte, e (0) onde você espera que o seu dispositivo de TA deveria continuar o mesmo ao longo do próximo ano.

	Ruim		Médio		Excelente	Nome do Dispositivo	Necessita mais (+), menos (-), Permanecer da mesma forma (0)
1. Visão	☒1	□2	□3	□4	□5	Óculos de grau e dosvox	+
2. Audição	□1	□2	□3	☒4	□5		
3. Linguagem	□1	□2	□3	☒4	□5		
4. Compreensão, Memória	□1	□2	□3	☒4	□5		
5. Física (força, resistência, vigor, disposição)	□1	□2	☒3	□4	□5		
6. Uso da parte inferior do corpo (quadril, pernas, pés)	□1	☒2	□3	□4	□5		
7. Preensão e uso dos dedos	☒1	□2	□3	□4	□5		
8. Uso da parte superior do corpo (braços, ombros, tronco)	□1	□2	☒3	□4	□5		
9. Mobilidade (chegar de um lugar ao outro)	☒1	□2	□3	□4	□5	Skate	0

Tabela 03 - Sintomas/Complicações, limitações e soluções do usuário avaliado

Sintomas/Complicações da EB	Limitações causadas	Soluções já utilizadas
Problemas oculares	Baixa visão que está se agravando em cegueira	Óculos de grau, Dosvox e varredura de tela no computador
Fusão dos dedos	Realização de AVDs e escrita	
Contraturas e articulações com restrição de movimento	Locomoção/mobilidade	Cadeira de rodas e Skate
Atraso no crescimento	––	––

Com a realização da entrevista, o perfil do participante foi descrito de forma minuciosa, sendo apresentado a seguir.

O participante avaliado, um adolescente de 15 anos com epidermólise bolhosa do tipo distrófica recessiva (EBDr), apresenta diversas complicações advindas da doença. Sendo elas baixa visão em evolução para cegueira, fusão dos dedos, contraturas e articulações com restrição de movimento e atraso no crescimento. Em consequência das complicações apresentadas, a pessoa avaliada possui limitações significativas na realização de atividades como escrita, uso do computador e locomoção.

O participante é usuário de cadeira de rodas e, no interior de sua casa, consegue se locomover com o auxílio de um skate no qual se senta e se impulsiona com os braços. Entretanto, esse método de locomoção pode ser doloroso devido a fragilidade da pele, sendo utilizado por curtos períodos de tempo. Recentemente, iniciou a utilização do sistema Dosvox para o acesso ao computador, solução para a limitação resultante da baixa visão.

O usuário passa mais tempo em casa, com idas à escola e ao centro de atendimento especializado. Ele não possui dificuldades na fala, nem na memória, tem maior mobilidade no uso da mão direita e consegue ler textos em fonte setenta e dois.

As demandas apresentadas por ele e por seu responsável, são: 1. Recurso que possibilite a realização de AVDs; 2. Recurso que viabilize a escrita; 3. Recurso que substitua o uso do mouse para manipulação da lupa do computador; 4. Prancha para ser usada na cadeira de rodas durante a realização de atividades.

Após a delimitação do perfil do usuário, foi iniciado o processo do bloco três do Guia de Avaliação. Nele há a área de preocupação, onde se busca entender os problemas do usuário, ocorrendo um diálogo da equipe avaliadora acerca da entrevista, a descrição das habilidades e dificuldades do participante e os principais aspectos do ambiente no qual está inserido, essas informações constam na descrição do perfil do participante, anteriormente apresentada. Paralelo a isto, foi preenchida a Tabela de Identificação de Problemas Wisconsin Assistive Technology (WATI), apresentada a seguir na Tabela 04.

Tabela 04 - Tabela de Identificação de Problemas WATI preenchida

<table>
<tr><th>Habilidades/Dificuldades do Aluno</th><th>Considerações Ambientais</th><th>Tarefas</th></tr>
<tr><td rowspan="3">• VIsão
• Mobilidade
• Uso das mãos</td><td rowspan="3">• Casa
• Escola
• Centro de Atendimento Especializado</td><td>• Pentear o cabelo
• Escovar os dentes
• Escrever
• Comer
• Maior apoio para realização de atividades
• Uso do computador</td></tr>
<tr><td>Estreitando o foco</td></tr>
<tr><td>Pentear o cabelo e escovar os dentes</td></tr>
<tr><th>Geração de Soluções, Ferramentas e Estratégias</th><th>Seleção de Soluções, Ferramentas e Estratégias</th><th>Plano de Implementação</th></tr>
<tr><td rowspan="3">• Recurso que possa ser utilizado na mão para segurar objetos como escova de dente, pente, colher e caneta;
• Feito de material não abrasivo;
• Um recurso para mais de um objeto.</td><td rowspan="3">Luva para a realização de AVDs</td><td>• Confecção do recurso;
• Entrega do recurso;
• Teste do recurso.</td></tr>
<tr><td>Plano de Acompanhamento</td></tr>
<tr><td>A entrega será feita para a pesquisadora que o indicou para o projeto devido a sua disponibilidade de buscar o recurso na universidade.</td></tr>
</table>

Após esse processo, são definidas as TAs a serem recomendadas, ou confeccionadas, iniciando o quarto bloco do guia. Para isso, realizou-se um *brainstorm*, chuva de ideias, para estudar possíveis soluções de tecnologia assistiva para as necessidades do participante, resultando em quatro recursos, necessários de confecção devido à não disponibilidade no mercado ou ao alto custo de aquisição, agrupados de acordo com a ordem de prioridade que foi relatada na avaliação e percebida pelos avaliadores: i) imediatamente, ii) nos próximos meses, iii) no futuro. Os recursos propostos foram: 1. Luva para realização de AVDs, com prioridade i; 2. Luvas para escrita, com prioridade ii; 3. Prancha para a cadeira de rodas, com prioridade ii; 4. Mouse de cabeça para uso da lupa do computador, com prioridade ii.

4. DISCUSSÃO

A avaliação realizada com base em um guia estruturado e feita por profissionais especializados e previamente preparados permitiu uma descrição detalhada do perfil funcional do usuário, destacando as limitações consequentes da EB. Segundo Duipmans e Jonkman (2010), uma abordagem interdisciplinar, individualizada e adaptada à gravidade da doença, é benéfica para o paciente com epidermólise bolhosa. Tal afirmação contribui para a ideia de que a realização de uma avaliação com profissionais versados em diferentes áreas contribui para uma descrição abrangente e precisa do indivíduo avaliado.

A apresentação do perfil do indivíduo com ED demonstrou o que é expresso em outros estudos, o fato de pessoas com EB enfrentarem desafios significativos na realização de diversas atividades, incluindo as AVDs, afetando de maneira significativa sua qualidade de vida (Araújo, et al., 2023). Fato constatado por Togo (2019) em sua revisão sistemática sobre a qualidade de vida das pessoas com EB, nela identificou-se que indivíduos com EB, especialmente as distrófica recessiva e juncional, possuem uma baixa qualidade de vida.

A criação de uma TA baseada nas particularidades do usuário com epidermólise bolhosa é fundamental para garantir que a solução seja proveitosa para essa pessoa. Tabor, LeQuang e Pergolizzi (2024) contribuem para essa visão ao declarar que pessoas com EB se beneficiam de cuidados individualizados, visto a peculiaridade de cada caso. O mesmo princípio se aplica à criação de recursos, assim, soluções de TA devem ser criadas ou adaptadas de forma específica para cada usuário com EB.

Para Braccialli et al. (2019), o abandono da solução assistiva é o resultado de uma falha que ocorreu durante o processo de avaliação. Entre outros motivos, esse abandono pode ser oriundo da incapacidade do recurso de atender a demanda do usuário, ou de ser utilizado dentro do seu contexto social.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho perpassa a hipótese de que a realização de uma análise minuciosa da pessoa com epidermólise bolhosa permite compreender as limitações funcionais do indivíduo, seus hábitos, necessidades, dificuldades e interesses, possibilitando projetar e confeccionar soluções de tecnologia assistiva de modo mais assertivo. Essas soluções melhoram a autonomia e qualidade de vida do indivíduo com EB.

Tendo tal hipótese como princípio, essa pesquisa avaliou um usuário com epidermólise bolhosa, utilizando o Guia para Avaliação do Usuário ao Uso de Recursos de Tecnologia Assistiva, proposto por Reis (2024) como base. Esta pesquisa pôde verificar a importância da realização de um processo avaliativo minucioso anterior a prescrição e confecção de recursos de tecnologia assistiva, bem como, a necessidade da participação ativa da pessoa com deficiência durante esse processo. Resultando em uma representação detalhada do indivíduo analisado e na recomendação de quatro recursos.

Com este trabalho, os autores deixam para a sociedade um material que pode ser usado por profissionais da área de saúde, tecnologia assistiva e pessoas com deficiência como base para novas pesquisas sobre o uso de TA por pessoas com epidermólise bolhosa.

Apesar dos resultados relevantes, a análise realizada em formato remoto e a análise de um único participante representam limitações para a pesquisa. Como ações futuras, recomenda-se ampliar o número de participantes e realizar análises presenciais, além de acompanhamento dos participantes por períodos mais prolongados.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Bruno Gonçalo Souza et al. Cuidados de enfermagem com crianças e adolescentes com epidermólise bolhosa: revisão sistemática. *Acta Paulista de Enfermagem*. São Paulo, 36:eAPE03302.

BASTOS, P. A. L. S., *et al*. Tecnologia assistiva e políticas públicas no Brasil. *Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional*, 31, e3401. 2023.

BRACCIALLI, L. M. P.; BRACCIALLI, A. C.; ARAÚJO, R. C. T. Instrumentos para indicação, avaliação e instituição de tecnologia assistiva: Revisão sistemática. *Revista Contexto e Educação*, Ano 34, nº 107, p. 265-275. 2019.

BRACCIALLI, L. M. P.; BRACCIALLI, A. C. Instrumentos para Avaliação de Uso de Tecnologia - MPT. Marília: *ABPEE*. p. 55. 2020.

BRACCIALLI, L. M. P., et al. Tradução e Adaptação Cultural de Instrumentos para Avaliar a Predisposição do Uso de Tecnologia Assistiva que Constitui o Modelo Matching, Person & Technology. *Revista Brasileira de Educação Especial*, Bauru, v.25, n.2, p.189-204. 2019.

BERSCH, R. C. R. *Design de um Serviço de Tecnologia Assistiva em Escolas Públicas, Dissertação.* 2009. 231f. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

DUIPMANS, J. C.; JONKMAN, M. F. Interdisciplinary management of epidermolysis bullosa in the public setting: the Netherlands as a model of care. *Dermatol Clin*, v. 28, n. 2, p. 383-386, xiii, 2010.

FLEURY, M. T. L.; W, S. R. C. *Pesquisa aplicada: conceitos e abordagens*. São Paulo: FGV-EAESP, FGV-EPGE. In: Anuário de Pesquisa 2016-2017.

GODOY, A. S. Pesquisa Qualitativa: Tipos Fundamentais. *Revista de Administração de Empresas*. São Paulo, v. 35, n.3, p, 20-29. 1995.

HOHMANN, P; CASSAPIAN, M. R. Adaptações de baixo custo: uma revisão de literatura da utilização por terapeutas ocupacionais brasileiros. *Revista Terapia Ocupacional*, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 10-18, jan./abr. 2011.

REIS, . S. *Guia para Avaliação do Usuário e Orientação ao Uso de Recursos de Tecnologia Assistiva, TCC*. 2024. 74f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia de Tecnologia Assistiva e Acessibilidade) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Feira de Santana, 2024.

SEMEDO, L. C. M. *Epidermólise Bolhosa Distrófica Recessiva, Dissertação:* Abordagem às Complicações Músculo-esqueléticas – Estudo de Caso. 2023. Dissertação (Mestrado em Medicina) - Faculdade de Medicina, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2023.

TABOR, A.; LEQUANG, J. A. K.; PERGOLIZZI JR, J. Epidermolysis Bullosa: Practical Clinical Tips From the Field. *Cureus*, v. 16, n. 2, e53774, fev. 2024.

TOGO, C. C. G. *Qualidade de Vida em Pessoas com Epidermólise Bolhosa: Revisão Sistemática, Dissertação.* 2019. 63f. Dissertação (Mestrado em Nutrição Humana) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

Development of a serious game for ankle dorsiflexion rehabilitation

Mazuquini, Gustavo [1]; Irigon Pereira, Fabio[1] Gomes Sartori, Larissa[2]; Prado Campos, Daniel[1]; Nieves Vázquez, José Angel[*3,4]; Alves Mendes Junior, José Jair[3]

1 – Federal Technological University of Paraná (UTFPR) – Apucarana – PR – Brazil, email1@email.com.br
2 – State University of Londrina (UEL) - Londrina - PR - Brazil, email2@email.com.br
3 – Federal Technological University of Paraná (UTFPR) – Paraná – PR – Brazil, jjjunior@utfpr.edu.br
4 – Technological Institute of San Andres Tuxtla (ITSSAT) - Veracruz - México, josenieves@itsssat.edu.mx
* -Correspondência: Av. Sete de Setembro, 3165, Rebouças, Curitiba, PR, Brasil, 3310-4545.

DOI 10.52050/9788579177149-30

RESUMO

Disfunções motoras afetam muitos indivíduos devido a psicopatologias ou acidentes. O tratamento geralmente envolve exercícios fisioterapêuticos, que podem ser demorados e desmotivadores, especialmente se o progresso for lento. Para lidar com isso, o projeto visa desenvolver um jogo sério para a reabilitação da dorsiflexão do tornozelo. O sistema utiliza um sensor que captura o movimento do tornozelo do paciente no pedal e comunica o movimento ao computador por meio do joystick. Os resultados obtidos são apenas técnicos e baseados em dados simulados. A reabilitação da dorsiflexão do tornozelo foi desenvolvida, o sistema para capturar com eficiência os movimentos de dorsiflexão, oferecendo ajustes de dificuldade e adaptabilidade às necessidades do paciente.
Palavras-chave: Reabilitação física, Reabilitação de dorsiflexão do tornozelo, Jogos sérios.

ABSTRACT

Motor dysfunctions affect many individuals due to psychopathologies or accidents Treatment typically involves physiotherapeutic exercises, which can be lengthy and demotivating, especially if progress is slow. To address this, the project aims to develop a serious game for ankle dorsiflexion rehabilitation. The system uses a sensor that captures the movement of the patient's ankle on the pedal and communicates the movement with the computer through the Joystick. The results obtained are only technical and based on simulated data. Ankle dorsiflexion

rehabilitation was developed, the system to efficiently capture dorsiflexion movements, offering difficulty adjustments and adaptability to the patient's needs.
Keywords: *Physical- rehabilitation, Ankle dorsiflexion rehabilitation , Serious games.*

1. INTRODUCTION

The constant technological advances have completely changed how people live. For example, long-distance communications took months to be carried out in the past, whereas, in the modern world, they occur in just milliseconds. Such advances have been applied in all areas of society, including communication, transportation, medicine, education, and the economy (IBANGA 2024).

However, an inherent aspect of human nature is the affinity for entertainment. Human history indicates that games are played in all societies, with records of board games over 5,000 years old (DEPAULIS 2020). Balls, dice, and cards have been used for centuries as game tools for entertainment purposes (HARGRAVE 2000). With the emergence of the first computers and demonstrations of their capabilities, it became evident that they could also be used as tools for games (DORNER *et al*. 2016).

As mentioned, board games are primarily aimed at entertainment. However, there are also several traditional games that are educational. That is, the main objective of these games is to entertain the players and provide some learning (TRAJKOVIK *et al.*). With the popularization of digital games (ERHEL; JAMET, 2013), they too began to fit into this category of games with a serious purpose, called serious games. A serious game, characterized by its educational or therapeutic purposes, emerges as a promising tool in physiotherapy. It provides a playful environment that motivates patients to participate in the rehabilitation process actively (WIEMEYER; KLIEM, 2012).

The first concept of a serious game was conceived by (ABT 1987), who stated: "We are concerned with serious games in the sense that these games have an explicit and carefully planned educational purpose, and are not intended to be played primarily for entertainment."

The use of games in physiotherapy is known as game therapy. According to (COSTA; SANTOS, 2021), this approach enables the representation of everyday life situations through technology, eliciting a motor response from the patient. Engaging in a moment of entertainment, the patient unwittingly complies with the activities prescribed for their treatment.

Games can offer a secure and enjoyable environment for patients to concentrate on their tasks, diverting their attention from any discomfort or pain they may experience during rehabilitation (LING *et al.* 2017). Furthermore,

games can offer immediate feedback on the patient's performance, enabling the physiotherapist to tailor the treatment and modify the difficulty level as the patient advances (DE JESUS *et al.* 2018).

Incorporating games into physiotherapy treatments can also boost motivation and adherence to treatment, especially since the rehabilitation process can often feel monotonous. By integrating game elements into the treatment, patients may find increased motivation to persist with the rehabilitation process and attain their treatment goals (COSTA; SANTOS, 2021).

Physical rehabilitation constitutes a fundamental pillar in the recovery process from musculoskeletal injuries and restoring full functionality to the human body (TODHUNTER-BROWN *et al.* 2014). Patients experiencing ankle movement limitations, such as dorsiflexion, are affected in this extensive field due to the limited availability of treatment approaches.

Dorsiflexion is essential for daily activities like walking, climbing stairs, and maintaining balance, thus emphasizing the imperative search for the complete reintegration of patients into their daily routines and achieving the desired quality of life (ALMANSOOF *et al.* 2023). Nonetheless, the effectiveness of traditional rehabilitation methods for ankle dorsiflexion often faces specific challenges related to motivation and patient engagement in treatment. Implementing innovative technologies is a promising way to improve therapeutic outcomes (LOHSE *et al.* 2013).

In this context, and to address the aforementioned challenges, the main contribution of this work is the development of a novel system for ankle dorsiflexion rehabilitation, which integrates a serious game with electronically instrumented control.

Furthermore, the ongoing progress monitoring within the game yields valuable data for healthcare professionals and empowers patients by enabling them to visualize their development over time. This immediate feedback fosters a positive cycle, strengthening the patient's commitment and involvement in the rehabilitation process.

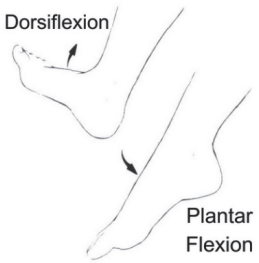
The general objective of this study is the development of a prototype of a serious game associated with an instrumented pedal for ankle dorsiflexion rehabilitation, achieving stable and real-time communication between the game and the controller. The system effectively captured dorsiflexion movements, offering difficulty adjustments and adaptability to patients' needs.

2. MATERIALS AND METHODS

The system was designed to assist patients in improving deficits in ankle dorsiflexion. Dorsiflexion is the biomechanical action that reduces the angle

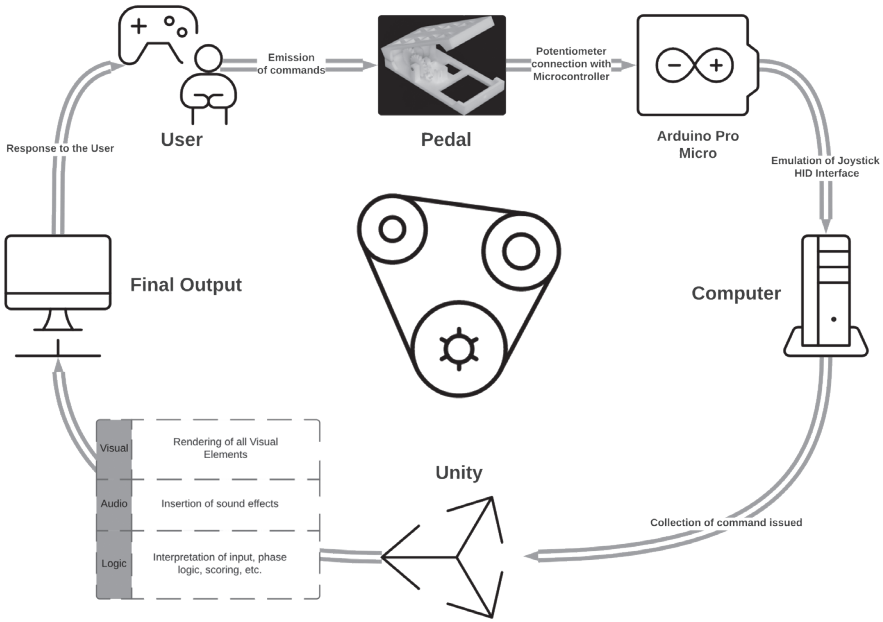
between the dorsum of the foot and the anterior surface of the lower leg, as shown in Figure 1. Dorsiflexion is a movement that involves the flexing of the ankle joint, which decreases the angle between the foot and the leg, as presented in Figure 1. This movement is essential for daily activities such as walking, running, climbing stairs, and driving. Being able to control and move the muscles responsible for dorsiflexion precisely is crucial for maintaining good posture and how you move around. (KENDALL *et al.* 2010).

Figura 01 - Ankle joint movement, exemplifying the dorsiflexion.



The diagram shown in Figure 2 synthesizes the general operation of the project, presenting the main elements that will be detailed later in the section. Briefly, the game takes place in a space scenario where the goal is moving a spaceship controlled by the pedal, avoiding obstacles. A sensor (rotary potentiometer) captures the ankle's movement on the pedal, which communicates with the computer through the Joystick.h library. The patient constantly receives visual, auditory, and logical feedback, encouraging better performance in the game and consequently exercising the ankle.

Figura 02 - Logical diagram of the game process.

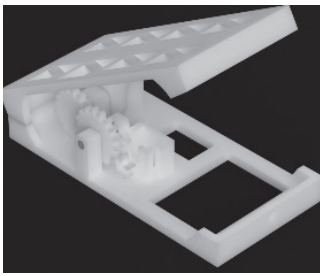


The pedal was modeled using the CAD software Fusion 360. This software allows for precise and efficient design, making creating a model that meets the project's specific needs easier. The pedal was designed to be ergonomic and functional, providing an intuitive interface for the user as shown in Figures 3 and 4.

The sensor used in the pedal is a linear potentiometer, which captures the movement of the ankle. As the pedal is pressed, the angle of inclination of the ankle changes the resistance of the potentiometer, thereby varying the electrical signal sent to the microcontroller. This variation allows the physical movement to be translated into a measurable electrical signal.

PETG (polyethylene terephthalate glycol), a type of thermoplastic commonly used in 3D printing, was used to construct the pedal. This material is known for its high mechanical, chemical, and thermal resistance, offering durability and robustness compared to other 3D printing materials. The use of PETG allows the device to endure continuous operation without compromising performance.

Figura 03 - Rendered model of the designed pedal.



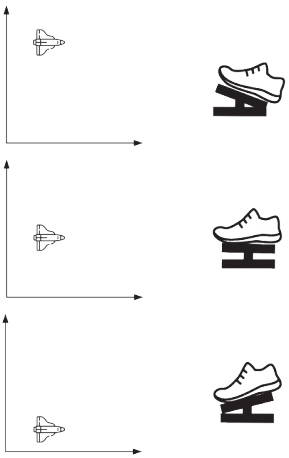
Data acquisition and processing occur on the Arduino Pro Micro microcontroller. The microcontroller is based on the ATmega32U4 and was chosen for its ability to emulate HID (Human Interface Device) devices. The analog reading of the potentiometer is done through an analog port of the Arduino, which provides a resolution of 10 bits, allowing for the capture of variations of 4.9 mV per unit.

Communication between the pedal and the computer uses the Joystick.h library, which allows the microcontroller to be recognized as a video game controller by the operating system. The data processed by the Arduino are sent to the computer through a USB interface using the HID protocol. This approach ensures efficient and low-latency communication, which is essential for interactive applications such as games.

The game features a spaceship as the main character and is set in a space scenario. The main mechanic involves controlling the spaceship's position based on the pressure exerted
on the pedal. This control is crucial for avoiding obstacles and completing the stages. The game is divided into six stages, each presenting a unique pattern of obstacles that the player must navigate. All stages have configurable parameters to accommodate individual player preferences, with stage six being considered a custom stage, allowing users to define the obstacle pattern.

The pedal is essential for controlling the spaceship within the game. The pedal position is mapped to the position of the spaceship. This mechanic enables the game's obstacle patterns to require the player to make corresponding movements to dodge obstacles and avoid losing points. These movement stimuli align with existing treatment patterns, wherein the amplitude, speed, and control of dorsiflexion movements are practiced.

Figura 04 - Functioning of the pedal in the game



The game's visual elements, including sound effects, 3D models, and images, were obtained from online platforms by authors who make them available for free use. The visual design is focused on providing an immersive and engaging experience for the player while the interface is intuitive, ensuring fluid gameplay.

3. RESULTS

The timeline of the final game works as follows: first, there is a main menu where the user can access options for audio adjustments and control calibration or go to the stage menu to choose one. When selecting a stage, the specific options of the chosen stage are displayed, allowing the configuration of the session variables before entering the stage. During this stage, it is possible to observe the percentage of errors in real-time, and at the end, the pattern of the movement graph is displayed, allowing it to be exported in CSV format. This flow can be observed visually in Figure 5.

Figura 05 - Example of movement graph of the third stage



The development of the serious game and the instrumented pedal was successful, resulting in a functional prototype. The pedal, equipped with a potentiometer, integrates efficiently with the game, allowing user interaction through dorsiflexion movements. This device transmits movements without delays, providing an effective interface for performing the actions required to progress through the game's stages.

The serious game can stimulate dorsiflexion movements, assisting in treatment and providing an interactive interface. As the player advances through the stages, the stimuli and difficulty levels increase, featuring different formats and varieties of obstacles. The stage configuration interface allows for specific adjustments for each level. Additionally, the game offers auditory and visual feedback, such as a sound indication of errors and a visual indication with the character blinking in red when colliding with an obstacle. Performance evaluation methods include two scoring methodologies: one playful to motivate the patient and another technical for health professionals, including a standard movement graph and the possibility of exporting data in CSV format for pattern analysis and subsequent progress tracking.

4. DISCUSSION

The choice to develop a serious game for ankle dorsiflexion rehabilitation, in addition to being driven by interest from professionals in the field, was based on the search for an innovative and motivating approach to the recovery process. Integrating an interactive virtual environment offers an effective means to engage patients in rehabilitation. The interactivity stimulates active patient participation, while real-time feedback allows instant adjustments, optimizing progress in rehabilitation.

No interventions have yet been carried out with patients using serious games as a form of treatment. Therefore, a physiotherapist advised and monitored the development of this game to be a potential tool in ankle rehabilitation, given the existing needs and demands.

A relevant work in developing serious games for rehabilitation is that of (ANDRADE DE OLIVEIRA 2011), who designed games aimed at recovering ankle movements. Using an active orthosis, the games offered different stimuli for dorsiflexion and plantar flexion. Four specific games were created, two for each type of movement, where patients needed to apply a specific force to complete the actions in the game. The results of the experiments showed greater adherence of patients thanks to visual and motor feedback, indicating that these games are effective in rehabilitating ankle movements.

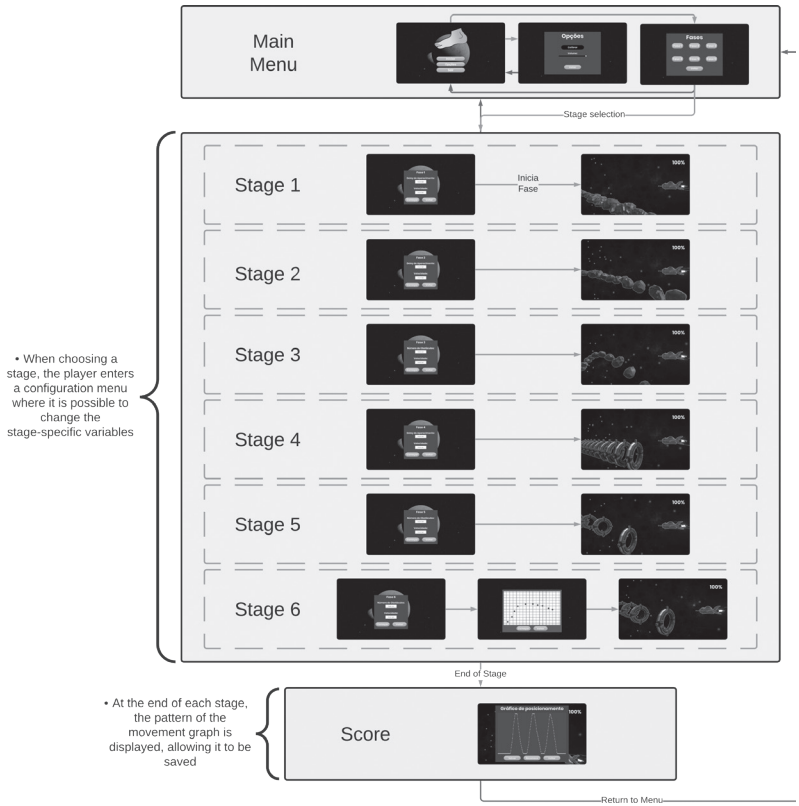
Another relevant study is that of (FERREIRA 2020), who developed a serious game for training dorsiflexion and plantar flexion of the feet, controlled by a wearable device with an accelerometer sensor. The tests carried out with children showed positive treatment performance and user satisfaction results. Based on the feedback received, improvements were suggested, such as adding different speed settings and obstacles and visual and sound feedback. These suggestions were incorporated into the game developed in this work, offering various methods to complete the phases and adjusting the difficulty based on the patient's level by controlling the speed, variability, and interval between obstacles, thereby increasing user interaction and immersion.

In this work, promising results were observed in improving the ankle's range of motion and adherence to the game. Simulations were carried out to evaluate the interaction between the game and the instrumented pedal. The results indicated a positive correlation between the dorsiflexion of the ankle measured by the pedal and the performance in the game. However, it is essential to emphasize that the results obtained are only technical and based on simulated data, not reflecting the responses of actual patients. There is no feedback available on patient satisfaction and adherence to the game. Therefore, while the results are exciting, they have not yet been proven in terms of effectiveness in a real clinical environment.

The discussion about the possible limitations of the work reveals important aspects to be considered in evaluating the serious game developed for ankle dorsiflexion rehabilitation.

Although the potentiometer is functional for measuring ankle dorsiflexion, it is necessary to improve its accuracy to capture ankle movements with greater sensitivity. The need for a mechanical interface, like the pedal, is also a consideration, as it introduces elements that can affect the accuracy of the measurement. Additionally, using wires in the connection between the sensor and the system can limit the patient's mobility during rehabilitation.

Figura 06 - General game flowchart



Another limitation is the minimum range of motion required to operate the game, which can represent a challenge for patients with more severe motor limitations. Although the phases of the game have been set up with the guidance of professionals, it is necessary to emphasize the need for tests and the collection of patient feedback. This aspect is crucial for the evolution of the serious game, especially in adapting the phases to meet the specific rehabilitation needs of different patients. Figure 6 shows the general flowchart of the game.

5. CONCLUSION

The work focused on developing a serious game associated with an instrumented pedal for ankle dorsiflexion rehabilitation, achieving stable and real-time communication between
the game and the controller. The system effectively captured dorsiflexion movements, offering difficulty adjustments and adaptability to patients' needs.

Despite the innovative potential of the system in integrating interactive technologies for a personalized approach to rehabilitation, some limitations were

identified, such as the precision of the potentiometer and wired communication, which can impact patient mobility. The lack of clinical validation in a real environment also represents a challenge to be overcome.

For future work, it is suggested that real clinical studies be conducted to validate the system's effectiveness, in addition to direct feedback collection from patients for continuous refinements. The review of the control interface, considering wireless options
and more advanced sensors, is pointed out as a promising strategy to consolidate the serious game as an effective tool in ankle rehabilitation, contributing to the advancement
of the integration of interactive technologies in the rehabilitation area.

ACKNOWLEDGMENT

José Angel Nieves-Vázquez thanks the support from the Federal University of Technology—Paraná (UTFPR) and thanks TecNM campus San Andrés Tuxtla (ITSSAT) for the support and travel permits during the realization of this research project.

REFERÊNCIAS

Abt, C. *Serious Games:* Nueva York: Viking Press, 1970.

Almansoof, H. S., Nuhmani, S., Muaidi, Q. Role of ankle dorsiflexion in sports performance and injury risk: A narrative review. *Electronic Journal of General Medicine*, v. 20, n. 5, p. 1-12, May 2023.

de Oliveira Andrade, K., Oliveira, F. L., Vieira, L. C., Jardim, B., Siqueira, A. A. G., & dos Santos, F. R. P. Serious Games for Robotic Rehabilitation of Ankle Movements. In *Proceedings of the 21st International Congress of Mechanical Engineering,* 2011*, Natal, Brazil* . ABCM. Natal, RN: COBEM 2011.

da Costa, E. L., & Santos, C. C. T. Gameterapia na reabilitação de pacientes com paralisia cerebral. *Revista Coleta Científica*, Minas Gerais (MG), Brasil, v. *5, n.* 10, p. 60-68. 2021.

De Jesus, E. S., de Jesus, J. P., Rocha, J. L. D. S., Wagmacker, D. S., & Gardenghi, G. (2018). Gameterapia na reabilitação de pacientes com paralisia cerebral. *Revista Brasileira de Saúde Funcional*, Cachoeira, v.6, n. 1, p. 9-15, Abr. 2018.

Depaulis, T. Board games before Ur. *Board game studies journal*, v. 14, n. 1, p. 127-144, 2020.

Dörner, R., Göbel, S., Effelsberg, W., e Wiemeyer, J. *Serious games*: foundations, concepts and Practice. Switzerland: Springer International Publishing, 2016.

Erhel, S., Jamet, E. Digital game-based learning: Impact of instructions and feedback on motivation and learning effectiveness. *Computers & education*, v. 67, p. 156-167, Feb. 2013.

Ferreira, D. R. M. J., Baptista, C., Rodrigues, B., Assis, S., & Correa, A. De-senvolvimento de um jogo sério controlado por dispositivo wearable para exercicios de dorsiflexão e flexão plantar. In *Proce-*

edings of the Simpósio Brasileiro de Games e Entretenimento Digital, n. 19, 2020, Recife. *Games and Health Track XIX SBGames.* Recife: 2020.

Hargrave, C. P. *A history of playing cards and a bibliography of cards and gaming*. Boston: Courier Corporation, 2000.

Ibanga, I. J. Human and Technology in the 21st Century. *Bincang Sains dan Teknologi*, v. 3, n. 2, p. 40-43, Jun 2024.

Kendall, F., McCreary, E., e Provance, P. *Muscles*: Testing and Function with Posture and Pain. Philadelphia. Lippincott Williams & Wilkins. 2010.

Ling, Y., Ter Meer, L. P., Yumak, Z., & Veltkamp, R. C. Usability test of exercise games designed for rehabilitation of elderly patients after hip replacement surgery: Pilot study. *JMIR serious games*, v. 5, n. 4, p. 1-22, Oct. 2017.

Lohse, K., Shirzad, N., Verster, A., Hodges, N., e Van der Loos, H. M. Video games and rehabilitation: using design principles to enhance engagement in physical therapy. *Journal of neurologic physical therapy*, Philadelphia, v. 37, n. 4, p. 166–175. Dec. 2013.

Todhunter-Brown, A., Baer, G., Campbell, P., Choo, P. L., Forster, A., Morris, J., Pomeroy, V. M., e Langhorne, P. *Physical rehabilitation approaches for the recovery of function and mobility following stroke*: The Cochrane Database of Systematic Reviews. UK: WILEY, 2014.

Trajkovik, V., Malinovski, T., Vasileva-Stojanovska, T., & Vasileva, M. Traditional games in elementary school: Relationships of student's personality traits, motivation and experience with learning outcomes. *PloS one*, v. 13, n. 8, p. 1-15, Aug. 2018.

Wiemeyer, J., Kliem, A. Serious games in prevention and rehabilitation—a new panacea for elderly people?, *European Review of Aging and Physical Activity* v. 9, n. 1, p. 41–50, Apr. 2012.

Desenvolvimento de um sistema de aquisição de sinais com sensores resistivos flexíveis para reabilitação e fisioterapia

Souza, Guilherme Antônio Ribeiro[*1]; Itturriet, Fábio Pires[2,3]; Mendes Junior, José Jair Alves[1,4]

1 - Departamento Acadêmico de Eletrônica, UTFPR, gsouza.2020@alunos.utfpr.edu.br; jjjunior@utfpr.edu.br
2 - Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, UTFPR, fabioitturriet@utfpr.edu.br
3 - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, UTFPR; fabioitturriet@utfpr.edu.br
4 - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, UTFPR; jjjunior@utfpr.edu.br
* -Correspondência: Av. Sete de Setembro, 3165, Rebouças, Curitiba - PR, Brasil, 80230-901.

DOI 10.52050/9788579177149-31

RESUMO

A fisioterapia é crucial para a recuperação funcional após lesões, cirurgias ou doenças neurológicas. Este trabalho desenvolveu um sistema vestível inovador com sensores flexíveis integrados a uma interface gráfica, que permite aos profissionais de saúde monitorar exercícios de reabilitação, com foco na cinesioterapia. O sistema detecta movimento através da tensão gerada na deformação dos sensores, com variação de -0,012V por grau. Verificaram-se erros de aquisição de 5,7° na extensão e 19,7° na contração. Embora funcional, o sistema é sensível à posição dos sensores, indicando a necessidade de ajustes e aprimoramentos futuros para otimizar sua eficácia.
Palavras-chave: reabilitação, sensores flexíveis, cinesioterapia.

ABSTRACT

Physical therapy is crucial for functional recovery after injuries, surgeries, or neurological diseases. This work developed an innovative wearable system with flexible sensors integrated into a graphical interface, allowing healthcare professionals to monitor rehabilitation exercises, focusing on kinesiotherapy. The system detects movement through the tension generated by the deformation of the sensors, with a variation of -0.012V per degree. Acquisition errors of 5.7° in extension and 19.7° in contraction were observed. Although functional, the system

is sensitive to the position of the sensors, indicating the need for adjustments and future improvements to optimize its effectiveness.
Keywords: *rehabilitation, flexible sensor, kinesiotherapy.*

1. INTRODUÇÃO

Doenças e lesões de ordem neurológica são umas das principais causas de incapacidade motora de indivíduos. A partir delas, essas condições repercutem no desenvolvimento das atividades diárias dos indivíduos, dificultando-os de realizarem estas atividades (MENDEZ, 2024). Dentre essas doenças neurológicas, destaca-se o acidente vascular cerebral (AVC). Conforme o Ministério da Saúde (MS), o AVC ocorre quando vasos sanguíneos que levam sangue ao cérebro entopem ou se rompem, sendo caracterizado pela rápida perda de funções neurológicas. No Brasil, de acordo com a Pesquisa Nacional de Saúde realizada em 2019, foi registrado o diagnóstico de AVC ou derrame em aproximadamente 3,1 milhões de pessoas maiores de 18 anos.

A velocidade do diagnóstico é crucial para a sobrevivência das vítimas, cerca de 30 dias após o AVC a letalidade é de 25% (HANKEY, 2003). Para os sobreviventes, as sequelas podem impedir a realização das atividades diárias, uma vez que a diminuição das capacidades motoras em um dos lados do corpo é comum entre os pacientes. O emprego de protocolos de reabilitação na fisioterapia se tornou a alternativa mais comum para a recuperação das capacidades funcionais (GONÇALVES, 2022). Existem diversos métodos para tratar o paciente como a cinesioterapia, exercícios físicos terapêuticos, hidroterapia, exercícios aquáticos, hipoterapia, exercícios terapêuticos com auxílio de equinos, massoterapia, técnicas de mobilização dos tecidos superficiais e profundos (PIASSAROLI et al., 2012).

Na cinesioterapia, os pacientes são orientados a realizar uma série de exercícios musculares para a reabilitação das funções motoras. Por exemplo, em Rocha et al. (2020), os pacientes vítimas de AVC realizaram uma série de 10 repetições de exercícios como adução e abdução dos dedos da mão com oponência do polegar; flexão e hiperextensão do punho; supinação, pronação do antebraço; e flexão e extensão do cotovelo. Em outro exemplo de aplicação, Mendez (2025) empregou um dispositivo de eletroestimulação em pacientes com lesões neurológicas, incluindo AVC, nos membros superiores a partir de sinais de eletromiografia de superfície. A partir de análise de imagens, os ângulos de extensão do cotovelo e do punho foram adquiridos para uma atividade de alcance e garra de um objeto.

Tomando o último exemplo, nota-se que há um emprego de análise de imagem para avaliação de movimentos de pessoas com lesões neurológicas.

Entretanto, análises de imagem são muito susceptíveis a questões ambientais, como posicionamento de câmera, iluminação, brilho e contraste. Essas questões podem ser resolvidas com o emprego de sensores para a medição de parâmetros fisiológicos que visam auxiliar os profissionais de saúde e reabilitação a analisarem como está a evolução do paciente e do protocolo. Por exemplo, em Mendez (2025), sensores flexíveis poderiam ser usados para a medição da extensão do punho e do cotovelo, a fim de fornecer dados com maior exatidão e redundância para análises cinesiológicas e de reabilitação.

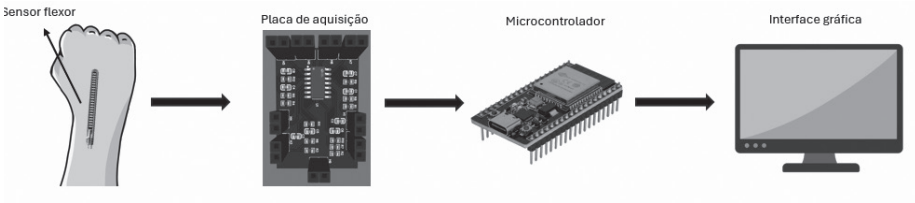
Sensores flexíveis são sensores resistivos nos quais o valor da sua resistência elétrica sofre variação proporcional ao grau de flexão a ele submetido (RASHID; HASAN, 2018). Ele é composto por um substrato plástico com uma camada de tinta impressa composta por carbono resistivo (DIAS, 2020). Esses sensores são empregados em trabalhos similares envolvendo a medição de ângulos e movimentação, especialmente em sistemas vestíveis. Um exemplo seria a utilização dos sensores em uma luva para o reconhecimento de gestos em Libras (DIAS, 2020).

Embora estes sensores sejam encontrados na literatura, não existe um único dispositivo ou circuito recomendado para o seu condicionamento, sendo cada sistema único voltado para a sua aplicação. Nesta premissa, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de aquisição e condicionamento de sensores flexíveis que possa auxiliar na validação de exercícios envolvendo protocolos de cinesioterapia e de reabilitação para pacientes que sofreram lesões neurológicas, como o AVC. O sistema é capaz de detectar o movimento do paciente, transformar em um sinal elétrico proporcional ao nível da execução, processar esse sinal, e posteriormente validar se o movimento foi executado corretamente, por parte do profissional de saúde, como fisioterapeuta.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 1 apresenta o diagrama de funcionamento do sistema proposto neste trabalho. O sensor flexível (ou sensor flexor) é posicionado em uma região de interesse, por exemplo, na região posterior da mão para medir a movimentação de punho. O sensor flexível é conectado à placa de aquisição, a qual disponibiliza o sinal condicionado para a sua saída. Esta placa de aquisição foi projetada para fornecer conexões de até quatro sensores flexíveis ao mesmo tempo. Posteriormente à saída do filtro da placa de aquisição, o sinal é enviado para um microcontrolador, o qual converte o sinal analógico para forma digital, enviando os dados para um computador através da porta serial. Por fim, os dados são processados e apresentados na interface gráfica.

Figura 01 - Diagrama de funcionamento do sistema de aquisição e condicionamento desenvolvido para os sinais dos sensores flexíveis.



O sensor flexível empregado neste trabalho foi o fabricado pela empresa Spectrasymbol, com 55 mm de comprimento, resistência nominal de 25 kΩ e uma tolerância de 30% (SPECTRASYMBOL, 2019). Esse sensor possui apenas um sentido de deformação. A resposta desse sensor possui regiões lineares, como demonstrado por Dias (2020), e o valor da sua resistência dobra quando está totalmente curvado em um ângulo próximo a 180° (DIAS, 2020). A Figura 2 apresenta um exemplo do sensor flexível comercial desenvolvido pela Spectra Symbol.

Figura 02 - Exemplo do sensor flexível comercial.

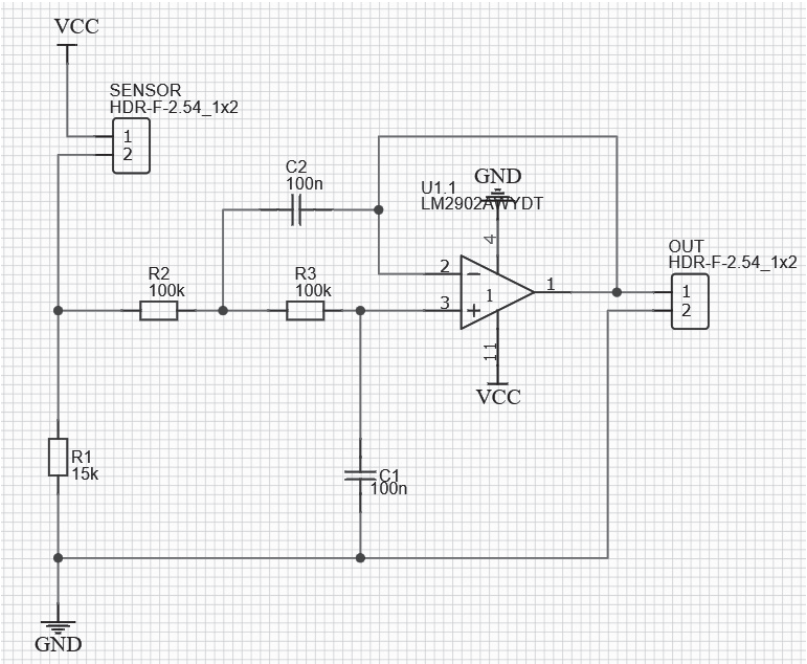


De acordo com o fabricante, a leitura do sensor flexível pode ser feita com uma conexão com um resistor de 15 kΩ em série. Essa é a primeira parte do circuito de condicionamento, conforme apresentado na Figura 3. Isso permite que a tensão no sensor possa ser medida através de um divisor de tensão, em V_{sensor}, conforme a Equação (1):

$$V_{sensor} = V_{cc} \cdot \frac{15k}{15k + R_{sensor}}, \quad (1)$$

em que V_{sensor} é dada em volts (V); V_{CC} é a tensão de alimentação, dada em V; e R_{sensor} é a resistência do sensor flexível em ohms (Ω).

Figura 03 - Esquemático de um módulo do circuito desenvolvido para aquisição dos sinais do sensor flexível.



A tensão sobre o resistor é utilizada como sinal e consequentemente, está sujeita a interferências (ruídos). Para atenuar ruídos de alta frequência e delimitar a faixa de frequência, um filtro passa-baixa pode ser empregado. Estudos demonstram que para sistemas vestíveis frequências de 15-20 Hz são suficientes para o seu funcionamento (RAMÓN, et al., 2022). Por esse motivo, um filtro passa-baixa *Butterworth* de segunda ordem com a topologia *Sallen Key* foi projetado para eliminar frequências acima de 20 Hz. A frequência de corte do filtro é definida pela Equação (2):

$$f_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{(R2 \cdot R3 \cdot C1 \cdot C2)}}, \quad (2)$$

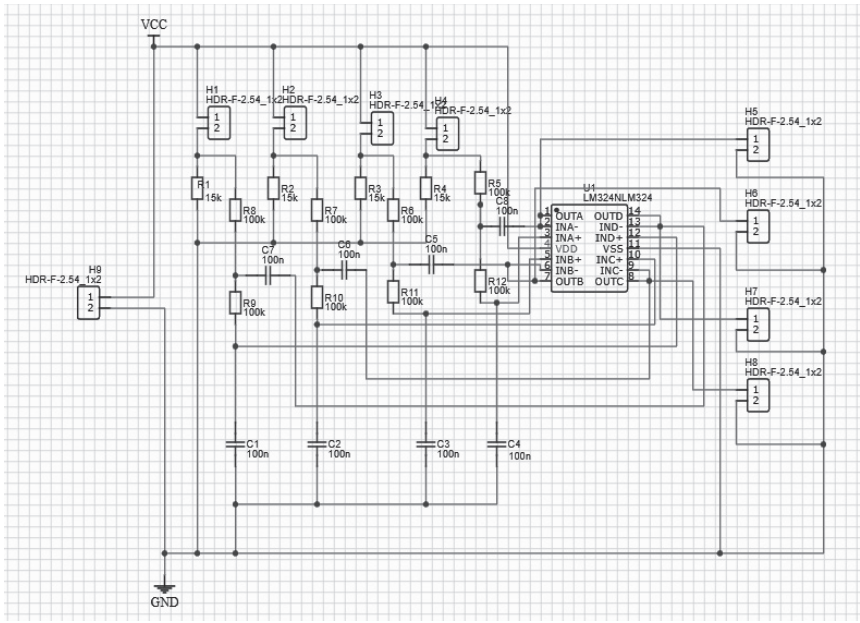
Em que R é dado em Ohms (Ω), C é dado em farads (F) e fc é a frequência de corte do filtro, dada em hertz (Hz).

Foram utilizados valores comerciais de resistores de 100 kΩ e capacitores de 100 nF, resultando em uma frequência de corte de 15,9 Hz. Este resultado está dentro do valor que pode ser empregado para sensores que medem as movimentações do corpo humano.

Como a proposta do circuito é para alocação de quatro sensores, para a montagem da placa foi utilizado o circuito integrado (CI) LM324, o qual é

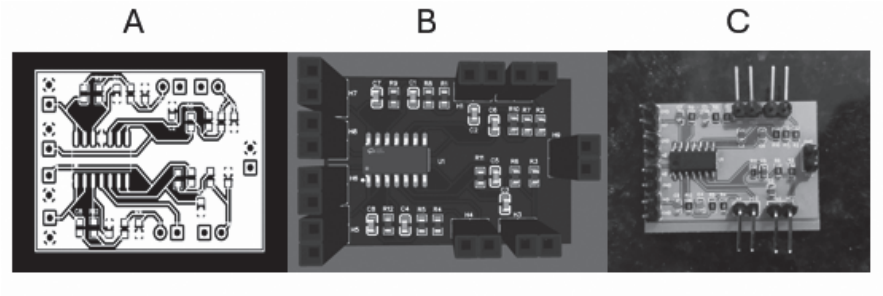
composto por quatro amplificadores operacionais (PHILLIPS, 1995). A utilização desse componente traz duas vantagens: a primeira é ser um CI unipolar, permitindo alimentação simples (ou *single supply*); e a segunda é a possibilidade de montar um circuito com quatro canais. Ele opera com faixas de alimentação de 3 V até 36 V. A placa de aquisição foi projetada para ser alimentada pelo próprio microcontrolador, o qual possui uma saída com um regulador de tensão de 3,3 V. A Figura 4 apresenta o esquemático final da placa para quatro canais, estando os terminais de H1 a H4 como as entradas dos sensores, o terminal H9 para a alimentação do circuito e os demais conectores, as saídas do circuito .

Figura 04 - Esquemático final do sensor para quatro canais de aquisição de sensores flexíveis com filtragem do sinal.



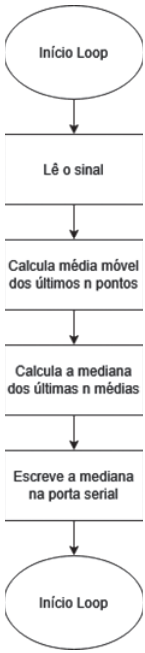
Após o projeto do circuito, foi desenvolvida uma placa de circuito impresso, sendo apresentada na Figura 5A seu leiaute de impressão e na Figura 5B o seu modelo em 3D. Sua construção foi feita de forma a ser a menor possível, com dimensões reduzidas, adequando-se a um sistema que pode ser vestível. Após o seu modelo 3D, a placa foi confeccionada e os dispositivos eletrônicos foram soldados, estando na Figura 5C a imagem da placa real após a sua montagem. A placa possui dimensões finais de 34,15 mm de comprimento e 23,30 mm de largura.

Figura 05 - A) Placa de circuito impressa, leiaute para impressão; B) Modelo em 3D da placa de aquisição de sinais; C) Placa soldada e montada com os demais componentes



O sinal captado pelos sensores foi convertido de analógico para digital através do microcontrolador (MCU) Esp32s NodeMcu, que se destaca por seu custo acessível, baixo consumo de energia e uma ampla gama de periféricos disponíveis (ESPRESSIF, 2022). Foi programada uma rotina de aquisição dos sinais adquiridos pela placa, conforme apresentado na Figura 6. O *firmware* foi composto de um loop principal para aquisição dos sinais de forma ininterrupta. Primeiramente, o sinal é lido e convertido pelo conversor analógico-digital (ADC) de 12 bits de resolução do ESP32. Posteriormente, foi programado um filtro de médias para suavizar o sinal obtido. Este foi feito das últimas 5 amostras coletadas. Os dados são enviados através da porta serial no formato "dado|dado|dado|dado|", separando o dado para cada canal. Por fim, os dados são enviados do ESP32 para a interface gráfica, os quais estão convertidos entre 0 a 4095, o qual está relacionado com a resolução do ADC do microcontrolador, que é de 12 bits.

Figura 06 - Fluxograma do código do *firmware* desenvolvido pelo ESP32 para a leitura dos dados.

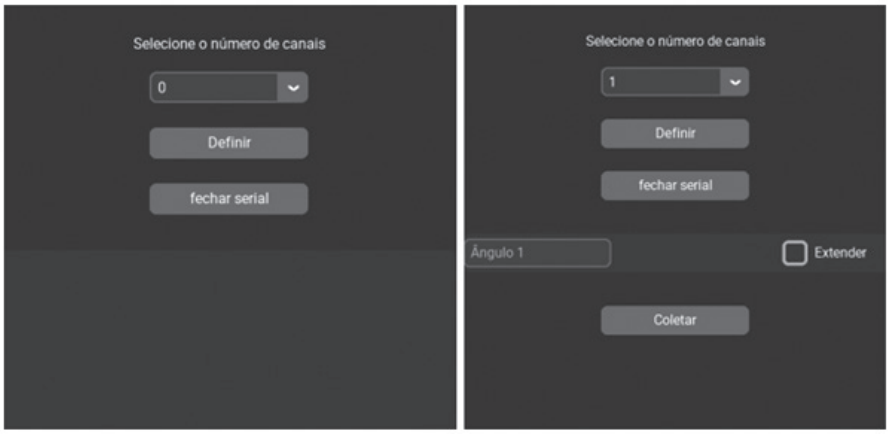


Por fim, foi desenvolvida uma interface gráfica, na qual é possível definir quantos canais serão utilizados, qual é o ângulo de deformação do exercício para cada canal e se o sensor será contraído ou relaxado. A interface gráfica do sistema é apresentada na Figura 7. Para o desenvolvimento da mesma, foi feita uma calibração do sensor para retornar o valor da sua flexão pelo ângulo em relação a resistência medida. Neste teste, mediu-se a resistência do sensor relaxado e do sensor com uma deformação de 90°. Estes valores foram de 27 kΩ e 60 kΩ, respectivamente. Calculando a tensão através da equação (1), obtêm-se 1,179 V e 0,66 V, respectivamente. Assumindo a linearidade do sensor, chega-se na equação (3) que fornece a tensão de saída em função do ângulo de deformação a partir de uma linearização:

$$V_x = -0{,}0058 \cdot \theta + 1{,}179 \qquad (3)$$

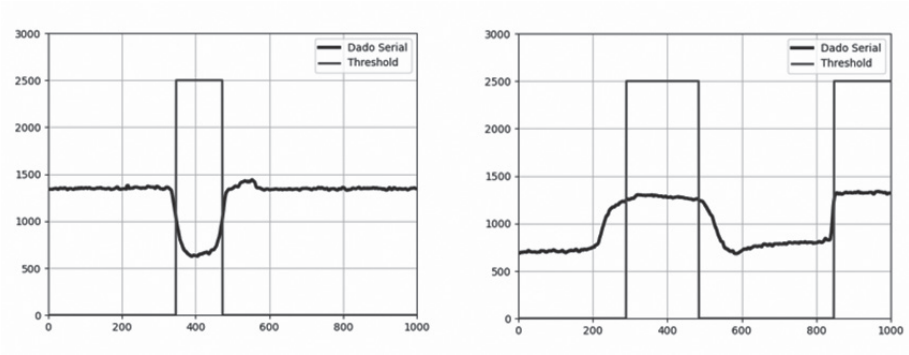
em que V_x é o valor da tensão correspondente do sensor em volts e θ é o ângulo de deformação em graus.

Figura 07 - Interface gráfica desenvolvida neste trabalho.



Os dados de cada canal são desenhados no gráfico em tempo real e caso o exercício seja executado corretamente, isto é o ângulo de abertura pré-definido pelo fisioterapeuta for atingido, uma linha será traçada em seu respectivo canal, a qual está assinalada como *Threshold*, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 08 - A) Gráfico exercício contração; B) Gráfico exercício relaxamento.



3. RESULTADOS

O primeiro experimento tem como objetivo avaliar a linearidade do sensor flexor. Para a realização do experimento, o ângulo de deformação (θ) do sensor foi sistematicamente variado de 0° a 90°, em incrementos de 10°, conforme mostrado na Tabela 01. Para cada ângulo, foram medidas a resistência do sensor e a tensão de saída da placa de aquisição. Após a coleta dos dados, foi calculado o erro percentual entre a tensão de saída da placa e a tensão obtida através da Equação (3).

Tabela 01 - Avaliação da linearidade do sensor flexor

θ (°)	Resistência (kΩ)	Tensão Saída Placa (V)	Função V_x (V)	Erro (%)
0	26,9	1,187	1,176	0,94
10	29,7	1,113	1,119	0,52
20	31,1	1,079	1,061	1,66
30	34,2	1,011	1,004	0,74
40	38,4	0,931	0,946	1,56
50	40,8	0,891	0,888	0,33
60	45,0	0,829	0,831	0,23
70	48,5	0,783	0,773	1,27
80	55,0	0,710	0,716	0,74
90	59,8	0,665	0,658	1,01

O segundo experimento tem como objetivo analisar o desempenho do sistema durante a realização de um exercício de extensão do punho (contração do sensor). Para isso, o sensor foi acoplado entre o dorso da mão e a parte posterior do antebraço, garantindo que as deformações provocadas pela movimentação do pulso sejam registradas. Na Tabela 2, são apresentados os quatro ângulos de deformação avaliados: θ = 0°, 30°, 60° e 90° e as respectivas tensões de saída da placa (Tensão Saída Placa). Posteriormente, esses valores de tensão foram aplicados na Equação (3) para calcular a deformação real (θ real) do sensor. Além disso, o erro absoluto foi calculado para avaliar a precisão do sensor, comparando os valores obtidos com os esperados provenientes do modelo teórico.

Tabela 02 - Resultados para o exercício de extensão do punho (contração do sensor)

θ Esperada (°)	Tensão Saída Placa (V)	θ Real (°)	Erro absoluto (°)
0	1,040	24,0	24,00
30	0,886	50,4	20,44
60	0,701	82,4	22,40
90	0,588	101,8	11,85

O terceiro experimento consiste em analisar um exercício de extensão do cotovelo (extensão do sensor). Para isso, o sensor foi acoplado sobre a fossa cubital, garantindo que as deformações provocadas pela extensão do cotovelo

sejam registradas. Na Tabela 3, são apresentados os valores de tensão de saída da placa para os ângulos de deformação avaliados (θ = 90°, 60°, 30° e 0°), assim como os ângulo reais obtidos com a Equação (3). Por fim, o erro absoluto é calculado para a análise da precisão do sensor.

Tabela 03 - Resultados para o exercício de extensão do cotovelo (extensão do sensor)

θ Esperada (°)	Tensão Saída Placa (V)	θ Real (°)	Erro absoluto (°)
90	0,637	93,5	3,5
60	0,838	58,8	1,2
30	0,991	32,4	2,4
0	1,088	15,7	15,7

4. DISCUSSÃO

Em condições controladas, o sistema demonstrou uma linearidade excepcional, apresentando uma variação de -0,012 V por grau de deformação e um erro relativo de apenas 0,9% na validação da equação de conversão.

Contudo, ao ser aplicado ao corpo humano, surgiram desafios que corroboram preocupações já discutidas na literatura. Durante os experimentos realizados com a articulação do punho, constatou-se um erro médio de 19,7°, evidenciando uma limitação significativa do sistema. Esse erro elevado pode ser atribuído à irregularidade da articulação, uma questão identificada por Saggio e Orengo (2018) como um dos principais fatores que comprometem o desempenho de sensores flexíveis. De maneira análoga, Dias (2020), em seu estudo envolvendo uma luva para a tradução de Libras, relatou uma sensibilidade distinta do sensor acoplado ao polegar, reforçando a ideia de que a complexidade anatômica das articulações impacta diretamente a precisão das medições.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho propôs o desenvolvimento de um sistema de aquisição e condicionamento de sinais elétricos provenientes de sensores flexíveis, com o objetivo de auxiliar na validação de exercícios em protocolos de cinesioterapia e de reabilitação.

Os resultados demonstraram que o sistema se mostrou capaz de detectar as deformações do sensor flexor, processar os sinais digitalizados e apresentá-los em uma interface gráfica, o que permite o acompanhamento eficaz dos exercícios de reabilitação propostos pelo profissional de saúde. Entretanto, o sistema

apresenta limitações, principalmente quando o sensor flexor é posicionado em regiões anatômicas complexas, onde irregularidades na superfície da pele podem influenciar as medições, comprometendo a precisão dos dados.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a implementação de protocolos de comunicação sem fio, como Bluetooth ou Wi-fi, presentes no ESP32. Essa abordagem proporciona aos pacientes maior liberdade durante a realização dos exercícios, incentivando a adesão ao tratamento e possibilitando uma melhor experiência em processos de reabilitação.

REFERÊNCIAS

DIAS, T. *Luva instrumentada para reconhecimento de padrões de gestos em Libras*. 2020. 97 páginas. Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba março de 2022.

ESPRESSIF. ESP32 datasheet. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1148023/ESPRESSIF/ESP32.html>. Acesso em: 6 maio 2025.

GONÇALVES, L. H. *A importância da fisioterapia na qualidade de vida dos pacientes pós acidente vascular cerebral*. 2022. 27 páginas. Trabalho de conclusão de curso para obtenção do título de graduado em Fisioterapia - Anhanguera Educacional, São José junho de 2022.

HANKEY GJ. Long-term outcome after ischaemic stroke/transient ischaemic attack. *Cerebrovascular Diseases*. v. 16, n. 1, p. 14-19, maio 2003.

MÉNDEZ, M. *Avaliação de um sistema de neuro-órtese semg-fes: um estudo de caso em pacientes neurológicos*. 2024. 85 páginas. Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências em Área de Concentração - Engenharia Biomédica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba dezembro de 2024.

PHILIPS. LM324 – Low power quad operational amplifier. [S. l.], 2002. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/17871/PHILIPS/LM324.html>. Acesso em: 8 maio 2025.

PIASSAROLI, C. A. P.; ALMEIDA, G. C.; LUZIVOTTO, J. C.; SUZAN, A. B. B. M. Modelos de reabilitação fisioterápica em pacientes adultos com sequelas de AVC isquêmico. *Revista Neurociências*, São Paulo, v.20, n. 1, p. 128–137, 2012.

RASHID, A.; HASAN, O. Wearable technologies for hand joints monitoring for rehabilitation: A survey. *Microelectronics Journal*, v. 88, p. 173–183, 2018

ROCHA, I. J.; BRAVO, M. F. M.; SOUSA, L. M. M.; MESQUITA, A. C. N.; PESTANA, H. C. F. C. Intervenção do enfermeiro de reabilitação no ganho de equilíbrio postural na pessoa após acidente vascular cerebral: estudo de caso. *Revista Portuguesa de Enfermagem de Reabilitação*, Lisboa, v. 3, n. s1, p. 5-17, nov. 2020.

SAGGIO, G.; ORENGO, E. Flex sensor characterization against shape and curvature changes. *Sensors and Actuators A: Physical*, v. 273, p. 221-231, mai. 2018.

SANTOYO-RAMÓN, J. A.; CASILARI, E.; CANO-GARCÍA, J. M. A study of the influence of the sensor sampling frequency on the performance of wearable fall detectors . *Measurement*, v. 193, n. 3, p.110945, mar. 2022.

SPECTRASYMBOL. Flex sensor datasheet v2019a. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://cdn.sparkfun.com/assets/8/e/7/a/0/flex22.pdf>. Acesso em: 8 maio 2025.

Estratégias e recursos de Tecnologia Assistiva como facilitadores para as atividades de vida diária em crianças com transtorno do espectro autista

Ferreira, Kétlin C [*1]; Martinez, Rodrigo A[2]; Agnelli Martinez, Luciana B[3]

1 – Departamento de Terapia Ocupacional, UFSCar, ketlin@estudante.ufscar.br

2 – Departamento de Terapia Ocupacional, UFSCar, luagnelli@ufscar.br

3 – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - PPGEP, UFSCar, ramartinez@gmail.com

* -Correspondência: Rod. Washington Luís, km 235 - SP-310 - CDPRO-DEP-UFSCar - São Carlos - CEP 13565-905

DOI 10.52050/9788579177149-32

RESUMO

A carência de estudos sobre a indicação de Tecnologia Assistiva - TA nas Atividades de Vida Diária – AVDs com crianças com Transtorno do Espectro Autista, impulsiona discussões sobre a aplicabilidade de TA nos processos de intervenção da Terapia Ocupacional. Este estudo objetivou a investigação de recursos, estratégias, metodologias e práticas de Tecnologia Assistiva indicadas nas AVDs. Por meio de um questionário de pesquisa online, analisaram-se as respostas fornecidas por terapeutas ocupacionais. Os resultados demonstraram que as pistas visuais foram as mais indicadas. Os achados contribuem para maior embasamento no cuidado interdisciplinar de crianças com TEA.

Palavras-chave: tecnologia assistiva, terapia ocupacional, transtorno do espectro autista.

ABSTRACT

The lack of studies on the indication of Assistive Technology – AT in Activities of Daily Living – ADLs with children with Autism Spectrum Disorder, drives the discussion on the applicability of AT in the intervention processes of Occupational Therapy. This study aimed to investigate resources, strategies, methodologies and practices of Assistive Technology indicated in ADLs. Through an online research questionnaire, we analyzed the responses provided by occupational therapists. The

satisfactory results that visual bands were the most indicated. The findings found for greater support in the interdisciplinary care of children with ASD.
Keywords: *assistive technology, occupational therapy, autism spectrum disorder.*

1. INTRODUÇÃO

O termo Tecnologia Assistiva foi inserido na Lei Brasileira de Inclusão - LB1 nº 13.146, de 6 de julho de 2015, como um campo que engloba, recursos, estratégias, práticas, processos, produtos, métodos e serviços, com o objetivo de promover funcionalidade das pessoas com deficiência, mobilidade reduzida ou incapacidade, visando qualidade de vida, inclusão social, independência e autonomia (Brasil, 2015a; CAT, 2007).

A Tecnologia Assistiva representa, portanto, um campo em ascensão, que está sendo impulsionado pelo paradigma da inclusão social, que preconiza que a participação das pessoas com deficiência deve ser em diversos ambientes da sociedade (Galvão Filho, 2009).

Com a mudança de paradigma frente a centralidade de cuidado no sujeito e na família, a indicação de dispositivos de tecnologia assistiva, parte de uma perspectiva de envolvimento e capacitação da família como um todo, nesse processo de seleção e implementação, visando olhar a partir das necessidades, objetivos e capacidades individuais de cada usuário e da família e a partir de suas ocupações (Linhares, 2024).

Levando em consideração as crianças com risco ou atrasos no desenvolvimento, a tecnologia assistiva é, muitas vezes, um dos primeiros passos, que pode ser considerado, para que a criança tenha acesso à educação, a participação em esportes e outras situações da vida (WHO, 2022). Os diferentes recursos assistivos irão permitir que as crianças consigam explorar o mundo, estabeleçam relações e se engajem de forma mais ativa e funcional em suas ocupações (Agnelli Martinez; Lourenço, 2022; Murchland; Parkyn, 2010; WHO, 2022).

Os primeiros anos de vida, são períodos suscetíveis a diversas mudanças, é um período importante para se olhar para o acompanhamento do desenvolvimento infantil, para os fatores de risco, plasticidade neural e parentalidade (Soares et al., 2025).

A intervenção precoce e a implementação precoce de estratégias e dispositivos de tecnologia assistiva, pode ser o caminho, quando atrelado a esse conjunto de medidas de apoio, que visam promover oportunidades e fortalecer competências das crianças e das famílias que necessitam desse apoio especializado.

Atualmente com o crescente aumento do diagnóstico de crianças com Transtorno do Espectro Autista (TEA), sendo de 1 para 36 crianças, segundo o último relatório do Centers for Disease Control and Prevention (CDC, 2023). Surge a necessidade de olhar para as estratégias de cuidado dessa população, baseada principalmente nas singulares desse público, relacionado a dificuldades de interação social, comunicação, interesses restritos e alterações sensoriais, que afetam diretamente o engajamento e a participação na sociedade (Moraes; Nascimento; Tamarozzi, 2022).

No Brasil, existem estudos que retratam a indústria do autismo e o crescimento exponencial de diagnóstico, aumento de projetos de lei, produtos de consumo específicos para pessoas com autismo e uma grande discussão sobre a qualidade das intervenções (Fernandes et al., 2024). Levando em consideração uma prática baseada em evidências e que garanta as reais necessidades dessa população, são necessários estudos mais direcionados e maiores investigações sobre quais estratégias e recursos serão ofertados.

A indicação de tecnologia assistiva frente às demandas das crianças com TEA, tem sido associada pela literatura, as demandas relacionadas às rotinas de atividade de vida diária, e a participação no ambiente familiar e na escola (Pacienza; Pereira, 2021; Proença et al., 2019; Agnelli Martinez; Lourenço, 2022).

Os objetivos deste estudo foram principalmente mapear, recursos, estratégias e dispositivos de Tecnologia Assistiva indicados por terapetutas ocupacionais, nas ocupações de crianças com Transtorno do Espectro Autista, que aqui serão retratados principalmente os achados referente às Atividades de Vida Diária - AVDs.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este é um estudo transversal, exploratório e descritivo, que buscou investigar quais tipos de Tecnologia Assistiva estavam sendo indicados na prática clínica de Terapeutas ocupacionais, dentro das ocupações das crianças com Transtorno do Espectro Autista, por meio de uma abordagem qualitativa e quantitativa.

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de São Carlos, CAAE: 74315823.1.0000.5504, respeitando as prerrogativas da Resolução CNS nº 510 de 2016, na Resolução CNS nº 466 de 2012 e na Norma Operacional nº 001 de 2013 do CNS, da Comissão Nacional de Ética em Pesquisa, que versa sobre ética em pesquisa com seres humanos.

Participaram dessa pesquisa, terapeutas ocupacionais brasileiros que atuam com o público infantil com TEA. Para a coleta de dados, foi construído um instrumento de pesquisa, em formato de questionário, via Google Forms.

Para construção do questionário de pesquisa, foram realizados dois tipos de buscas bibliográficas: uma primeira ampla, entre os principais meios de divulgação de dados, periódico CAPES, Scielo, Medline e google acadêmico, sobre o uso de tecnologia assistiva com o público TEA, sem a especificação de aplicação por terapeutas ocupacionais; e uma segunda revisão bibliográfica, padronizada, considerando a triangulação dos dados da pesquisa - tecnologia assistiva, terapeutas ocupacionais e transtorno do espectro autista, cujos artigos selecionados serão apresentados na tabela 01.

Tabela 01 - Autores e artigos selecionados para revisão

Autores	Ano	Título
Bagatell N, Mirigliani G, Patterson C, Reyes Y, Teste L.	2010	Effectiveness of therapy ball chairs on classroom participation in children with autism spectrum disorders.
Huijnen CAGJ, Lexis MAS, Jansens R, de Witte LP.	2017	How to Implement Robots in Interventions for Children with Autism? A Co-creation Study Involving People with Autism, Parents and Professionals.
Huijnen CAGJ, Lexis MAS, Jansens R, de Witte LP.	2019	Roles, Strengths and Challenges of Using Robots in Interventions for Children with Autism Spectrum Disorder (ASD).
Collette D, Brix A, Brennan P, DeRoma N, Muir BC.	2019	Proloquo2Go Enhances Classroom Performance in Children With Autism Spectrum Disorder.
Júnior, A.D.F; Leão, Larissa, Leão I; Alcantara, R.	2022	Tecnologia assistiva como acessório facilitador ao aprendizado do violoncelo de pessoas com autismo.
Agnew Z, Callaway L, Lalor A, Peart A, Bould E.	2023	Having the dog as part of our family gives us hope': Experiences of the impact of assistance dogs on the occupational engagement of children with autism and their families.

Os artigos encontrados trouxeram perspectivas diversas sobre o uso de tecnologia assistiva com crianças com transtorno do espectro autista e o papel contribuinte da terapia ocupacional, o uso de robos e sotfwares foram os mais citados, mas apareceram descrições sobre a recomendação de recursos e estratégias sensoriais e o uso de cães auxiliares. Os profissionais de terapia ocupacional participaram de diversas maneiras no processo de indicação, como principal indicador, mas também como participante no processo de confecção e ou orientação.

Após avaliação de 4 juízes, terapeutas ocupacionais da área e docentes que discutem o assunto, o questionário contou com 26 questões, organizadas

entre perguntas fechadas (com alternativas de resposta) e questões abertas (dissertativas).

Visando alcançar terapeutas ocupacionais de diferentes regiões do Brasil, a pesquisa adotou o modelo de amostragem denominado *Bola de Neve Virtual* (Costa, 2018). Este método consiste no envio do link de acesso ao questionário por meio de uma rede social, onde pode ser compartilhado com a rede de contato de quem recebeu a mensagem, quem recebe se torna um vetor do conteúdo.

Houveram nesse sentido, divulgações públicas, por meio das principais redes sociais e por meio de 8 sementes que pudessem ser o vetor de divulgação a outros terapeutas ocupacionais. Além disso, houve divulgação por meio dos Conselhos Regionais de Fisioterapia e Terapia Ocupacional e Rede Nacional de Ensino e Pesquisa em Terapia Ocupacional.

Os dados foram analisados por meio de estatística descritiva, que analisou de maneira exploratória os dados, tabulando e aplicando em recursos visuais e por meio de análise de conteúdo, a partir do relato dos participantes, que categorizam os principais padrões de resposta e a frequência em que cada categoria apareceu.

3. RESULTADOS

Esse artigo é resultado de uma pesquisa de mestrado intitulada "Ocupações com indicação de Tecnologia Assistiva em crianças com Transtorno do Espectro Autista por Terapeutas Ocupacionais", desenvolvida no programa de Pós Graduação em Terapia Ocupacional da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

O recorte dado a essa pesquisa, evidencia a relevância e diversidade das estratégias e dispositivos de tecnologia assistiva (TA) utilizados no contexto da Terapia Ocupacional, especialmente nas Atividades de Vida Diária (AVDs) para com as crianças com (TEA).

Participaram desta pesquisa com uma amostra de 37 terapeutas ocupacionais, majoritariamente concentrados no estado de São Paulo e Minas Gerais, distribuídos principalmente entre 20 a 40 anos de idade, com 56,8% apresentando formação acadêmica de Pós-graduação Lato Sensu e atuando principalmente em clínicas particulares e no setor privado em planos de saúde.

Em relação à faixa etária de atuação dos terapeutas ocupacionais, 34 participantes responderam que atuam dentro da faixa etária de 1 a 12 anos e 3 responderam que atuam apenas com crianças de 7 a 12 anos, é possível observar uma predominância abrangente de atuação, que considere a primeira infância e a intervenção precoce, bem como a fase escolar.

Considerando investigar dentro da ocupação das Atividades de Vida Diária – AVDs, quais os dispositivos de tecnologia assistiva indicados, foi necessário selecionar quatro atividades principais para investigação, sendo: banho, higiene, alimentação e vestuário. A tabela 02 mostra as estratégias de tecnologia assistiva que foram mais indicadas dentro de cada AVD.

Tabela 02 - Estratégias de Tecnologia Assistiva mais indicadas dentro de cada AVD

Tecnologia Assistiva	Banho	Higiene	Alimentação	Vestuário
Estratégias				
Pistas visuais com as sequências de etapas	81%	91%	56%	83%
Mudança na estratégia de realização	72%	83%	86%	45%
Recursos e estratégias para comunicação	67%	81%	67%	64%
Oferta de espaços e estratégias para autorregulação	51%	54%	45%	64%

É possível evidenciar que as pistas visuais foram as estratégias mais recomendadas pelos terapeutas ocupacionais, ainda se destaca o fato de que para a AVD de higiene essa recomendação chegou a 91% dos casos, o que não ocorreu com as demais AVDs. As mudanças na estratégia de realização se apresentaram como a segunda maior indicação, principalmente para AVD de alimentação. As demais estratégias, foram amplamente indicadas, no entanto, existe uma prevalência importante que deve ser considerada.

Em relação aos dispositivos recomendados é possível observar quais obtiveram destaque na tabela 03.

Tabela 03- Dispositivos de Tecnologia Assistiva mais indicados dentro de cada AVD

Banho	Higiene	Alimentação	Vestuário
Dispositivos			
62% mobiliário específico e adaptações	83% mobiliário específico e adaptações	70% adaptação de copo	78% calçados com adaptações
59% utensílios e acessórios para banho	72% utensílios e acessórios para higiene oral	67% adaptação de talheres e pratos	64% roupas com características específicas

A AVD que obteve mais indicações de dispositivos específicos foi a de higiene com 83% referente à mobiliários específicos, seguida do vestuário com 78% de indicações de calçados com adaptações. A higiene tem se destacado dentre as atividades de vida diária, com recomendação de TA, podendo estar principalmente relacionada às demandas familiares trazidas, sobre o desfralde, uso do vaso sanitário e problemas sensoriais relacionada a higiene íntima, sanitária e oral das crianças com TEA.

Considerando a complexidade e a variedade de dispositivos, serviços e estratégias que compõem a área de Tecnologia Assistiva, a pesquisa coletou dados, sobre qual das categoriais seguindo o referencial teórico de Bersch (2017), se enquadraria como a mais indicada, os resultados trouxeram que a categoria de "auxílios para a vida diária e prática", obtiveram 97,3% das recomendações, seguida da categoria de "comunicação aumentativa e alternativa" com 83,8%. Esse dado evidencia, a importância que a TA, tem se apresentado para independência e autonomia de crianças com TEA, principalmente para o desempenho em suas AVDs.

Dentro do questionário, também foram elencados perguntas abertas, para absorver exemplos de TA, trazidos pelos próprios participantes, o que ficou evidenciado foi que muitas das manifestações se mantiveram semelhantes aos exemplos dados na coleta de dados, com exceção dos exemplos dados no processo de mudança na estratégia de realização da alimentação, apresentando como: uso de bola no lugar da cadeira, uso de disco de equilíbrio, previsibilidade sobre o alimento e tempo de refeição, bem como evitar distrações.

Para a higiene os exemplos que se diferenciam, foi a indicação de tapete antiderrapante e esponjas modificadas, bem como variação na apresentação do sabonete, shampoo e condicionador, por meio de dosadores e versões sem cheiro.

4. DISCUSSÃO

Dentre as AVDs investigadas — banho, higiene, alimentação e vestuário — destaca-se a higiene como a área com maior indicação de TA, tanto em estratégias (91% de uso de pistas visuais) quanto em dispositivos (83% indicaram mobiliário específico), possivelmente devido à complexidade dessa atividade no cotidiano das crianças com TEA e à frequência das demandas familiares sobre desfralde, uso do vaso sanitário e higiene íntima.

As pistas visuais foram a estratégia mais amplamente recomendada, evidenciando sua eficácia na promoção da compreensão de rotinas e na autonomia infantil. A categoria de "auxílios para a vida diária e prática" foi a mais indicada (97,3%), demonstrando que os recursos voltados ao cotidiano

têm sido fundamentais na prática clínica. A presença de sugestões abertas por parte dos participantes reforça a importância dos profissionais ao se adaptar às necessidades de cada criança, como o uso de bolas para sentar durante a alimentação ou a adaptação sensorial de produtos de higiene.

Tais achados ressaltam não apenas o protagonismo da TA no cuidado de crianças com TEA, mas também a necessidade contínua de formação profissional, acesso a recursos e escuta das famílias para garantir práticas mais efetivas e individualizadas.

A definição de Tecnologia Assistiva adotada nesse estudo, está diretamente vinculada à promoção de funcionalidade e não de buscar a modificação do indivíduo, o recurso deve ser usado pelo usuário e não como um recurso profissional (Bersch, 2017).

Principalmente no público com TEA, a tecnologia assistiva, tem sido mencionada de forma a melhorar o desenvolvimento da criança, para possibilidade o desenvolvimento de habilidades, no entanto, busca-se com esse estudo, discutir o uso da tecnologia assistiva com crianças com TEA, como um elemento facilitador para as atividades de participação, visando autonomia e independência (Agnelli Martinez; Lourenço, 2022; Bastos et al, 2023; Bersch, 2014; CIF/OMS, 2003; WHO/UNICEF, 2022).

Para acolher essa diversidade das crianças com TEA, e promover autonomia e independência, bem como acesso e engajamento nas ocupações é necessário considerar os contextos, perfis, história e experiências prévias (Barreto et al, 2021; Linhares, 2024).

É essencial também considerar os distintos níveis de apoio que essas crianças podem demandar (Ratuchne et al., 2024), visto que, apesar de todas se enquadrarem nos critérios do TEA, manifestam combinações variadas de sintomas e necessidades (Moraes; Nascimento; Tamarozzi, 2022).

Nesse sentido, considerando a importância do contexto, ao olharmos para indicação, acompanhamento e implementação de uma tecnologia assistiva, é importante priorizar a dinâmica familiar e suas principais demandas.

Segundo uma pesquisa realizada, uma das principais metas de intervenção de pais americanos de crianças com TEA, é o ganho de independência nas AVDs (Schaaf et al., 2013). O que justifica e corrobora com os achados do estudo, que pontuaram a indicação de dispositivos e estratégias em todas as AVDs investigadas.

Segundo um estudo de Vitorino (2014), crianças de 3 a 5 anos com diagnóstico de TEA, apresentaram principalmente prejuízos na capacidade de executar habilidades de autocuidado, como por exemplo: tarefas de higiene pessoal, ir ao banheiro e se vestir, relacionadas a dificuldades sensoriais e motoras.

Sendo assim, novamente os estudos confirmaram que a AVD de higiene se destaca dentre as atividades com demanda de intervenção de terapia ocupacional, que apresenta maior necessidade de investimento por parte dos profissionais de saúde.

5. CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo investigar a prática clínica de terapeutas ocupacionais na indicação de recursos de Tecnologia Assistiva (TA) para crianças com Transtorno do Espectro Autista (TEA), com foco nas Atividades de Vida Diária (AVDs). A partir da análise dos dados coletados, foi possível constatar que as estratégias de TA mais utilizadas concentram-se na promoção da independência, funcionalidade e participação da criança em seu cotidiano, sendo as pistas visuais, as mudanças nas estratégias de realização e os recursos para comunicação os mais frequentemente recomendados. A AVD de higiene se destacou com maior número de indicações, o que reforça sua complexidade e as demandas sensoriais frequentemente relatadas pelas famílias.

Os dados trouxeram que os dispositivos de TA mais indicados também estão diretamente relacionados ao desempenho nas AVDs, com destaque para o mobiliário adaptado, utensílios específicos e adaptações de vestuário. A predominância da categoria "auxílios para a vida diária e prática" demonstra a relevância da TA na promoção da autonomia e da funcionalidade, sem o foco em modificar o indivíduo, mas sim em criar condições favoráveis à sua participação plena.

Além disso, é necessário destacar que o envolvimento da família e a escuta de suas necessidades são elementos fundamentais para o sucesso na seleção e uso dos recursos assistivos. As adaptações dos profissionais diante dos desafios individuais de cada criança foram evidenciadas, reforçando a importância da formação continuada e do trabalho interdisciplinar. O estudo também reforça que a indicação da TA deve considerar as singularidades do desenvolvimento infantil, o contexto social e familiar, e os diferentes níveis de suporte que a criança com TEA pode requerer.

Como contribuição, esta pesquisa amplia a compreensão sobre o papel da terapia ocupacional na inclusão de crianças com TEA por meio da TA, destacando sua aplicabilidade prática e o potencial de transformar experiências cotidianas em oportunidades de desenvolvimento e autonomia. Para a área da saúde, reafirma-se a importância da intervenção precoce e centrada na família, enquanto para o campo da tecnologia assistiva, evidencia-se a necessidade de recursos acessíveis, versáteis e sensíveis às realidades culturais e sociais.

Os limitantes desta pesquisa, envolvem o número de participantes, bem como a dificuldade de acessar os terapeutas ocupacionais, faz se necessário maior aprofundamento sobre cada indicação, recomenda-se a ampliação desta amostra, além de uma possível investigação a longo prazos dos efeitos da TA no desempenho funcional das crianças em cada AVD.

Além disso, seria relevante explorar a criação de protocolos colaborativos entre terapeutas ocupacionais, famílias e outros profissionais da educação e saúde, visando maior eficácia na escolha, adaptação e implementação dos recursos assistivos.

REFERÊNCIAS

AGNELLI MARTINEZ, L. B.; LOURENCO, G. F. Apontamentos sobre Tecnologia Assistiva (TA) para a prática da Terapia Ocupacional na Infância. Capítulo 6. In: FIGUEIREDO, M. O. *Terapia Ocupacional no Ciclo de Vida da Infância: histórico, proposições atuais e perspectivas futuras*. 1ed. São Paulo: Editora Memnon, 2022, p. 81-95.

BRASIL. Secretaria Geral. Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. *Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência* (Estatuto da Pessoa com Deficiência). Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2015. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm. Acesso em 30 jan. 2025.

BASTOS, P. A. L. S., SILVA, M. S., RIBEIRO, N. M., MOTA, R. S., GALVÃO FILHO, T. Tecnologia assistiva e políticas públicas no Brasil. *Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional,* 31, e3401, 2023.

BARRETO, M. C. A.; ANDRADE, F. G.; CASTANEDA, L.; CASTRO, S. S. A Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde (CIF) como dicionário unificador de termos. *Acta Fisiatr*, v. 28, n 3, 2021. p. 207-213.

BERSCH, R. *Introdução à tecnologia assistiva.* Porto Alegre: (Assistiva/Tecnologia da Educação), p.20, 2017. Disponível em: https://www.assistiva.com.br/Introducao_Tecnologia_Assistiva.pdf

BERSCH, R. C. R. Tecnologia assistiva ou tecnologia de reabilitação? In*: Centro de tecnologia e informação - CTI Renato Archer.* I Simpósio Internacional de Tecnologia Assistiva - / [Centro Nacional de Referência em Tecnologia Assistiva-CTI Renato Archer]. – Campinas-SP: CNRTA-CTI, 2014.— 2014, p. 45-50.

CDC - CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. Prevalence of Characteristics of Autism Spectrum Disorder Among Children Aged 8 Years – *Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network*, 11 sites, United States, v. 72, n.2, 2023.

CIF: Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde [Centro Colaborador da Organização Mundial da Saúde para a Família de Classificações Internacionais, org.; coordenação da tradução Cassia Maria Buchalla]. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo – EDUSP; 2003.

FERNANDES, A.D.S.A.; COUTO, M.C.V.; ANDRADA, B.C.; DELGADO, P.G.G. *A "indústria" do autismo no contexto brasileiro atual: contribuição ao debate*. Material Técnico, 2024.

GALVÃO FILHO, G. T. A. Tecnologia Assistiva: de que se trata? In: MACHADO, G. J. C.; SOBRAL, M. N. (Orgs.). Conexões: educação, comunicação, inclusão e interculturalidade. *Porto Alegre: Redes Editora*, p. 207-235, 2009.

LINHARES, B. M. R. *Satisfação da família e requisitos para o desenvolvimento de dispositivos de tecnologia assistiva para a mobilidade infantil*. Dissertação (mestrado). Programa de Pós- Graduação em Terapia Ocupacional. Universidade Federal de São Carlos, 2024.

MORAES,G.T.G; NASCIMENTO,L.R; TAMAROZZI,G.A. Marcos do desenvolvimento infantil e sua relação com o diagnóstico precoce de transtorno do espectro autista. *Revista Humanidade e Inovação*, Palmas –TO, v9, n24, 2022.

MURCHLAND, S.; PARKYN, H. Using assistive technology for schoolwork: the experience of children with physical disabilities. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, v. 5, n. 6, p. 438–447, 7 maio 2010.

PACIENZA, M. C.; PEREIRA, A. A. de S. Tecnologia assistiva para o desenvolvimento de crianças com transtorno espectro autista. *EaD & Tecnologias Digitais na Educação*, [S. l.], v. 9, n. 11, p. 160–174, 2021. DOI: 10.30612/eadtde.v9i11.16103. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/ead/article/view/16103. Acesso em: 12 jun. 2023.

PROENÇA, M. F; MORAES FILHO, I.M; SANTOS, C.C.T; RODRIGUES, T.P.R; CANGUSSU, D.D.D; SOUTO, O.BA tecnologia assistiva aplicada aos casos de Transtorno do Espectro do Autismo (TEA). *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, São Paulo, v. supl., n. 31, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.25248/reas.e541.2019. Acesso em: 10 maio 2025

RATUCHNE, P. A. O.; MUNHOZ, M. L. L.; BARBY, A. A. O. M.; SILVA, R. T. M.; SCARIOTT, G. C. Estudo de revisão sobre a Tecnologia Assistiva no ensino de crianças com Transtorno do Espectro Autista (TEA). *Ensino & Pesquisa,* União da Vitória, v. 22, n.1, 2024. p. 116-130. Disponível em: https://doi.org/10.33871/23594381.2024.22.1.9107. Acesso em: 20 jan 2025.

SOARES, L. G.; TOMÉ, S. S.; ABREU, I. S.; LENTSCK, M. H.; BARATIERI, T.; SAUKA, J. M.; VIANA, I. B.; MICHALCZYSZYN, K. C. Adverse childhood experiences among high-risk children living in socially vulnerable areas. ***Revista Brasileira de Enfermagem,*** Brasília, v. 78, Supl. 2, p. e20240247, 17 mar. 2025. DOI: 10.1590/0034-7167-2024-0247. Disponível em: acesso via SciELO/PMC .

SCHAAF.R.C; BENEVIDES T; MAILLOUX,Z; HUNT, J; HOOYDONK, E.V; FREEMAN, R; LEIBY, B; SENDECKI, J; KELLY, D. An Intervention for Sensory Difficulties in Children with Autism: A Randomized Trial, *Journal of Autism and Developmental Disorders,* 2013, DOI: 10.1007/s10803-013-1983-8

VITORINO, M. S. *Perfil funcional e sensorial de crianças com autismo: implicações para a terapia ocupacional*. 2021. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Terapia Ocupacional) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021. Disponível em: Repositório Institucional UFPB.

WHO/UNICEF-World Health Organization and the United Nations Children's Fund (Unicef). *Global report on assistive technology.* ISBN (WHO) 978-92-4-004945-1 (electronic version). 2022. Disponível em: https://www.unicef.org/oman/reports/global-report-assistive-technology. Acesso em: 01 out 2024.

Guia de análise e orientação das necessidades para o uso de tecnologia assistiva

Reis, Lucas Santos[*1]; Batista, Mariane de Jesus[2]; Souza, Nilmar de[3]; Brito, Leandro Santos[4]; Galvão, Nelma de Cássia Silva Sandes [5], Mota, Renata Sousa[6]

1 – Brailista, UFRB, lucasreis@ufrb.edu.br
2 – Graduanda em Engenharia de Tecnologia Assistiva e Acessibilidade, UFRB, marianebatista@aluno.ufrb.edu.br
3 – Professor Adjunto, UFBR, nilmar@ufrb.edu.br
4 – Professor Adjunto, UFBR, lbsantos@ufrb.edu.br
5 – Professora Associada, UFRB, nelma.galvao@ufrb.edu.br
6 – Professora Adjunta, UFRB, renatamota@ufrb.edu.br
* -Correspondência: Rua General Mendes Pereira, 339, Ponto Central, Feira de Santana, Bahia, Brasil, 44075-355.

DOI 10.52050/9788579177149-33

RESUMO

A pesquisa propõe um guia para analisar as necessidades do usuário ao uso de tecnologia assistiva (TA), auxiliando os profissionais na indicação e orientação do uso desses recursos. A metodologia incluiu revisão bibliográfica e análise de instrumentos existentes. O guia foi elaborado em seis blocos com base na Estrutura da *Wisconsin* AT, visando reduzir o abandono de (TA), causado pela falta de capacitação profissional. Apesar da escassez de publicações, a pesquisa contribui para o aprimoramento da análise na área e enfatiza a importância de uma abordagem interdisciplinar e centrada no usuário, incorporando características como modelagem empática e linguagem menos formal.
Palavras-chave: Guia de avaliação, Tecnologia Assistiva, Pessoa com deficiência.

ABSTRACT

This research proposes a guide for analyzing user needs concerning the use of assistive technology (AT). *The aim is to support professionals in recommending and guiding the use of these resources. The methodology involved a bibliographic review and an analysis of existing instruments. The guide, structured into six blocks based on the Wisconsin AT Framework, was developed to reduce AT abandonment, often caused by a lack of professional training. Despite the scarcity of relevant publications, this research contributes to improving analysis within the field and*

emphasizes the importance of an interdisciplinary and user-centered approach, incorporating features such as empathetic modeling and less formal language.
Keywords: *Evaluation Guide, Assistive Technology, Person with Disability.*

1. INTRODUÇÃO

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estimou, em 2021, que 15% da população mundial apresenta algum tipo de deficiência. No Brasil, dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), obtidos por meio da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua), indicaram que, em 2022, esse número alcançou 18,6 milhões de pessoas. Observa-se que o aumento da longevidade da população está diretamente associado à elevação da incidência de doenças degenerativas e deficiências. Esse cenário tem impulsionado pesquisadores de diversas áreas do conhecimento, especialmente aquelas relacionadas à tecnologia e à saúde, a aprofundarem seus estudos na busca de soluções que minimizem as barreiras enfrentadas por esse público no cotidiano, promovendo maior autonomia, independência e segurança (FREITAS *et al.*, 2023).

Em diferentes situações, essas soluções estão diretamente ligadas à área da Tecnologia Assistiva (TA), que possui a caraterística interdisciplinar para buscar os produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que melhoram as oportunidades de participação e a qualidade de vida de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida (GALVÃO FILHO *et al.*, 2009).

O uso de um recurso de TA traz benefícios socioeconômicos ao reduzir os custos diretos de saúde, apoio social e ao melhorar o acesso dos usuários ao trabalho, o que indiretamente estimula o crescimento econômico (BARBET *et al.*, 2022). Porém, sabe-se que indivíduos que não têm acesso a esses recursos de forma adequada, são menos saudáveis, mais isolados e com menor qualidade de vida (ZORRILLA *et al.*, 2022).

Nos países ocidentais, a taxa de abandono dos recursos de TA é estimada em um terço após um ano de utilização. A comunidade científica que aborda sobre a temática de abandono dos produtos de TA entende que esse acontecimento é resultado de uma interação complexa entre quatro fatores principais: (1) fatores individuais (idade, sexo,diagnóstico, auto expectativas, expectativas do grupo social, aceitação da deficiência, maturidade emocional/motivação interna, progressão da incapacidade, gravidade da incapacidade, mudança na gravidade da incapacidade, uso de múltiplos dispositivos); (2) fatores ligados à qualidade e aparência do dispositivo; (3) fatores relacionados ao ambiente de uso (apoio do grupo social, obstáculos físicos, presença de oportunidades, procedimentos de

mercado para dispositivos); (4) fatores relacionados à intervenção profissional (consideração da opinião dos usuários, instrução e treinamento, processo correto de provisionamento e instalação, duração do prazo de entrega, acompanhamento do serviço) (BARBET *et al*., 2022).

Essas observações levam a compreender que os dispositivos de TA não são adaptados ou construídos para atender às necessidades dos usuários, corroborando para o aumento das taxas de abandono que, não pode ser combatida por abordagens e métodos convencionais, como por exemplo, os modelos tradicionais de desenvolvimento e avaliação de produtos, pois a maioria dos produtos de TA, são construídos de forma para atender singularidades dos seus usuários.

Um processo de avaliação/análise bem direcionada pode ajudar a determinar quais tecnologias são mais apropriadas e eficazes para atender às necessidades de tarefas em contextos específicos. O ideal é que as avaliações sejam conduzidas de forma a identificar e avaliar todas as habilidades, necessidades e rotinas em que os produtos de TA serão utilizados, como também, uma investigação sobre o contexto psicossocial da aplicação da tecnologia e seu impacto na inclusão social e no bem-estar do usuário (DIRKS *et al*, 2022). Esse processo de união entre os dispositivos assistivos e as pessoas é um processo complexo e requer a colaboração de diferentes profissionais. É importante a presença de diversas áreas de conhecimento, da saúde, da educação, profissionais da área da informática e engenharia, dentre outros, para que juntos consigam indicar e orientar o melhor recurso de TA para o usuário.

Para realizar uma análise de forma mais segura, objetiva e bem direcionada, surge no Brasil em 2018 a formação em ensino superior em Engenharia de Tecnologia Assistiva e Acessibilidade (ENGTAA) em que, além da formação geral na engenharia, este curso interdisciplinar é direcionado ao desenvolvimento de produtos e serviços voltados para a atividade e participação de pessoas com deficiência, promovendo mais acessibilidade para a sociedade.

A falta de informação do usuário e treinamento para os profissionais de TA podem ser considerados como os principais problemas que colaboram com o abandono dos recursos de TA. Diante disso, esta pesquisa tem como objetivo desenvolver um guia de análise para indicar e orientar o uso de um recurso de tecnologia assistiva. Espera-se que os resultados desse trabalho possam contribuir positivamente para o conhecimento dos profissionais de recursos de tecnologia assistiva e amenizar a taxa de abandono dos produtos de TA.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa caracteriza-se como exploratória, visando o aprimoramento de ideias e a ampliação da compreensão sobre o problema investigado. Sua abordagem permite maior familiaridade com a temática, tornando-a mais explícita e acessível à análise. O planejamento desse tipo de investigação apresenta flexibilidade, possibilitando a consideração de múltiplos aspectos relacionados ao objeto de estudo. Apesar dessa maleabilidade, pesquisas exploratórias frequentemente assumem a forma de revisão bibliográfica ou estudo de caso (GIL, 2008).

Com base nessa perspectiva, adotou-se a pesquisa bibliográfica exploratória, estruturada em cinco etapas: (1) revisão bibliográfica na base de dados *Web of Science*; (2) leitura e análise crítica dos artigos selecionados; (3) avaliação de instrumentos existentes para análise; (4) aplicação da matriz morfológica como ferramenta de estruturação; e (5) desenvolvimento do guia de avaliação proposto.

Na primeira etapa de revisão bibliográfica das ferramentas de avaliação, foi constituída por uma pesquisa bibliográfica com abordagem qualitativa para identificar e analisar as diferentes formas de se avaliar as necessidades do usuário para o uso de produtos de TA. A pesquisa aconteceu entre janeiro de 2024 a março de 2024, definida por um recorte temporal dos últimos 5 anos (2019-2024) na base de dados *Web of Science* com as palavras- chaves previamente selecionadas: "Avaliação de TA", "Recomendação de TA"; "Guia de TA"; "Protocolo de TA" e "*Design Thinking* e TA".

Na segunda etapa, ocorreu a leitura dos artigos encontrados no repositório, onde foram selecionados a partir da leitura prévia de seus títulos e resumos, afunilando os resultados encontrados para aqueles que tinham maior afinidade com tema por apresentar seus modelos ou processos de avaliação, bem como suas fichas de avaliação de forma gratuita, o que possibilita a análise desses instrumentos de avaliação de recursos de TA, que fez parte da etapa 3.

Na terceira etapa, os instrumentos de avaliação encontrados nos artigos foram analisados através da leitura na íntegra de seus documentos, para maior compreensão de como os profissionais de TA realizavam esse processo de avaliação. A partir dessa leitura, foram selecionadas as características importantes e em comuns entre os instrumentos avaliativos e inseridos em ambiente virtual para projetos (*Miro*), possibilitando uma melhor visualização daquilo que foi analisado.

Na quarta etapa contou com o alinhamento de todas as características dos artigos das etapas anteriores, através do uso da matriz morfológica, uma ferramenta que tem o objetivo de identificar, indexar, contar e parametrizar o conjunto de todas as possíveis alternativas para se alcançar o objetivo

determinado (ZWICKY, 1948 *apud* ZAVADIL *et al*, 2014). Na quinta etapa ocorreu com o auxílio dessa ferramenta foram reunidos os requisitos necessários para o guia de análise, obtidos através das experiências dos profissionais de TA no mundo com seus modelos de avaliação e das primeiras experiências dos discentes do curso de Engenharia de TA, dando forma a primeira versão do guia de análise.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As buscas na base *Web of Science* foram realizadas utilizando descritores em inglês, com a aplicação de filtros regionais para identificar publicações nacionais, dado que a base reúne trabalhos de todo o mundo. Além disso, foi aplicado um filtro temporal, considerando apenas publicações dos últimos cinco anos. A busca inicial resultou em 1816 trabalhos, dos quais, após a leitura dos títulos e resumos, 1786 foram excluídos por não possuírem acesso aberto ou por não apresentarem afinidade direta com os objetivos da pesquisa, restando 30 artigos para leitura na íntegra.

Após a análise completa desses 30 artigos, seis foram selecionados para a construção do guia. Esses trabalhos demonstraram total coerência com o tema da pesquisa e apresentavam, em seu escopo, instrumentos de avaliação utilizados em estudos anteriores, proporcionando uma visão abrangente das contribuições existentes. A análise desses artigos permitiu a identificação dos melhores indicadores para um processo avaliativo ideal, garantindo a escolha do recurso de tecnologia assistiva mais adequado ao usuário. A seguir, são listados os trabalhos escolhidos: 1. *20 years of the Loughborough user centered assistive technology design process: has it made a difference* (TORRENS e ASGHARV, 2023); 2. *Assessment and counseling to get the best efficiency and effectiveness of the assistive technology* (MATCH): *Study protocol* (GARCÍA *et al*, 2022); 3. Adaptação transcultural do quadro de estruturação para a modelagem conceitual de resultados de dispositivos de tecnologia assistiva para o português (BARROS e LACNMAN, 2020); 4. *Basic principles for the development of an AI-based tool for assistive technology decision making* (RAN, BANES e SCHERER, 2020); 5. *The Development of an Interview Questionnaire and Guide for the Sustainable Use of Assistive Devices among the Disabled in Korea* (RO *et al*, 2023) e 6. *Wisconsin Assistive Technology Initiative framework for supporting assistive technology decision-making in Singapore schools: perspectives of in-service educators* (WONG e LEE, 2021).

A leitura dos artigos teve como objetivo compreender o processo de avaliação e orientação de dispositivos assistivos, identificando os pontos essenciais para se obter uma análise bem-sucedida. Com a finalização dessa etapa foram pontuadas

as principais características observadas nos instrumentos de avaliação selecionados. Os principais pontos foram organizados na Tabela 01 abaixo:

Tabela 01 - Principais pontos dos instrumentos de avaliação.

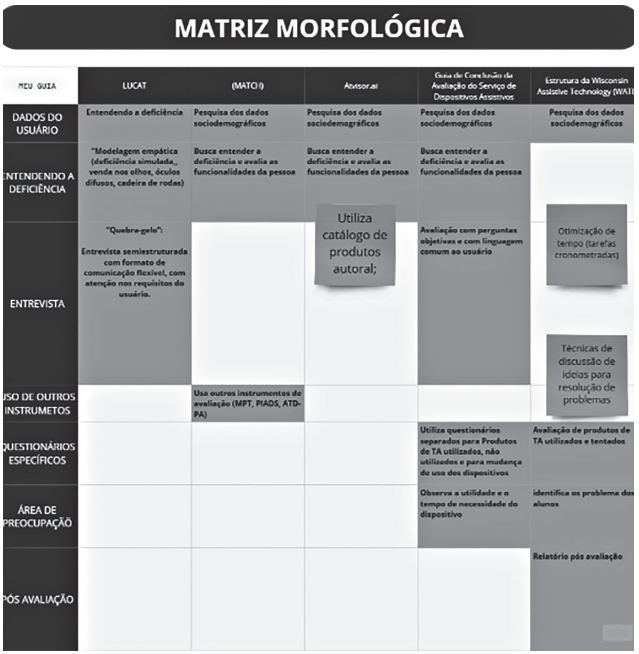
Avaliação e aconselhamento para obter a melhor eficiência e eficácia da Tecnologia Assistiva (MATCH)
• Pesquisa dos dados sociodemográficos; • Busca entender a deficiência e avalia as funcionalidades da pessoa; • Usa outros instrumentos de avaliação (MPT, PIADS, ATD-PA).
Atvisor.ai
• Pesquisa dos dados sociodemográficos; • Busca entender a deficiência e avalia as funcionalidades da pessoa; • Utiliza catálogo de produtos autoral; • Compra facilitada dentro da plataforma; • Disponibilidade de especialista para complementar a avaliação.
Guia de Conclusão da Avaliação do Serviço de Dispositivos Assistivos
• Pesquisa dos dados sociodemográficos; • Busca entender a deficiência e avalia as funcionalidades da pessoa; • Utiliza questionários separados para Produtos de TA utilizados, não utilizados e para mudança de uso dos dispositivos; • Observa a utilidade e o tempo de necessidade do dispositivo; • Avaliação com perguntas objetivas e com linguagem comum ao usuário.
Estrutura da Wisconsin Assistive Technology (WATI)
• Pesquisa dos dados sociodemográficos; • Área de preocupação: identifica os problemas dos alunos; • Técnicas de discussão de ideias para resolução de problemas; • Relatório pós avaliação; • Otimização de tempo (tarefas cronometradas); • Avaliação de produtos de TA utilizados e tentados.

Fonte: Autoral, 2024

A matriz morfológica consiste em uma tabela na qual a primeira coluna vertical contém as características gerais e atributos (partes, funções) que são relevantes para o problema e as linhas horizontais contém as alternativas para cada atributo ou função (OSTERTAG *et al*, 2012 *apud* ZAVADIL *et al*, 2014). Desse modo, aplicou-se a matriz morfológica composta pelos pontos importantes dos

instrumentos analisados. Através do ambiente virtual *Miro*, foi projetada a matriz morfológica.

Figura 01 - Matriz Morfológica.



Fonte: Autoral, 2024

No primeiro momento selecionou-se quais as funções em comum com os outros instrumentos que poderiam ser inseridas no guia, são elas: “Dados do usuário”, “Entendendo a deficiência”; “Entrevista”; “Uso de outros instrumentos”; “Questionário específicos”; “Área de preocupação” e “Pós avaliação”, que fazem parte da primeira coluna da matriz. As outras colunas foram preenchidas com as características importantes dos instrumentos selecionados. Alguns destaques em azul trazem características consideradas importantes dentro de um processo de análise, mas que foram muito específicos de determinados trabalhos.

Os “dados dos usuários” se mostram com unanimidade entre os instrumentos, visto que é a introdução para se conhecer a pessoa na qual será entrevistada, como também contribui para compreender a deficiência. Nesse sentido, o processo LUCAT traz uma abordagem “Modelagem empática” que contribui com o processo de desenvolvimento do produto de TA, onde os profissionais assumem o lugar da pessoa com deficiência, de forma fictícia, vivenciando suas

dificuldades e barreiras, para um melhor entendimento daquilo que está sendo exposto.

Outra característica observada é o tipo de linguagem usada na análise. Uma linguagem menos formal e mais próxima da realidade dos usuários, possibilita o desenvolvimento de uma relação de confiança entre os profissionais e os indivíduos entrevistados, melhorando a comunicação na análise, facilitando a chegada na "área de preocupação", onde são identificados os problemas existentes do usuário e a partir disso, os profissionais começam a traçar as resoluções, seja para desenvolver um produto ou indicá-lo.

Apesar de ser observado em menor quantidade, a etapa de pós análise é de grande importância para o sucesso do processo de análise e orientação do uso de um recurso de TA, sabendo que nesta etapa, se atesta as relações positivas ou negativas entre o usuário e o seu produto assistivo.

Com base nas análises realizadas, iniciou-se a elaboração do guia de análise e orientação para o uso de recursos de tecnologia assistiva (TA), fundamentado nos instrumentos de avaliação pesquisados mundialmente e nas experiências vivenciadas pelos discentes do curso de Engenharia de Tecnologia Assistiva e Acessibilidade. A próxima seção apresentará o guia desenvolvido.

O Guia de Análise e Orientação das Necessidades para o Uso de Tecnologia Assistiva surge como resultado da sistematização dos principais aspectos investigados, alinhando-se à realidade brasileira e aos conhecimentos adquiridos na formação acadêmica em Engenharia de Tecnologia Assistiva e Acessibilidade. Destaca-se como singularidade desta pesquisa a escassez de estudos específicos sobre o tema, o que reforça sua originalidade no campo da Tecnologia Assistiva e Acessibilidade. Dessa forma, o guia constitui um instrumento importante para profissionais, estudantes e docentes da área, oferecendo uma abordagem prática para o processo de análise e implementação de recursos assistivos.

A Estrutura da *Wisconsin Assistive Technology* (WATI) foi escolhida como base para o guia de análise e em seguida foram adicionados caraterísticas dos outros instrumentos vistos na matriz morfológica: modelagem empática, linguagem menos formal e escuta ativa (LUCAT); uso de outros questionários (MATCH) e uma preparação antes do momento da análise. Cada instrumento estudado contribuiu positivamente para a estruturação do guia apressado a seguir:

4. GUIA DE ANÁLISE E ORIENTAÇÃO DAS NECESSIDADES PARA O USO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA

A análise e/ou orientação para o uso de um recurso de tecnologia assistiva (TA) é um serviço essencial para garantir a melhor adequação entre a pessoa com deficiência, suas necessidades individuais e o produto assistivo mais

adequado. Esse processo deve ser conduzido por profissionais especializados em tecnologia assistiva, com expertise na área de análise, ou por uma equipe multidisciplinar que integre diferentes conhecimentos. A participação ativa do usuário é fundamental para assegurar que a solução atenda plenamente às suas demandas e expectativas. A seguir, serão apresentadas as etapas do processo de análise e orientação, organizadas em formato de blocos.

BLOCO 1: preparando o profissional para a análise

Revise as informações previamente coletadas do usuário. Quando esses dados são obtidos por meio de terceiros, se atente para que durante a análise seja possível identificar as informações faltantes e monte uma entrevista com base nessas lacunas. Se possível, faça uma pesquisa sobre a deficiência que será avaliada e os possíveis produtos que podem contribuir para aquela pessoa. É importante que toda a equipe esteja no mesmo nível de conhecimento sobre pessoas com deficiência e tecnologia assistiva, para que a análise aconteça de forma fluida e correta.

BLOCO 2: reunindo informações necessárias – entrevista

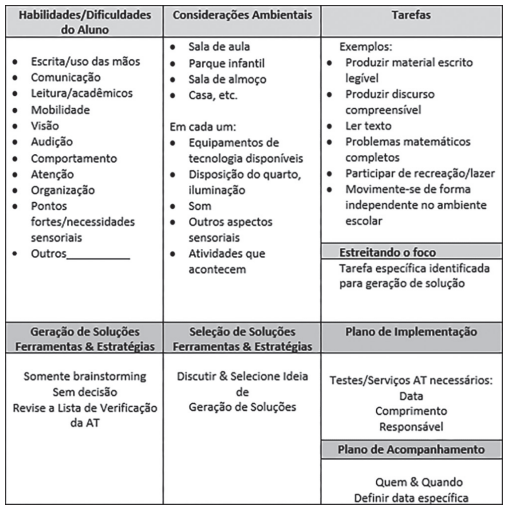
Os membros da equipe devem coletar as informações preenchendo a entrevista sobre os dados pessoais do usuário, utilizando também testes formais ou informais que a equipe acredita que ajudarão a entender as necessidades e habilidades da pessoa. Reúna Informações sobre as características e demandas dos ambientes em que o usuário necessita. Nesta etapa o principal objetivo é qual a necessidade do usuário e o tempo de necessidade do dispositivo. As perguntas precisam ser claras e objetivas, com uma linguagem que seja próxima da realidade da pessoa entrevistada, se possível, se dirigir especificamente a ela e não ao seu acompanhante. Anote as respostas para futuras consultas ou dúvidas e relembre ao usuário que a entrevista será gravada, assim como sua assinatura nos termos de consentimento para imagem e gravação de dados.

BLOCO 3: área de preocupação: buscando entender os problemas do usuário

Em seguida, deve-se agendar uma reunião com a equipe e outros profissionais que tenham conhecimento e experiência sobre o caso relacionado. Com o auxílio da tabela de identificação de problemas WATI (Figura 02), a equipe pode listar as habilidades e dificuldades do usuário; listar os principais aspectos do ambiente

que ele está inserido. Recomenda-se que a equipe não gere soluções de TA até que as habilidades e dificuldades sejam identificadas.

Figura 02 - Tabela de identificação de problemas WATI.



Habilidades/Dificuldades do Aluno	Considerações Ambientais	Tarefas
• Escrita/uso das mãos • Comunicação • Leitura/acadêmicos • Mobilidade • Visão • Audição • Comportamento • Atenção • Organização • Pontos fortes/necessidades sensoriais • Outros_____	• Sala de aula • Parque infantil • Sala de almoço • Casa, etc. Em cada um: • Equipamentos de tecnologia disponíveis • Disposição do quarto, iluminação • Som • Outros aspectos sensoriais • Atividades que acontecem	Exemplos: • Produzir material escrito legível • Produzir discurso compreensível • Ler texto • Problemas matemáticos completos • Participar de recreação/lazer • Movimente-se de forma independente no ambiente escolar **Estreitando o foco** Tarefa específica identificada para geração de solução
Geração de Soluções Ferramentas & Estratégias	**Seleção de Soluções Ferramentas & Estratégias**	**Plano de Implementação**
Somente brainstorming Sem decisão Revise a Lista de Verificação da AT	Discutir & Selecione Ideia de Geração de Soluções	Testes/Serviços AT necessários: Data Comprimento Responsável **Plano de Acompanhamento** Quem & Quando Definir data específica

Fonte: WATI, 2007

É importante que se priorize as necessidades expressadas pelo usuário e o que ele deseja realizar com seu produto, isso pode exigir uma redefinição ou ressignificação da pergunta de qual a necessidade do usuário e o tempo de necessidade do dispositivo? que é a pergunta que vai nortear a análise de suas necessidades. Caso seja necessário, insira uma experiência empática com a equipe. Com essa experiência prática é possível ter um melhor entendimento sobre a deficiência e as dificuldades apresentadas durante a fase de entrevista.

BLOCO 4: tomando a decisão do recurso de TA

Após a equipe concluir a seção de identificação de problemas e debater todas as soluções possíveis, recomenda-se utilizar o método do brainstorming, que é uma chuva de ideias onde os participantes elencam suas soluções e depois elas são separadas de acordo com o grau de prioridade pensando em quais são mais eficazes para o usuário. Caso sejam pensados em muitos produtos, eles podem ser agrupados em soluções que podem ser implementadas: i) imediatamente, ii) nos próximos meses e iii) no futuro.

Em algumas situações podem acontecer casos específicos, como de e uma reanálise para o uso de um novo dispositivo mesmo quando a pessoa já tenha

um histórico com produtos de TA, nesse caso, a equipe poderá seguir o seguinte esquema:

- Casos específicos: Quando um produto de TA já foi usado, pode-se utilizar um *check list* de análise baseado nessas perguntas
  Nome do dispositivo de assistência:
  Utilidade Ambiente de uso
  Período de uso do dispositivo de assistência Fonte de compra
  Preço de compra Atividade pretendida
  Fator de mudança de produto Fatores influenciadores

Em outras situações o produto poderá ser feito sob medida, com isso será necessária uma análise mais detalhada, e possivelmente mais sessões avaliativas para realizações de testes até se chegar no produto adequado. Como alternativas pode-se inserir essas questões no relatório e entrevista:

Qual o dispositivo de TA necessário? Qual o motivo para não comprar?
Qual a atividade pretendida?
Quanto tempo será necessário o uso do dispositivo?

BLOCO 5: plano de implementação, acompanhamento e relatório final

Desenvolva um plano de implementação ou a orientação do recurso de TA, incluindo os testes. Após essa entrega, defina uma data de reunião para montar um Plano de acompanhamento a fim de revisar o progresso do usuário com seu recurso.

Em seguida, inicie o relatório final com as informações do usuário para referência futura. Anexe todas as informações: ficha de entrevista, fotos, vídeos, gravações, autorizações de uso de imagem e termo de compromisso, processo de desenvolvimento de produtos sob medida, entre outros arquivos importantes na análise. Todas as informações devem ser guardadas para serem utilizadas posteriormente em outras situações, estudo de caso, ou até mesmo se o usuário necessitar ser avaliado por uma equipe diferente. Segue um exemplo de informações que podem constar na folha de rosto do relatório:

Nome do usuário:
Idade:
Data de início e conclusão da análise:
Qual a necessidade do usuário:
Recomendações de Tecnologia Assistiva:

Após um certo tempo de análise e entrega do recurso de TA, uma pessoa da equipe de avaliadora deve entrar em contato com o usuário, para a etapa de

pós serviço. Defina essa data com o usuário durante a entrega do recurso. Pode-se aplicar o questionário *Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology* (QUEST 2.0), que foi traduzido para o português e validado como instrumento de medição da satisfação de usuários de tecnologia assistiva no Brasil. Concluindo essa seção, os documentos que fazem parte para finalizar uma análise são: Folha de rosto com um breve resumo da análise; Histórico do processo de análise e entrega do produto (ficha de entrevista, fotos, vídeos, gravações, autorizações de uso de imagem e termo de compromisso, processo de desenvolvimento de produtos sob medida, entre outros arquivos importantes para a análise) e a ficha do QUEST 2.0.

5. CONCLUSÕES

Ao longo desta pesquisa, a hipótese sobre o desenvolvimento de um instrumento capaz de orientar profissionais no processo de análise do usuário para a TA foi motivada pelos principais desafios identificados na literatura. Entre os fatores que levam ao abandono desses recursos, destaca-se a deficiência na formação dos profissionais, resultando em avaliações inadequadas e na escolha equivocada dos produtos assistivos.

A revisão bibliográfica evidenciou que uma análise bem estruturada, conduzida de forma multidisciplinar e com a participação ativa do usuário, familiares e cuidadores, impacta positivamente na seleção e na implementação da TA. A centralidade do usuário nesse processo é essencial, permitindo que suas necessidades reais sejam devidamente consideradas.

Diante desse cenário, o Guia de Análise e Orientação das Necessidades para o Uso de Tecnologia Assistiva busca responder a essa problemática, atendendo ao objetivo da pesquisa. Além disso, possibilitou uma análise aprofundada das experiências de outros profissionais de TA e de seus instrumentos de avaliação, que serviram de referência para o desenvolvimento deste modelo.

As principais limitações enfrentadas nesta investigação incluem a escassez de pesquisas recentes sobre o tema, especialmente no Brasil, o que evidencia a falta de atenção dada à análise das necessidades dos usuários aos produtos de TA. Outro desafio foi a falta da disponibilidade de instrumentos de avaliação em alguns artigos e a ausência de traduções oficiais para o português, exigindo uma pesquisa minuciosa e a tradução criteriosa de termos técnicos para viabilizar a compreensão do processo de análise.Como contribuição, este estudo oferece à comunidade acadêmica e profissional um referencial sólido, que poderá ser utilizado por engenheiros de tecnologia assistiva e acessibilidade, bem como por especialistas da área. Além disso, há perspectivas de aprimoramento, incluindo o desenvolvimento de uma versão compacta do guia para uso prático e

a continuidade do projeto por meio da criação de um sistema de análise baseado no modelo proposto. A divulgação desta pesquisa em periódicos científicos busca ampliar o alcance e impacto desse trabalho na comunidade acadêmica e profissional.

REFERÊNCIAS

BARBET, Isabelle; DEVILLE, Laurence; FERREIRA, Marie-Sophie; DEVILLE, Diane. Design of an assessment tool for implementing assistive technology (AT) reuse programs in France. Resources, Conservation & Recycling Advances. 200094(1-11). 2022.

BARROSO, B. I. L., & LANCMAN, S. Adaptação transcultural do quadro de estruturação para a modelagem conceitual de resultados de dispositivos de tecnologia assistiva para o português (Brasil). Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional. (485-499). 2020.

DIRKS, Susanne; BÜHLER, Christian; HEUMADER, Peter; MIESENBERGER, Klaus. Development, Evaluation and Assessment of Assistive Technologies. Computers Helping People with Special Needs. (259-266). 2022.

FREITAS, Adriana W.; SANTOS, Emmanuelle A. B. dos; PEREIRA, Leticia S. M; TORTELLI, Sabrina-dos P.; FREITAS, Maurício P.; TEIVE, Raimundo C. G.; FERNANDES, Anita M. R. Soluções de tecnologia assistiva baseadas em AIoT: um mapeamento sistemático de literatura. Revista Brasileira de Computação Aplicada.15(60- 72). 2023.

GALVÃO FILHO, Teófilo et al. Conceituação e estudo de normas. In: BRASIL, Tecnologia Assistiva. Brasília: CAT/SEDH/PR, 2009, p. 13-39. (disponível em: www.galvaofilho.net/livro-tecnologia-assistiva_CAT.pdf)

GARCÍA, Thais Pousada et al. Assessment and counseling to get the best efficiency and effectiveness of the assistive technology (MATCH): Study protocol. Plos One. (1-16). 2022.

Gil, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo. Atlas S.A., 2008.

RAN, M., Banes, D., & SCHERER, M. J. Basic principles for the development of an AI-based tool for assistive technology decision making. Disability and Rehabilitation: Assistive Technology. (778–781). 2020.

RO, Eun-Era el tal. "The Development of an Interview Questionnaire and Guide for the Sustainable Use of Assistive Devices among the Disabled in Korea". Sustainability. 2023

TORRENS, George Edward; ASGHARB, Salman. 20 years of the Loughborough user centered assistive technology design process: has it made a difference?. Assistive Technology. (425-434). 2023.

WONG, M.E. and LEE, Y. "Wisconsin Assistive Technology Initiative framework for supporting assistive technology decision-making in Singapore schools: perspectives of in-service educators". Journal of Enabling Technologies (225-240). 2021

ZAVADIL, Priscila; SCHERER, Fabiano de Vargas; TEIXEIRA, Fábio Gonçalves; SILVA, Régio Pierre da; Koltermann, TÂNIA; Cattani, Airton. Possibilidades de uso da matriz morfológica no processo de geração de alternativas em design IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN.

Anais do 11ª Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, Gramado, Rio Grande do Sul. 2024.

ZORRILLA, Michelle; TERHORST, Lauren; COHEN, Susan K.; GOLDBERG, Mary; PEARLMAN, Jonathan; AO, Jingning. Using the lens of assistive technology to develop a technology translation readiness assessment tool (TTRAT)™ to evaluate market readiness. Disability and Rehabilitation: Assistive Technology. (1-16). 2022.

Papel do terapeuta ocupacional na tecnologia assistiva: survey com terapeutas ocupacionais de Curitiba e região metropolitana

Alves, Patrícia Aparecida Dreher [*1]**; Nascimento, Gabriela Cordeiro Correa**[2]**; Poier, Paloma Hohmann**[3]

1 – Discente do Curso de Terapia Ocupacional, UFPR, patricia.aparecida@ufpr.br

2 – Docente do Departamento de Terapia Ocupacional, UFPR, gabriela.correa@ufpr.br

3 – Docente do Departamento de Terapia Ocupacional, UFPR, paloma.poier@ufpr.br

* -Correspondência: Av. Prefeito Lothário Meissner, 623 - Jardim Botânico, Curitiba - 0PR, 80210-170.

DOI 10.52050/9788579177149-34

RESUMO

O Terapeuta Ocupacional (TO) é um dos principais profissionais que atuam na área de Tecnologia Assistiva (TA), entretanto, carecem dados brasileiros sobre seu papel e atuação. O presente trabalho tem como objetivo identificar o papel do TO na utilização de TA em Curitiba e região. *Método*: Pesquisa *Survey* perante o consentimento do TCLE. *Resultado*: Nove TOs responderam à pesquisa e estes estão envolvidos na prescrição, a preparação e/ou montagem, o treino, adaptação e orientações para uso de TA, visando o desempenho ocupacional. *Conclusão*: O Terapeuta Ocupacional de Curitiba e RMC está envolvido em ações de desenvolvimento de TA para saúde.

Palavras-chave: Tecnologia Assistiva, Dispensação, Terapia Ocupacional.

ABSTRACT

Occupational Therapists (OTs) play a key role in Assistive Technology (AT), yet Brazilian data on their involvement are scarce. This study aimed to identify the role of OTs in the use of AT in Curitiba and surrounding areas. A survey was conducted with informed consent. Nine OTs participated, reporting involvement in prescribing, preparing, assembling, training, adapting, and guiding the use of AT to improve occupational performance. The findings indicate that OTs in Curitiba and the Metropolitan Region are actively engaged in health-related AT development and implementation.

Keywords: *Assistive Technology* 1 , *Dispensing* 2, *Occupational Therapy* 3.

1. INTRODUÇÃO

A vida ocupacional de pessoas com deficiência pode apresentar barreiras que comprometem ações autônomas e independentes, nesse contexto, a Tecnologia Assistiva contribui para redução dessas limitações por meio de serviços e recursos específicos (BERSCH, 2017, p. 2). Dessa forma, entende-se que a TA promove o envolvimento de pessoas com deficiência em atividades do cotidiano que são de seus interesses (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, 2021).

No Brasil, segundo dados da Pesquisa Nacional de Saúde - PNS de 2019, existem cerca de 17,3 milhões de pessoas com algum tipo de deficiência, sendo que destas 8,5 milhões (24,8%) são idosos. A pesquisa ainda aponta que 1 a cada 4 idosos brasileiros têm ao menos uma deficiência declarada, sendo a região sul do país a 3° localidade com maior percentual desse grupo (8%) (IBGE, 2021).

Em virtude do cenário exposto o Terapeuta Ocupacional (TO) pode contribuir para propor alternativas de TA que propiciem um desempenho ocupacional satisfatório do cliente nas ocupações (AOTA, 2020, p. 53). O TO, de acordo com o Conselho de Fisioterapia e Terapia Ocupacional (COFFITO) na resolução nº 458, de 20 de novembro de 2015, possui a competência necessária para avaliar a necessidade, as barreiras e os facilitadores para o uso de TA, podendo no exercício da sua função: prescrever, treinar, orientar e acompanhar o uso desses produtos assistivos visando maior desempenho ocupacional. A presente resolução aborda que o terapeuta ocupacional pode desenvolver produtos, recursos, estratégias e práticas de TA para sua intervenção terapêutica ocupacional (COFFITO, 2015).

Por exemplo, para as atividades de vida diária o terapeuta ocupacional pode prescrever ou confeccionar: Talheres modificados, acessórios para talheres, adaptação para talheres, copos adaptados, pratos adaptados, cadeiras higiênicas, adaptação para escova dental, tesoura adaptada, prancha inclinada, suporte para cortador de unha etc (CAVALCANTI; GALVÃO, 2023, p. 829).

De acordo com o relatório de "Indicadores Globais do Uso de Tecnologia Assistiva entre Terapeutas Ocupacionais" (2019) elaborada Federação Mundial de Terapeutas Ocupacionais (WFOT), as organizações dos países membros reportarem quais profissionais mais facilitam o acesso à TA, e os terapeutas ocupacionais apareceram em 96% como a principal profissão de saúde a fornecer produtos de assistência. Outros profissionais também apareceram, tais como: fisioterapeutas (88%), fonoaudiólogos (71%), e prestadores de serviços para cadeira de rodas (69%) (WFOT, 2019).

Nesse sentido, a presente pesquisa que ainda está em andamento, pretende pesquisar o papel do terapeuta ocupacional na utilização da Tecnologia Assistiva

em Curitiba e região metropolitana, para comparar os resultados com os indicadores internacionais e de outras pesquisas nacionais similares.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho se enquadra no método de pesquisa Survey de característica transversal, descritiva e quantitativa. Este trabalho foi submetido ao Comitê de Ética de Pesquisa com Seres Humanos do Setor de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Tendo o número do processo de aprovação 7.595.804. Todos os participantes concordaram em participar voluntariamente e anonimamente da pesquisa, assentindo com o Termo de Consentimento Livre Esclarecido (TCLE).

A coleta de dados da pesquisa foi feita por meio de um questionário de perguntas online desenvolvido através dos formulários google. O link do TCLE juntamente com o questionário foi divulgado nas redes sociais do curso de Terapia Ocupacional da UFPR, grupos, páginas e fóruns de terapeutas ocupacionais de Curitiba e região metropolitana.

O instrumento de avaliação para a pesquisa foi construído a partir dos critérios que a WFOT usou para realizar perguntas do Survey (2019), este tinha como tema central a utilização de TA feita por terapeutas ocupacionais no mundo. Em especial, na pergunta sobre os tipos de produtos assistivos dispensados foi utilizado como referência também o Questionário da Avaliação Rápida de Tecnologia Assistiva (rATA) desenvolvido pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021) e disponibilizado em português. Por fim, para perguntas referentes aos objetivos terapêuticos ocupacionais utilizados na prescrição de TA a base de referência foi a Associação Americana de Terapia Ocupacional (AOTA, 2020).

Os incluídos na pesquisa são os terapeutas ocupacionais que exercem a profissão na cidade de Curitiba e região metropolitana e que tenham contato com a Tecnologia Assistiva em sua prática clínica. Os dados coletados da pesquisa foram analisados com estatística descritiva, ou seja, uma descrição e síntese do conjunto de dados coletados.

Para a construção desse artigo foi analisada apenas uma parte dos dados coletados do questionário, utilizou-se a seção que corresponde aos dados gerais, produtos assistivos e a da intervenção da terapia ocupacional utilizando TA. As perguntas podem ser vistas no quadro abaixo:

Tabela 01 - Instrumento de avaliação

DADOS GERAIS
1. Em qual cidade você atua como terapeuta ocupacional?
2. Na sua prática profissional como terapeuta ocupacional você utiliza Tecnologia Assistiva? • SIM • NÃO
3. Em qual tipo de serviço você trabalha na maior parte do tempo atualmente? • Hospitais; • Centros de reabilitação; • Clínicas; • Ambulatórios; • ONGs. • Outros
4. Atualmente em qual/quais tipos de setor você atua? • Público; • Privado; • 3° setor
Sobre os produtos de Tecnologia Assistiva dispensados:
Em sua prática profissional, nos últimos 5 anos quais foram os produtos assistivos que mais apareceram?
Intervenção terapêutica ocupacional utilizando Tecnologia Assistiva
Normalmente qual é o tempo de utilização de Tecnologia Assistiva dos seus pacientes? • Curto prazo; • Médio prazo; • Longo prazo
Na sua prática profissional com que frequência você: • Dispensa Tecnologia Assistiva • Produz Tecnologia Assistiva • Adapta Tecnologia Assistiva • Repara ou faz manutenção de Tecnologia Assistiva   • Muito baixo   • Baixo   • Médio   • Alto   • Muito alto.
Para que fins ocupacionais você normalmente mais indica uma Tecnologia Assistiva? • Atividades de vida diária • Atividades instrumentais de vida • Descanso e sono • Trabalho • Educação • Lazer • Participação social • Gestão de saúde • Brincar/Jogar

As perguntas dispostas na seção dos dados gerais correspondem ao local de serviço sendo uma pergunta aberta, e o setor que o TO atua que é de múltipla resposta. Assim como, a pergunta sobre os produtos assistivos é representada com caixas de seleção, sendo possível selecionar mais de uma. As perguntas da seção sobre a intervenção da TO com TA são todas de múltipla escolha podendo responder apenas uma alternativa, exceto a pergunta a respeito dos fins terapêuticos ocupacionais os quais são destinados a TA.

A pesquisa está em andamento e no futuro os resultados serão divulgados por completo.

3. RESULTADOS

Até o momento 09 terapeutas ocupacionais responderam ao questionário. Todos os respondentes exercem a profissão na cidade de Curitiba e afirmaram que utilizam Tecnologia Assistiva em sua prática. Destes 9 profissionais, 5 trabalham em hospital, 2 trabalham em clínica, 1 trabalha em ambulatório e 1 em Centro especializado de reabilitação (CER). Cinco (5) atuam apenas no setor público, apenas (1) um trabalha no setor privado, e (3) três profissionais atuam nos dois setores.

Sobre os principais produtos assistivos dispensados pelos profissionais, a tabela abaixo demonstra quais mais apareceram nos atendimentos feitos nos últimos 5 anos pelos terapeutas ocupacionais.

Tabela 02 - Produtos assistivos

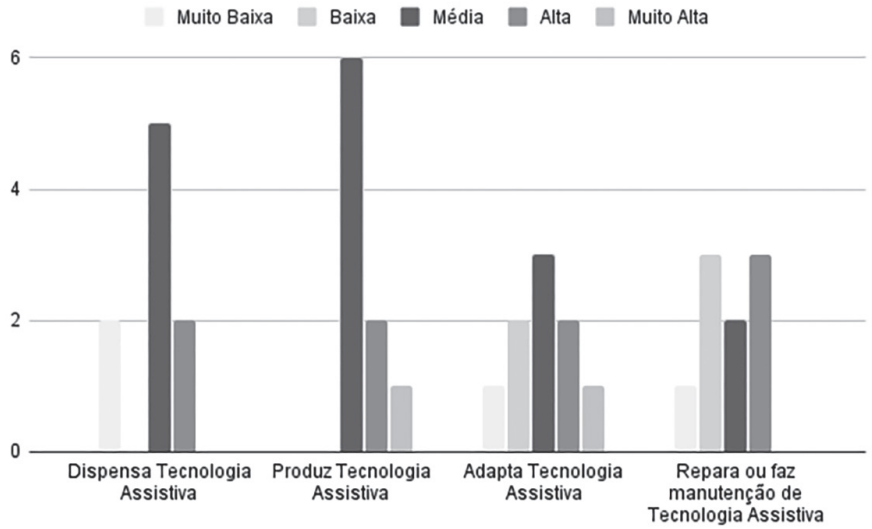
Produtos assistivos	Nº de respostas
Órtese de membro superior	7
Órtese para pé	6
Cadeiras de roda manual com suporte postural	5
Cadeira de rodas motorizada	5
Órtese para membro inferior	5
Almofada para alívio de pressão	4
Andador	4
Prancha de comunicação	4
Organizador de comprimidos	4
Cadeira de rodas manual básica para uso ativo	3
Cadeira de rodas manual para condução de um assistente	3
Cadeira para banho e higiene	3
Corrimão e barra de apoio	3

Produtos assistivos	Nº de respostas
Estabilizador ajustável para postura em pé	3
Bengala com uma, três ou quatro pontas	2
Software de emulação/simulação de mouse e teclado	2
Leitor de tela	2
Software de comunicação	2
Telefone móvel/celular inteligente/tablet/assistente pessoal digital	2
Muleta axilar	1
Colchonete para alívio de pressão	1
Prótese para membro inferior	1
Prótese para membro superior	1
Calçado terapêutico/ortopédico para usuário diabético - pé neuropático	1
Andador com rodas	1
Produtos para incontinência/absorventes	1
Lupa ótica manual	1

No que diz respeito ao tempo geral de utilização de TA observado nos clientes/pacientes atendidos, observa-se que cinco (5) terapeutas ocupacionais referiram um tempo de "médio prazo" e quatro (4) terapeutas ocupacionais pontuaram um tempo de "longo prazo". Não houve sinalização de uso por "curto prazo".

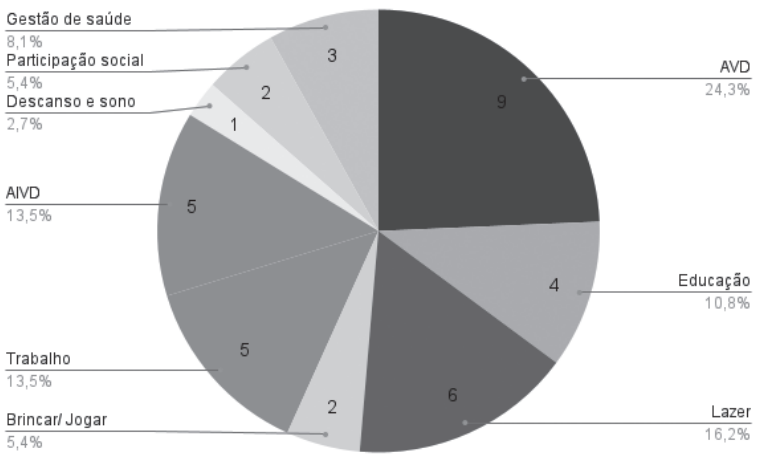
Mais especificamente sobre o papel do TO nas ações em TA, o gráfico abaixo mostra que na questão da dispensação, cinco (5) TOs fazem em média frequência, (2) dois em alta e (2) dois em muito baixa. Sobre a fabricação, seis (6) referiram que a frequência é média, enquanto 2 relataram como alta e 1 como muito alta. Com relação a adaptação de TA, três (3) TO's relataram que realizam em média frequência, (2) dois em alta frequência enquanto (1) um relatou em frequência muito alta, (2) dois em baixa frequência, e por fim (1) um em frequência muito baixa. Sobre a reparação e manutenção de TA, três (3) TO's indicam realizar em alta frequência enquanto 3 indicam fazer em baixa frequência, (2) apontam para uma frequência média e apenas 1 relata uma frequência muito baixa.

Figura 01 - Frequência das ações do TO com TA



Por fim, o próximo gráfico ilustra para que fins ocupacionais normalmente os terapeutas ocupacionais indicam TA. Apresenta-se que todas as ocupações foram contempladas com dispensação de TA, e a principal área é para a ocupação Atividades de Vida Diária (AVD).

Figura 02 - Indicação terapêutica ocupacional de TA



4. DISCUSSÃO

O perfil do terapeuta ocupacional que atua com TA apontado nessa pesquisa, até dado momento, são de profissionais da capital, exercendo majoritariamente a função no âmbito hospitalar. Uma possível explicação para esse dado é que em Curitiba e RMC existem apenas 2 Centros Especializados em reabilitação (CER) e nenhuma oficina ortopédica (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2025). Algumas das finalidades do CER e da Oficina Ortopédica é a dispensação, adaptação e manutenção de TA (BRASIL, 2023, p. 28). Na pesquisa realizada até o momento, houve apenas uma resposta advinda do CER. No entanto, isto significa que os profissionais de TO nos hospitais estão atuando com a prescrição, produção, adaptação e/ou reparação de TA. Nesse contexto, o terapeuta ocupacional é habilitado para se utilizar da TA, inclusive as de baixo custo, visando promover o desempenho ocupacional e funcionalidade diante das condições de saúde e efeitos adversos da hospitalização (DE CARLO; KLEBER; PALM, 2018, p. 17).

No que tange a dispensação de TA feita terapeutas ocupacionais percebe-se que o produto assistivo dispensado com maior frequência é a órtese para membro superior, obtendo (7) respostas. Resultado similar a pesquisa exploratória feita por CONOR; SIMONELLI (2014), esta visava compreender a atuação da terapia ocupacional utilizando TA no Brasil, para tanto foi realizado um questionário em Curitiba o qual dos 18 profissionais de TO, que responderam à pesquisa, 16 apontaram que realizam a prescrição de órteses. Denota-se então que o percentual de prescrição e dispensação de órtese entre as duas pesquisas permanece igual mesmo após 10 anos. No entanto, se comparado com os "Indicadores Globais do Uso de Tecnologia Assistiva entre Terapeutas Ocupacionais" (2019) feita pela WFOT, o produto assistivo mais dispensado é a cadeira higiênica e para banho (61%) seguido da cadeira de roda manual (59%). Estas mesmas TA aparecerem na atual pesquisa como dispensações feitas por TOs, mas estão elencadas na 12° e 3° colocações, respectivamente.

A ortótica realizada pelos terapeutas ocupacionais é essencial para promover funcionalidade do paciente e para compreender aspectos desafiadores que surgem durante o processo ortótico, além disso, o terapeuta ocupacional pode prescrever uma órtese de membro superior visando um melhor desempenho nas atividades significativas do paciente (DESHAIES, 2013, p. 422- 425).

Ainda sobre a dispensação de órteses, próteses e meios auxiliares de locomoção (OPM) feitos por terapeutas ocupacionais a nível ambulatorial, em Curitiba no período de 2020 a 2025, aponta-se que o OPM mais produzido foi a órtese estática imobilizadora áxilo-palmar tipo aeroplano, totalizando 1359 dispensações (BRASIL, 2025). De acordo com um levantamento feito por Caro et al (2014) sobre a dispensação de OPM no estado de São Paulo, o

terapeuta ocupacional despontou em 18,75% das cidades exercendo o papel de facilitador para a aquisição de TA, além de aparecer em 61% das respostas como um profissional que atua no processo de reabilitação. Demonstrando que os terapeutas ocupacionais estão realizando a dispensação de OPM e corroborando os dados apontados pelos indicadores internacionais da WFOT (2019).

Sobre o tempo de uso das TAs indicadas observa-se pelas respostas que os dispositivos são utilizados por períodos médios e longos. Isto sugere que a TA tende a ser intervenções com impacto temporal na vida de seus usuários, impactando no seu cotidiano. Uma revisão sistemática realizada por LEMOS et al (2023) a respeito do abandono do uso de TA, concluiu que os fatores que levam o desuso ao longo do tempo são variados e estão associados a conduta da prescrição, e por não considerar aspectos de contexto e ambiente. Diante disso, desponta-se a importância da utilização de instrumentos de avaliação para a dispensação de TA visando a diminuição de imprecisões nas prescrições e consequentemente o abandono do uso de TA (BRACCIALLI, L. M. P; BRACCIALLI, A. C.; da SILVA, 2018, p.90).

A respeito do papel do TO na utilização de TA na sua prática profissional, o resultado mais significativo aponta que a ação de maior frequência do TO, em sua maioria, é a fabricação de TA. Não houve registros de TOs que não produzissem TA, ou que produzissem TA com uma regularidade baixa ou muito baixa. Sendo assim, os TO's não apenas adaptam ou dispensam (prescrevessem) a TA, mas também demonstram um papel importante como profissional que produz as TAs. Ressalta-se a importância da inovação em TA, bem como a potencialização de produtos já existentes para atender as demandas que surgem (COSSA et al, 2017, p.2).

Estes dados criam um contraste com os indicadores internacionais, pois os profissionais apontaram que mais dispensam do que produzem TA (WFOT, 2019). Sendo assim, uma possibilidade para contornar a barreira da falta de recursos, enfrentada pelos terapeutas ocupacionais seria a fabricação de TA de baixo custo (HOHMANN; CASSAPIAN, 2011).

A utilização das TA pela terapia ocupacional no tratamento clínico possui um fim terapêutico ocupacional, nesse sentido, a pesquisa destacou que a ocupação com maior dispensação de TA foi às atividades de vida diária. Semelhante a um survey feito com 78 terapeutas ocupacionais das unidades de saúde do município do Rio de Janeiro, onde 69% dos respondentes pontuaram utilizar recursos de TA para as atividades de vida diária (PELOSI; NUNES, 2010, p.155).

As AVD são aquelas realizadas e voltadas para o cuidado de si próprio, como a alimentação, o vestir, a higiene pessoal, o banho dentre outras (AOTA, 2020). Hagedorn (2007) pontua que quando um indivíduo possui limitações para

realizar as AVD de forma independente a abordagem será compensatória, ou seja, haverá o uso de produtos assistivos até que enfim as habilidades necessárias para realização das atividades sejam gradualmente recuperadas ou minimizadas, quando possível. Além do mais, o terapeuta ocupacional possui a competência para avaliar possíveis limitações no desempenho nas AVD, podendo identificar impedimentos no uso de produtos assistivos durante as atividades do cotidiano, e tendo como objetivo capacitar habilidades necessárias para uma funcionalidade satisfatória (MARINS; EMMEL, 2011, p.39).

Por fim, ainda que a pesquisa tenha até o momento poucas respostas, sobretudo nenhuma advinda da região metropolitana de Curitiba, dados significativos foram alcançados, em vista dos poucos estudos que se tem a respeito da atuação do TO com TA. A pesquisa demonstrou que o terapeuta ocupacional dispensa majoritariamente órteses de membro superior e pé, não somente dispensa como produz TA de média a alta frequência em contextos de atuação diferentes, e se utiliza da TA como recurso terapêutico para as AVD. Sobretudo, há a expectativa do aumento de respondentes, para conhecer de forma mais amplificada a atual situação do papel do terapeuta ocupacional com a TA em Curitiba e região, e compará-la também com recorte feito nesse artigo.

5. CONCLUSÕES

Em virtude do exposto, demonstra-se que apesar dos poucos respondentes até o momento, a pesquisa com TOs de Curitiba e RMC alcançou seu objetivo e demonstrou como terapeutas ocupacionais são importantes atores no campo da TA, dispensando e produzindo TA. Especialmente como destacado, trabalhando no contexto hospitalar, realizando a fabricação de produtos assistivos, tendo como ênfase às dispensações de órteses de MMSS e tendo intervenções de TA voltadas para a ocupação humana – Atividades de Vida Diária.

REFERÊNCIAS

AMERICAN OCCUPATIONAL THERAPY ASSOCIATION (AOTA). *Occupational therapy practice: Domain and process* (4th ed.). Versão Portuguesa de Occupational Therapy Practice Framework: Domain and Process 4th Edition, 2020. Disponível em:< https://doi.org/10.25766/671r-0c18>. Acesso em: 10 jun. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Departamento de Informática do SUS - DATASUS. *Produção Ambulatorial do SUS*. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sia/cnv/qapr.def>. Acesso em: 10 jun. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Manual de orientações da seleção do Novo PAC Saúde*. Versão atualizada em 1º de novembro de 2023. [S. l.]: Ministério da Saúde, 2023. Disponível em: <https://

www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/novo-pac-saude/arquivos/manual-orientacao-alteracoes.pdf.> Acesso em: 14 jun. 2025.

BRACCIALLI, L. M. P.; BRACCIALLI, A. C.; DA SILVA, F. C. T. Modelos conceituais e instrumentos para prescrição e acompanhamento de uso de Tecnologia Assistiva: análise teórica. In: PASCHOARELLI, L. C; MEDOLA, F. O. *Tecnologia Assistiva*: Estudos teóricos. 1. ed. Bauru SP: Canal6, 2018. cap. 3, p. 81-92. Disponível em: https://canal6.com.br/livreacesso/livro/tecnologia-assistiva-estudos-teoricos/. Acesso em: 1 jul. 2025.

CAVALCANTI, A.; GALVÃO, C. R. C. Dispositivos auxiliares para AVD e AIVD. *IN:* CAVALCANTI, A.; GALVÃO, C. R. C. *Terapia Ocupacional*: Fundamentação e Prática. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2023. E-book. p.829. ISBN 9788527739795.

COFFITO. *Conselho Federal de Fisioterapia e Terapia Ocupacion*al. Resolução nº 458, de 20 de novembro de 2015. Dispõe sobre o uso da Tecnologia Assistiva pelo terapeuta ocupacional e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União. Disponível em:< https://www.coffito.gov.br/nsite/?p=3221>. Acesso em: 05 jun. 2024.

CONOR, G. C., & SIMONELLI, A. P. (2015). Perfil da prática profissional e produção científica da terapia ocupacional referente à tecnologia assistiva no brasil. *Revista Família, Ciclos De Vida E Saúde No Contexto Social*, 3(2). Disponível em: <https://doi.org/10.18554/refacs.v3i2.1088>. Acesso em: 14 jun. 2025.

CARLO, M. M. R. do P. de; KLEBE, L. M.; PALM, R. C. D. M. Fundamentação e processos da terapia ocupacional em contextos hospitalares e cuidados paliativos. In: CARLO, M. M. R. do P. de ; KUDO, A. M. *Terapia ocupacional em contextos hospitalares e cuidados paliativos*. 1 ed. São Paulo: Editora Payá, 2018. Cap. 1, 1 – 32.

CARO, C. C. et al. A dispensação de órteses, próteses e meios auxiliares de locomoção (OPM) no Departamento Regional de Saúde da 3ª Região do Estado de São Paulo. *Cadernos de Terapia Ocupacional da UFSCar*, São Carlos, v. 22, ed. 3, p. 521-529, 2014. Disponível em: http://dx.doi.org/10.4322/cto.2014.073. Acesso em: 1 jul. 2025.

COSSA, R. B. et al. Tecnologia assistiva e inovação como ferramentas de propulsão da inclusão social e cidadania. *Revista ESPACIOS*, [s. l.], v. 38, ed. 17, p. 29, 2017. Disponível em: https://www.revistaespacios.com/a17v38n17/a17v38n17p29.pdf. Acesso em: 1 jul. 2025.

DESHAIES, L. D. Órtese para membro superior. In: RADOMSKI, M. V.; LATHAM, C. A T. *Terapia Ocupacional para Disfunções Físicas*, 6ª edição. Rio de Janeiro: Santos, 2013. E-book. P.422 - 425. ISBN 978-85-412-0402-6.

HAGEDORN, R. Estruturas aplicadas de referência na disfunção física. In: HAGEDORN, R. *Ferramentas para a prática em terapia ocupacional*. Rio de Janeiro: Roca, 2007. cap. 7. p. 118.

HOHMANN, P.; CASSAPIAN, M. R. Adaptações de baixo custo: uma revisão de literatura da utilização por terapeutas ocupacionais brasileiros. *Rev. Ter. Ocup.* Univ. São Paulo, v. 22, n. 1, p. 10-18, jan./abr. 2011. Disponível em:< https://doi.org/10.11606/issn.2238-6149.v22i1p10-18>. Acesso em: 4 jul. 2025.

IBGE (Brasil). *PNS 2019:* País tem 17,3 milhões de pessoas com algum tipo de deficiência. Agência IBGE notícias, [S. l.], p. Estatísticas Sociais, 26 ago. 2021. Disponível em: <https://agenciadenoti-

cias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de noticias/releases/31445-pns-2019-pais-tem-17-3-milhoes-de-pessoas-com-algum-tipo-de-deficiencia>. Acesso em: 05 jun. 2025.

LEMOS, et al. Fatores relacionados ao abandono de dispositivos de tecnologia assistiva: uma revisão da literatura. *Human Factors in Design*, Florianópolis, v. 12, n. 24, p. 003–012, 2023. DOI: 10.5965/2316796312242023003. Disponível em:< https://periodicos.udesc.br/index.php/hfd/article/view/24582> . Acesso em: 15 jun. 2025.

MARINS, S. C. F. EMMEL. M.L.G. Formação do terapeuta ocupacional: acessibilidade e tecnologias. *Cadernos de Terapia Ocupacional da UFSCar*, São Carlos, v. 19, ed. 1, p. 37-52, 2011. Disponível em: https://www.cadernosdeterapiaocupacional.ufscar.br/index.php/cadernos/article/view/420. Acesso em: 1 jul. 2025.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. *Tecnologias Assistiva e para Doenças Raras*. l.], 2021. Disponível em: <https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/tecnologia/tecnologias_convergentes/paginas/Assistiva_Do encas_Raras/index.html>. Acesso em: 05 jun. 2024.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Serviços Habilitados em todo território nacional:* Centros especializados em reabilitação (CER) e oficinas ortopédicas. [S. l.], 2025. Disponível em:< https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/s/saude-da-pessoa-com-deficiencia/cer.> Acesso em: 15 jun. 2025

PELOSI, M. B; NUNES, L. R. d'O. de P. Os terapeutas ocupacionais das unidades de saúde do município do Rio de Janeiro e suas ações na área de Tecnologia Assistiva. *Revista Teias*, Rio de Janeiro, v. 11, ed. 23, p. 149-162, 2010. Disponível em: https://www.e-publicacoes.uerj.br/revistateias/article/view/24136. Acesso em: 1 jul. 2025.

PNS. *Painel de Indicadores de Saúde* – Pesquisa Nacional de Saúde. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.pns.icict.fiocruz.br/painel-de-indicadores-mobile-desktop/>. Acesso em: 05 jun. 2024

World Federation of Occupational Therapists' (WFOT) *Global Surveys. Global indicators of assistive technology use amongst occupational therapists*: Report from the World Federation of Occupational Therapists' (WFOT) Global Surveys, [s. l.], 2019. Disponível em:< https://wfot.org/resources/global-indicators-of-assistive-technology-use-amongst-occupational-therapists-report-of-wfots-global-surveys>. Acesso em: 06 jun. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *The rapid Assistive Technology Assessment (rATA) tool for national representative survey enumeration*: a manual: Measuring need and unmet need for assistive technology. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em:< https://cdn.who.int/media/docs/default source/assistive-technology-2/rata-master-training/20201021-rata-enumerator-manual final.pdf?sfvrsn=3864b5f8_12>. Acesso em: 06 jun. 2025.

Usabilidade de produto assistivo impresso em 3D para pacientes com doenças reumatológicas: Função manual e experiência do usuário

Amaral, Daniela[*1]; Oliveira, Giovana;[2] Paz, Tainá[3]; Souza, Klara[4]; Carneiro, Danielle[5]; Dantas, Andréa[6]; Merino, Eugenio[7]

1 – Departamento de Terapia Ocupacional, UFPE, daniela.amaral@ufpe.br
2 – Departamento de Terapia Ocupacional, UFPE, giovana.oliveira@ufpe.br
3 – Departamento Terapia Ocupacional, UFPE, taina.vieiraantas@ufpe.br
4 – Departamento de Terapia Ocupacional, UFPE, klara.borges@ufpe.br
5 – Departamento de Terapia Ocupacional, UFPE, danielle.carneiom@ufpe.br
6 – Departamento de Medicina Clínica, UFPE, andrea.dantas@ufpe.br
7 – Departamento de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, eugenio.merino@ufsc.br
*Correspondência: Rua Dr José Maria, 658/2802, Encruzilhada, Recife - PE, Brasil, 52041-015

DOI 10.52050/9788579177149-35

RESUMO

Pessoas com doenças reumatológicas apresentam com frequência comprometimento na funcionalidade e a Tecnologia Assistiva é uma estratégia recomendada para proteção articular e melhorar o engajamento nas ocupações. Esse estudo tem como objetivo avaliar a usabilidade de um descascador manual impresso em 3D quanto à função manual e à experiência do usuário. Foi conduzido por meio de um projeto piloto com duas pacientes utilizando abordagens mistas e instrumentos padronizados. Os resultados indicam melhora funcional e elevada satisfação com o produto. Conclui-se que a impressão 3D aplicada à Tecnologia Assistiva demonstra ser uma solução promissora e adaptável, com contribuições significativas para as áreas da Saúde, Engenharia, Design, Educação e Terapia Ocupacional.
Palavras-chave: Tecnologia Assistiva, Impressão 3D, Usabilidade.

ABSTRACT

This study is justified by the need for accessible and effective alternatives to support the occupational performance of individuals with rheumatic diseases. The objective was to evaluate the usability of a 3D-printed handheld peeler in terms of hand

function and user experience. A pilot project was conducted with two patients using a mixed-methods approach and standardized assessment tools. The results indicated improvements in hand function and high levels of user satisfaction. It is concluded that 3D printing applied to assistive technology is a promising and adaptable solution, with significant potential contributions to the fields of Health, Engineering, Design, Education, and Occupational Therapy.
Keywords: *Assistive Technology, 3D printing, Usability*

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Sociedade Brasileira de Reumatologia (SBR), as doenças reumáticas são um conjunto de enfermidades que acometem o sistema musculoesquelético — como articulações, ossos, músculos, tendões e ligamentos — e, em alguns casos, podem afetar também órgãos internos, como coração, pulmões, rins e pele (SOCIEDADE BRASILEIRA DE REUMATOLOGIA, 2021). Essas doenças afetam principalmente pessoas entre 61 e 70 anos, possivelmente devido ao desgaste natural dos tecidos com o envelhecimento e à exposição a esforços repetitivos ao longo da vida. Em mulheres, alterações hormonais associadas à menopausa podem antecipar o surgimento dessas enfermidades (QUIRINO *et al.*, 2021). Entre as mais frequentes, destacam-se a osteoartrite e a artrite reumatoide (REBELLO *et al.*, 2015; HERNÁNDEZ MARTÍN *et al.*, 2014).

Esses sintomas comprometem significativamente a funcionalidade e qualidade de vida dos pacientes, afetando aspectos emocionais, sociais e ocupacionais (ALMEIDA, 2015) Entre as ocupações impactadas, destacam-se as atividades laborais, frequentemente interrompidas precocemente devido a limitações funcionais impostas pelas doenças (PARREIRA, 2013). Além disso, a redução da capacidade funcional prejudicar diretamente a realização das suas ocupações, ou seja, as atividades que são realizadas diariamente como indivíduos ou em comunidade, que tem sentido e propósito para o sujeito e que podem ser divididas entre Atividades de Vida Diárias (AVD) e das Atividades Instrumentais de Vida Diária (AIVD). Logo, essa perda afeta a autonomia e a independência do indivíduo nas tarefas cotidianas (BORDIN CAMPONOGARA *et al.*, 2022; GOMES; TEIXEIRA e RIBEIRO, 2020).

Diante dos impactos ocupacionais enfrentados por esses participantes, o terapeuta ocupacional é um dos profissionais indicados para atuar nesse contexto, uma vez que essa profissão tem como foco principal as ocupações humanas, buscando identificar as causas que dificultam ou impedem a realização e a participação ativa do sujeito em suas atividades e papéis ocupacionais de maneira autônoma e funcional (GOMES; TEIXEIRA e RIBEIRO, 2020). A Tecnologia Assistiva (TA), nesse contexto, pode ser incorporada ao plano

terapêutico como estratégia não farmacológica para otimizar o desempenho ocupacional (AMARAL, 2016).

A TA é uma área de conhecimento interdisciplinar voltada à promoção da independência e funcionalidade de pessoas com limitações permanentes ou temporárias. Por meio de desenvolvimento de produtos, recursos, estratégias e serviços, contribui para melhorias funcionais, físicas e na qualidade de vida dos usuários (BERSCH, 2017). Dentre as tecnologias emergentes, destaca-se a manufatura aditiva tridimensional, conhecida como impressão 3D, que oferece soluções personalizadas e eficientes na produção de dispositivos assistivos (DEGERLI *et al.*, 2022). Trata-se de um processo avançado de fabricação que utiliza deposição sucessiva de camadas de material polimérico fundido, permitindo a criação de peças complexas em menor tempo e com maior flexibilidade (DA SILVA *et al.*, 2020).

A impressão 3D é considerada uma solução recente na confecção de produtos assistivos e os testes de usabilidade são importantes para se verificar a eficácia, eficiência e satisfação desses produtos (BERGER *et al.*, 2018). O termo "usabilidade" refere-se à facilidade de interação com determinado produto. Para avaliar a usabilidade de um produto, é importante levar em consideração, três pontos principais: características do produto em uma situação específica de uso; a interação do usuário com o produto; e a observação dos resultados reais do uso. Essa avaliação deve ser feita dentro de um contexto, pois os resultados da usabilidade podem variar de acordo com quem utiliza o produto, para que ele é usado e em que ambiente ocorre o uso (NBR 9241-11, 2002).

Considerando a importância de testes de usabilidade em produtos assistivos impressos em 3D, e que estes resultados direcionam a prática dos profissionais para indicação e desenvolvimento de novos produtos quando necessário, como destacam Tullis e Albert (2008), esse artigo original tem como objetivo analisar a usabilidade de um descascador manual impresso em 3D quanto à função manual e à experiência do usuário, por meio de um projeto piloto.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Contextualização da Pesquisa:

Este projeto tem como objetivo avaliar a usabilidade de um descascador manual de frutas e legumes, impresso em 3D, desenvolvido para pacientes com doenças reumatológicas. Trata-se de uma ação vinculada ao projeto "Design e Saúde: otimizando processos e procedimentos por meio de produtos e serviços, junto a pacientes e colaboradores, em uma abordagem interprofissional", financiado pelo edital CNPq/MCTI Nº10/2023 UNIVERSAL. O projeto envolve

as seguintes instituições: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ); Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). O projeto de pesquisa encontra- se em andamento. Nesse momento, será apresentado o resultado do projeto piloto.

2.2 Desenho da pesquisa

Este é um estudo de intervenção que combina abordagens qualitativas e quantitativas. Os dados quantitativos foram obtidos por meio de questionários e instrumentos padronizados voltados à avaliação de habilidades manuais, incluindo aspectos como coordenação e destreza. Já os dados qualitativos contemplaram a percepção de usabilidade dos produtos assistivos, a partir de questionários específicos aplicados aos participantes.

2.3 Local e população do estudo

A amostra deste estudo foi formada por pacientes vinculados ao projeto de extensão "ACESSA TA" (PJ218-2024), estimando-se um total de 10 pacientes, visto o quantitativo de inscritos no projeto (20 pacientes). A coleta de dados ocorreu no Laboratório de Tecnologia Assistiva e Terapia Ocupacional (LabTATO) da Universidade Federal de Pernambuco.

Quanto aos aspectos éticos, a pesquisa encontra-se aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina, de acordo com o **CAAE de número: 83690824.0.0000.0121.** Todos os participantes da pesquisa assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

2.4 Critérios de inclusão

Foram incluídos indivíduos com diagnóstico de doenças reumatológicas com acometimento na função manual; que referiram queixas no desempenho ocupacional; sejam adultos ou idosos. Foram excluídos indivíduos que: tenham diagnóstico de demência ou doença psiquiátrica; tenham alguma doença neurológica e/ou ortopédica com comprometimentos; pessoas com doenças sistêmicas sem tratamento medicamentoso.

2.5 Caracterização do Produto Assistivo

O Descascador Manual (BR10202201672) (Figura 01) foi desenvolvido para facilitar o descascamento de alimentos como frutas, legumes e frios. As informações de características e desenvolvimento técnico estão presentes na Tabela 01.

Figura 01 - Descascador 3D.



Tabela 01 - Características e desenvolvimento técnico do descascador 3D.

Categorias	Descrição
Características do produto	Formato orgânico e arredondado; Lâmina de aço com ação multidirecional; Para pessoas com limitações dos membros superiores, principalmente em doenças reumatológicas.
Software Utilizado	SolidWorks
Impressora 3D	Anycubic X
Material de Fabricação	Ácido Polilático (PLA ST) - escolhido devido à sua resistência e facilidade de manuseio.

2.6 Projeto Piloto

O protocolo de coleta previsto para a pesquisa foi testado por meio de um projeto piloto, com a participação de duas pacientes. O objetivo foi verificar a eficácia do protocolo e identificar necessidades de ajustes metodológicos, conforme indicado por D´Ely (2006), que recomenda a utilização de projeto piloto para antecipar problemas metodológicos e otimizar a coleta definitiva.

2.7 Protocolo de Coleta de Dados

O protocolo foi desenvolvido com base no GuiaTATO - Guia de Orientação para Prestação de Serviço em Tecnologia Assistiva por Terapeutas Ocupacionais. O GuiaTATO propõe um fluxo estruturado do serviço, apresentando práticas recomendadas e orientações específicas para cada etapa do processo de prestação de serviços em TA, promovendo práticas mais fluidas e eficazes (AMARAL *et al.*, 2024). O fluxo de etapas sugerido pelo GuiaTATO foi adequado para a proposta da pesquisa, assim a coleta foi prevista para acontecer em 3 etapas:

- Etapa 1: Contato Inicial + Avaliação – Acolhimento, esclarecimento quanto ao objetivo da pesquisa, sobre o tratamento terapêutico ocupacional, e proposta da TA.
- Etapa 2: Implementação da TA – Uso em domicílio por, no mínimo, 30 dias. Preenchimento de diário de campo.
- Etapa 3: Acompanhamento (Avaliação dos resultados) – Teste de usabilidade do produto.

2.8 Instrumentos Utilizados

Os instrumentos adotados em cada etapa seguiram as recomendações do GuiaTATO e estão detalhados na Tabela 02.

Tabela 02 - Instrumentos utilizados.

Instrumento	Objetivo	Momento da aplicação	Escala de Avaliação
Ficha de Avaliação Sociodemográfica e Clínica	Caracterizar perfil pessoal, ocupacional e clínico.	Contato Inicial + Avaliação.	–
Ficha de função e estrutura do corpo	Avaliar dor, rigidez, edema e limitação de movimento.	Contato Inicial + Avaliação.	–
SACRAH[1]	Avaliar a função manual, dor e rigidez.	Contato Inicial + Avaliação e Avaliação dos resultados.	EVA (1 a 10)

1 SACRAH:A Score For Assesment and Quatification of Chronic Rheumatic Affections of the Hands.
B-QUEST: Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology
EVA: Escala Visual Analógica.

Instrumento	Objetivo	Momento da aplicação	Escala de Avaliação
Diário de campo	Espaço destinado ao registro dos dias em que utilizou o produto, indicando o alimento descascado.	Implementação.	_
B-Quest	Avaliar a satisfação com o dispositivo e o serviço.	Acompanhamento (avaliação dos resultados).	Likert (1 a 5): de insatisfeito a totalmente satisfeito.
Diferencial Semântico	Avaliar a satisfação com o dispositivo	Acompanhamento (avaliação dos resultados)	Escala Bipolar: (-3 a + 3)
Experiência do Usuário	Avaliar a experiência com o serviço, produto e pesquisa.	Acompanhamento (avaliação dos resultados).	Muito Bom / Bom / Mais ou Menos / Ruim / Muito Ruim

3. RESULTADOS

Foram incluídos dois pacientes para participação do projeto piloto. Os resultados da Etapa 1 estão apresentados na Tabela 03.

Tabela 03 - Perfil das pacientes e resultado do SACRAH

Paciente	Perfil	SACRAH 1
1	Feminino, 50 anos, técnica em contabilidade, Artesã, diagnosticada com Esclerose Sistêmica (doença reumatológica).	**Média função da mão**: 3,88 **Média rigidez**: 2 **Média de dor**:0 **Média Geral:** 1,96
2	Feminino, 50 anos, Ens. Médio Completo, recepcionista, diagnosticada com Artrite reumatoide e Fibromialgia.	**Média função da mão**: 5,05 **Média rigidez**: 5,5 **Média de dor**:8 **Média Geral:** 6,18

Os atendimentos foram organizados em etapas, compreendendo: contato inicial, avaliação, implementação da TA, reavaliação do recurso entregue e acompanhamento. Esse processo foi conduzido ao longo de dois meses, com encontros quinzenais, cada um com duração aproximada de uma hora e meia.

Na Etapa 2, as participantes retornaram ao atendimento e entregaram o diário de campo preenchido. As informações preenchidas no diário de campo encontram-se na Tabela 04.

Tabela 04 - Resultados do Diário de campo

CATEGORIA	Paciente 1	Paciente 2
Vegetais testados	Batata, cenoura e chuchu.	Batata e cenoura.
Facilidade do uso	Relatou facilidade no processo de descascar.	Relatou facilidade no processo de descascar e que o formato dos vegetais influencia a experiência de uso.
Efetividade	Conseguiu realizar a tarefa de forma eficaz.	Conseguiu realizar a tarefa de forma eficaz.
Adaptação no uso	Utilizou o produto para fatiar batatas em formato chips.	-
Satisfação	Elevada satisfação, experiência positiva e recomenda o uso.	Elevada satisfação, experiência positiva e recomenda o uso.

Na etapa 3, observaram-se resultados positivos na reavaliação pelo instrumento SACRAH. A Paciente 1 apresentou melhorias, principalmente, nos domínios de função manual e rigidez, enquanto a Paciente 2, na função manual e na redução da dor (Tabela 05).

Tabela 05 - resultado reavaliação Sacrah

Paciente	SACRAH 2
1	**Média da função da mão**: 2,64 **Média rigidez**: 1 **Média de dor**:0 **Média geral:** 1,21
2	**Média função da mão**: 3,70 **Média rigidez**: 5 **Média de dor**:6,25 **Média geral:** 4,98

Com relação aos testes do produto, os principais pontos positivos identificados foram: facilidade de uso, conforto, estabilidade/segurança e eficácia do recurso. Esses aspectos foram considerados adequados ao uso cotidiano e ao atendimento das necessidades funcionais, sendo avaliados como intuitivos e seguros por ambas as participantes. Como ponto negativo, a participante 2 atribuiu pontuações inferiores à facilidade de ajuste e às dimensões do recurso, sugerindo possíveis limitações de uso do produto para legumes e frutas de maior tamanho ou cascas mais resistentes. Os resultados completos dos instrumentos B-Quest, Diferencial Semântico e Experiência do Usuário encontram-se apresentados na Tabela 06.

Tabela 06 - B-quest, Experiência do Usuário e Diferencial Semântico.

B-QUEST	Paciente 1	Paciente 2
Recurso	5	4,25
Serviço	5	5
Pontuação Total	5	4,25
Aspectos mais valorizados	Segurança, serviço profissional, serviço de acompanhamento.	Peso do produto, serviço profissional, serviço de acompanhamento.
EXPERIÊNCIA DO USUÁRIO	**Paciente 1**	**Paciente 2**
Avaliação da experiência	Produto: Muito bom. Serviço: Muito bom.	Produto: Mais ou menos. Serviço: Muito bom.
Sentimentos expressos	Independência, satisfação, desejo atendido.	Satisfação, empatia, bom acolhimento, cuidado.
Observações	Produto ágil e resistente.	-
DIFERENCIAL SEMÂNTICO	**Paciente 1**	**Paciente 2**
Interação Física	Confortável, macio, agradável, aderente, leve, bom encaixe.	Confortável, macio, agradável, aderente, leve, bom encaixe.
Funcionalidade	Confiável, fácil de usar, segura, forte, eficaz.	Confiável, fácil de usar, segura, forte, eficaz.
Aparência	Resistente, bem acabado, bonito.	Resistente, bem acabado, bonito.

4. DISCUSSÃO

Para pessoas com doenças reumatológicas, a TA representa uma possibilidade concreta de retomar atividades significativas com autonomia e proteção articular (SANTOS *et al.*, 2018). Esses recursos favorecem a realização das tarefas ao ampliar a superfície de contato, melhorar a pega, aumentar a amplitude do movimento e reduzir o estresse articular (BEASLEY, 2012). O resultado deste projeto piloto aponta o descascador manual como um produto que atendeu aos principais objetivos propostos, demonstrando alinhamento com a literatura. O formato côncavo do descascador manual permite acomodar as articulações do polegar, protegendo-as de um esforço excessivo.

Os produtos assistivos podem ser encontrados em mercado comum, lojas especializadas, desenvolvimento sob medida e variam no tipo de material. No entanto, o alto custo e a baixa personalização ainda são barreiras para aquisição de produtos assistivos, especialmente em Serviço de Tecnologia Assistiva com recursos limitados (DEGERLI *et al.*, 2020). Neste contexto, a impressão 3D apresenta-se como um campo inovador, pela gama de diferentes produtos,

pelo baixo custo e em menor tempo de produção (DA SILVA *et al.*, 2020). Essa abordagem já tem sido validada em estudos como o de Schwartz *et al.* (2020), que demonstram a eficácia e a satisfação dos usuários com produtos impressos sob medida.

Os resultados obtidos por meio do B-Quest, do Diferencial Semântico e do Diário de Bordo evidenciam elevados níveis de satisfação, associados à funcionalidade, conforto, aparência e facilidade de uso do produto. Tais achados corroboram o estudo de Schwartz *et al.* (2020), que destaca o potencial da impressão 3D na construção de produtos assistivos personalizados com alta aceitação por parte dos usuários.

Além disso, esses resultados indicam que o descascador manual 3D atendeu aos objetivos propostos, sendo considerado eficaz, funcional e satisfatório pelas participantes. Em relação aos aspectos físicos, o produto foi descrito como leve, confortável, macio ao toque e com boa aderência, além de apresentar um acabamento visualmente agradável. Esses fatores influenciam diretamente a aceitabilidade do produto, conforme aponta Tullis e Albert (2008) e a NBR ISO 9241-11 (ABNT,2002) ao considerarem que a usabilidade não depende só da funcionalidade, mas também da sensação subjetiva do usuário ao interagir com o produto.

A versatilidade do dispositivo foi destacada por uma das participantes, que o adaptou para fatiar alimentos, demonstrando que a personalização pode incentivar novas formas de uso do produto para além da finalidade originalmente planejada. Esse tipo de adaptação também ratifica a pertinência do uso da impressão 3D, conforme discutido por Silva *et al.* (2020) e Degerli *et al.* (2022) que defendem a flexibilidade do design personalizado como diferencial central da TA impressa em 3D.

O resultado deste projeto piloto aponta o descascador manual como um produto que atendeu aos principais objetivos propostos, demonstrando alinhamento com a literatura.

5. CONCLUSÕES

A realização deste projeto piloto permitiu identificar que os resultados iniciais indicam boa usabilidade do descascador manual impresso em 3D, conforme evidenciado pelas avaliações realizadas por meio do Diferencial Semântico, do B-Quest e do Diário de Bordo. Esses instrumentos demonstraram que o uso do produto proporcionou conforto, agilidade e facilidade, contribuindo para a melhoria do desempenho dos participantes durante a atividade de cozinhar.

As contribuições desta pesquisa podem impactar tanto aos pacientes quanto à comunidade científica, especialmente no campo da intervenção em

Terapia Ocupacional. Sugere-se que o produto assistivo desenvolvido pode ser incorporado como uma estratégia não farmacológica para promover maior engajamento e desempenho ocupacional, favorecendo a autonomia e a qualidade de vida dos usuários. Ratifica-se o potencial da TA personalizada por impressão 3D como uma alternativa inovadora.

Espera-se que a conclusão desta pesquisa em andamento contribua para o avanço das pesquisas nesse campo, por meio da identificação de pontos positivos e negativos relacionados ao uso do descascador manual, da discussão sobre possíveis ajustes e da continuidade de estudos com foco na TA desenvolvida por meio da impressão 3D.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, sob o Código de Financiamento 001, pelo apoio à realização deste trabalho. Agradecemos também à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), ao Programa de Pós-Graduação em Design da UFSC (CAPES PROEX), ao Núcleo de Gestão de Design/Laboratório de Usabilidade da UFSC, à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e ao Laboratório de Tecnologia Assistiva e Terapia Ocupacional da UFPE (LabTATO-UFPE) pela realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9241-11:2011: Ergonomia da interação humano-sistema – Parte 11: Usabilidade: definições e conceitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

BRASIL. Instituto Nacional da Propriedade Industrial. *DESCASCADOR MANUAL PARA PESSOAS COM LIMITAÇÃO MUSCULAR E COMPROMETIMENTO ARTICULAR DOS MEMBROS SUPERIORES.* Titulares: EUGÊNIO ANDRÉS DIAZ MERINO *et al*., Patente: BR10202201672. Depósito em: 22 ago. 2022. Disponível em: https://busca.inpi.gov.br/pePI/servlet/PatenteServletController?Action=detail&CodPedido=1674263&SearchParameter=DESCASCADOR%20%20%20%20%20%20&Resumo=&Titulo=.

ALMEIDA, P. H. T. Q. de *et al*. Terapia ocupacional na artrite reumatoide: o que o reumatologista precisa saber? *Revista Brasileira de Reumatologia*, [S.l.], v. 55, n. 3, p. 272–280, maio/jun. 2015. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.rbr.2014.07.008. Acesso em: 8 maio 2025.

AMARAL, D. S. *Dispositivos de assistência no tratamento não farmacológico da osteoartrite de mãos.* 2016. 117 f. Dissertação (Mestrado em Reabilitação e Desempenho Funcional) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/jspui/bitstream/123456789/17863/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf.

AMARAL, D. S.; MERINO, G. S. A.; CABRAL, A. K. P. S. *GuiaTATO: guia de orientação para a prestação de serviço em tecnologia assistiva (TA) por terapeutas ocupacionais.* Recife: Editora UFPE, 2024.

BEASLEY, J. Osteoarthritis and Rheumatoid Arthritis: conservative therapeutic management. *Journal of Hand Therapy*, [S.l.], v. 25, n. 2, p. 163-172, abr./jun. 2012.

BERGER, V. M. *et al*. 3D-printing of personalized assistive technology. Em: *Lecture Notes in Computer Science*. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 135–142.

BERSCH, R. Introdução à tecnologia assistiva. Porto Alegre: *Tecnologia e Educação*, 2017. Disponível em: https://www.assistiva.com.br/Introducao_Tecnologia_Assistiva.pdf. Acesso em: 5 mar. 2025.

BORDIN CAMPONOGARA, B. T. *et al*. Aplicação do índice de funcionalidade em pessoas com doenças reumáticas. *Revista Família Ciclos de Vida e Saúde no Contexto Social*, v. 10, n. 2, p. 202–214, abr./jun. 2022.

CONCEIÇÃO, R. M. *et al*. A satisfação de indivíduos com artrite reumatoide com o uso de tecnologia assistiva. *Revista Interinstitucional Brasileira de Terapia Ocupacional*, Rio de Janeiro, v. 4, n. 2, p. 144-157, jul./dez. 2020.

DA SILVA, E. F. *et al*. Impressão 3D aplicada à tecnologia assistiva. *Revista Destaques Acadêmicos*, v. 12, n. 4, [S.l.], p. [não informado], out./dez. 2020. Disponível em: https://www.univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/2657/1774. Acesso em: 5 mar. 2025.

DEGERLI, Y. I.; DOGU, F.; OKSUZ, C. Manufacturing an assistive device with 3D printing technology – a case report. *Assistive Technology*, [S.l.], v. 34, n. 1, p. 121-125, jan./mar. 2022.

D'ELY, R. C. S. F. *A focus on learners' metacognitive processes: the impact of strategic planning, repetition, strategic planning plus repetition, and strategic planning for repetition on L2 oral performance.* 2006. 297 f. Tese (Doutorado em Inglês) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

GOMES, D.; TEIXEIRA, L.; RIBEIRO, J. Enquadramento da prática da terapia ocupacional: *domínio & processo.* 4. ed. Versão portuguesa de Occupational therapy practice framework: domain and process 4th edition (AOTA, 2020). Leiria: Politécnico de Leiria, 2021.

GOMES, M. D.; TEIXEIRA, L.; RIBEIRO, J. *Domínio & processo.* [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Liliana-Da-Conceicao-Teixeira/publication/357242882_Enquadramento_da_Pratica_da_TERAPIA_OCUPACIONAL_Dominio_Processo_4_Edicao. Acesso em: 10 maio 2025.

HERNANDEZ MARTIN, A. D. *et al.* Rehabilitación integral del paciente reumático. *Rev. Cuba Reumatol.*, La Habana, v. 16, n. 1, p. 15-22, abr. 2014. Disponível em: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1817-59962014000100003. Acesso em: 8 maio 2025.

OLIVEIRA, P. M. *et al*. Ações intervencionistas no alívio dos sintomas de doenças reumáticas em idosos. *Revista Univap, São José dos Campos*, v. 27, n. 53, p. [não informado], jan./jul. 2021. Disponível em: https://revista.univap.br/index.php/revistaunivap/article/view/4185. Acesso em: 8 maio 2025.

PARREIRA, M. M. *et al*. Papéis ocupacionais de indivíduos em condições reumatológicas. *Rev. Ter. Ocup. Univ. São Paulo*, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 127-133, maio/ago. 2013.

QUIRINO, A. T. S.; LEAL, V. F. A.; MELO, C. A. S. Evaluation of the epidemiological profile of patients with rheumatologic disease in a specialty center in Maraba, Para, Brazil. *Research, Society and De-*

velopment, v. 10, n. 11, p. e260101119504, nov. 2021. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/19504. Acesso em: 8 maio 2025.

REBELLO, P. A. *et al*. Estamos ensinando o que é necessário sobre doenças reumatológicas? *Revista Brasileira de Educação Médica*, v. 39, n. 2, p. 246-251, abr./jun. 2015.

SANTOS, P. S. *et al*. Uso de dispositivos de assistência por indivíduo com osteoartrite de mãos. *Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional*, v. 26, p. 145-152, jan./mar. 2018. Disponível em: https://www.medicina.ufmg.br/wp-content/uploads/sites/23/2020/07/artigo-TO-

SOCIEDADE BRASILEIRA DE REUMATOLOGIA. Doenças reumáticas acometem mais de 15 milhões de brasileiros de qualquer idade, causam limitações, aposentadoria precoce e sérios impactos no sistema de saúde no país. Press release, 6 out. 2021. Disponível em: https://www.reumatologia.org.br/press-releases/doencas-reumaticas-acometem-mais-de-15-milhoes-de-brasileiros-de-qualquer-idade-causam-limitacoes-aposentadoria-precoce-e-serios-impactos-no-sistema-de-saude-no-pais/.Acesso em: 8 maio 2025.

SCHWARTZ, J. K. *et al*. Metodologia e viabilidade de uma intervenção com tecnologia assistiva impressa em 3D. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, v. 15, n. 2, p. 141–147, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1080/17483107.2018.1539877. Acesso em: 24 maio 2025.

TULLIS, T.; ALBERT, B. *Measuring the user experience: collecting, analyzing, and presenting usability metrics*. Amsterdam: Morgan Kaufmann, 2008.

EIXO TEMÁTICO | Tratamento Clínico Individual

RELATOS TÉCNICOS

Desenvolvimento de arco flexível de apoio para aparelho auditivo retroauricular em pessoas com alterações anatômicas na orelha

Santos, Giovanna Zarpelon [*1]; Muniz, Laura Pardinho[2]; Foggiatto, José Aguiomar[3]

1 – Departamento de Mecânica, UTFPR, giovannazarpelon@alunos.utfpr.edu.br
2 – Departamento de Mecânica, UTFPR, lauramuniz@alunos.utfpr.edu.br
3 – Departamento de Mecânica, UTFPR, foggiatto@utfpr.edu.br
* -Correspondência: NUFER/DAMEC/UTFPR-CT – Rua Deputado Heitor de Alencar Furtado, 5000, Sala EM-101, Ecoville, Curitiba, PR, Brasil, 81280340.

DOI 10.52050/9788579177149-36

RESUMO

Este estudo descreve o desenvolvimento de um arco flexível para apoiar aparelhos auditivos retroauriculares em pacientes com deficiências anatômicas na orelha. O projeto visou criar uma solução discreta, confortável e funcional. Baseado em um estudo de caso, atendeu à demanda de um paciente por um suporte adaptado. O modelo foi projetado e produzido por modelagem e impressão 3D, resultando em um dispositivo eficaz, confortável e estável. A solução superou as limitações anatômicas do paciente e ampliou as possibilidades de reabilitação auditiva para pessoas com orelhas de anatomia atípica.
Palavras-chave: aparelho auditivo, tecnologia assistiva, deficiência anatômica de orelha.

ABSTRACT

This study presents the development of a flexible support for behind-the-ear hearing aids for patients with ear anatomical limitations. The project aimed to create a discreet, comfortable, and functional solution. Based on a case study, it met a patient's need for a customized support. The model was designed and produced through 3D modeling and printing, resulting in an effective, comfortable, and stable device. The solution overcame the patient's anatomical challenges and broadened hearing rehabilitation options for individuals with atypical ear anatomy.
Keywords: *hearing aid, assistive technology, ear anatomical disability.*

1. INTRODUÇÃO

A adaptação de objetos de assistência para pessoas com deficiência é essencial, pois cada deficiência apresenta características únicas que demandam soluções personalizadas, capazes de atender às necessidades individuais e promover a inclusão, autonomia e qualidade de vida. Assim, a tecnologia assistiva é fundamental para viabilizar uma vida mais confortável para portadores de qualquer tipo de deficiência, uma vez que se observa um papel importante na vida das Pessoas com Deficiência (PcD), auxiliando na realização das atividades diárias e promovendo a inclusão dos indivíduos (RAVNEBERG; SÖDERSTRÖM, 2017).

Nesse contexto, observa-se que indivíduos com alterações anatômicas, como ausência parcial de estruturas auriculares, muitas vezes enfrentam dificuldades relacionadas à fixação e estabilidade dos aparelhos auditivos convencionais. Essas limitações não apenas comprometem a funcionalidade do dispositivo, mas também afetam o conforto e a estética, podendo até mesmo impedir o uso desses aparelhos.

Vale ressaltar o valor estético que tange o uso de aparelhos auditivos, uma vez que o setor de aparelhos auditivos adota estratégias como a miniaturização dos dispositivos e o uso de tonalidades semelhantes à pele, o que transmite a ideia de que a deficiência auditiva deve ser disfarçada ou ocultada (RAVNEBERG, 2009). Uma abordagem de design voltada à camuflagem em detrimento da valorização estética nos dos aparelhos ainda persiste e essa negligência quanto ao aspecto visual pode reforçar o estigma associado ao uso de aparelhos auditivos, impactando negativamente a identidade e a aceitação social de seus usuários (JACOBSON et al., 2014). Dessa forma, atualmente buscam-se propostas para dar características de acessórios aos aparelhos auditivos a fim de melhorar a adesão e aceitação. Segundo Cunha e Merino (2018), o design dos aparelhos auditivos pode ser pensado também como um acessório de moda.

No entanto, usando a modelagem 3D e a impressão 3D foi possível gerar uma alternativa acessível para a adaptação de dispositivos assistivos, permitindo a criação de modelos adaptados a necessidades atípicas. Este estudo foca no desenvolvimento de um arco flexível para suporte de aparelhos auditivos retroauriculares, com o objetivo de atender às demandas de um paciente com características anatômicas atípicas. O dispositivo visa conforto, estabilidade, funcionalidade e um design discreto.

Uma abordagem individualizada fez-se necessária por se tratar de paciente portador da Síndrome de Kabuki ou Síndrome de Niikawa-Kuroki, uma doença genética rara na qual a face dos portadores se assemelha à maquiagem do tradicional teatro japonês Kabuki (GABRIELI *et al.*, 2002). Segundo Niikawa

et al. (1988), um dos principais estudiosos da síndrome de Kabuki, no Japão a prevalência dessa síndrome é de 1 a cada 32000 pessoas e no restante do mundo a incidência é crescente.

A Síndrome de Kabuki pode manifestar características distintas em cada paciente, porém através do estudo de Niikawa *et. al.* (1988) foi estabelecido de forma definitiva o fenótipo da doença, destacando-se cinco sinais de características faciais, entre elas pode ser observado orelhas proeminentes (OLIVEIRA, 2000). Além disso, cerca de 50% dos pacientes apresentam perda auditiva devido a malformações e infecções recorrentes de ouvido médio.

É comum portadores da Síndrome de Kabuki optarem por realizar cirurgias ou procedimentos estéticos para alterar as características físicas típicas da doença, assim como o paciente do caso em questão optou por realizar uma otoplastia, cirurgia que une as orelhas à cabeça, comumente realizada por pessoas que se queixam de ter as orelhas proeminentes (orelhas de abano).

Este estudo reforça a importância da tecnologia assistiva com interdisciplinaridade entre engenharia, design e saúde na criação de dispositivos assistivos inovadores e personalizados. "O impacto positivo dos produtos assistivos vai muito além da melhoria da saúde, do bem-estar, da participação e da inclusão dos usuários individuais — famílias e sociedade também se beneficiam. Além das exigências políticas, os benefícios econômicos e sociais fortalecem o argumento para que os sistemas de saúde e assistência social invistam em produtos assistivos e serviços relacionados" (WHO, 2022, p. 11).

2. DESENVOLVIMENTO

a) Levantamento de requisitos

O primeiro passo do projeto foi levantar os requisitos do paciente, que foram:

- Flexibilidade de tamanho para possibilitar encaixe em diferentes posições;
- Estética discreta e harmônica;
- Conforto, mantendo boa estabilidade sem fazer pressão excessiva na cabeça.
- Possibilidade de usar o arco tanto de forma horizontal, passando na parte traseira da cabeça, quanto de forma vertical, passando na parte superior da cabeça;

Durante o desenvolvimento foram utilizados os seguintes filamentos que estavam disponíveis no laboratório:

- PLA (ácido polilático): material extremamente versátil, muito utilizado na tecnologia assistiva, porém relativamente frágil, portanto, seu uso deve

ser evitado em componentes que exigem alta resistência mecânica, bem como em peças expostas a temperaturas de aproximadamente 60°C ou superiores. (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017).

- PLA com fibra de carbono: segundo o site do fornecedor Slim 3D, possui como características ser extremamente resistente, moderadamente flexível, porém com pouca resistência ao calor.
- TPU (poliuretano termoplástico): é um composto flexível e de menor densidade, comumente utilizado quando se busca, reciclabilidade, resistência ao desgaste e possibilidade de dobras e tração (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017).
- ABS: trata-se de um copolímero formado por três monômeros distintos: acrilonitrila, butadieno e estireno. Sua impressão exige um nível mais avançado de conhecimento técnico, além do uso de uma mesa aquecida. Comparado ao PLA, o ABS se destaca por suas melhores propriedades mecânicas, sendo um material mais resistente, durável e leve. Além disso, apresenta maior tolerância a temperaturas elevadas e possui certa flexibilidade (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017).

b) Projeto e modelagem 3D

Com base nos requisitos levantados, iniciou-se a modelagem do arco de suporte no programa *Solidworks*.

No primeiro momento, foi desenvolvido um conceito com traves e encaixe da estrutura do aparelho auditivo do tipo "Snap-fit Circular", impresso com filamentos de PLA, TPU e PLA com Fibra de Carbono.

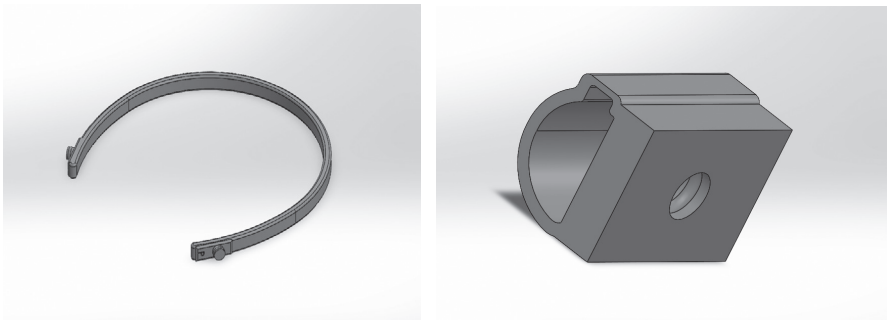
Figura 01 - Modelagem Inicial



De acordo com a avaliação realizada no primeiro protótipo, foi feito um segundo modelo, mantendo o encaixe "Snap-fit circular", porém dessa vez, a fim de promover um design mais discreto, o sistema de travas foi substituído por

um arco liso, mas impresso com filamentos de PLA com fibra de carbono e TPU, conforme as Figuras 2a e 2b.

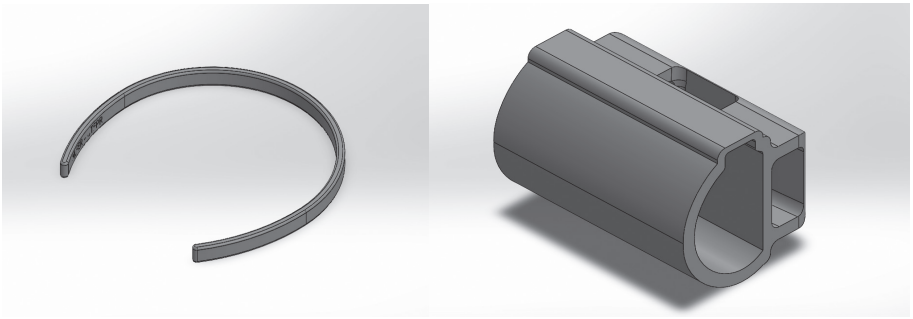
Figura 02 - Concepção inicial: a) Arco em PLA com fibra de carbono e b) Encaixe "Snap-fit circular" impresso em TPU



(a) (b)

Conseguinte, foi possível chegar no modelo final desenvolvido. Nesse projeto, o arco foi impresso com ABS, e o encaixe "Snap-fit circular" foi substituído por um encaixe semelhante à uma gaveta, conforme as Figuras 3a e 3b.

Figura 3 - Concepção final: a) Arco em ABS e b) Encaixe em TPU



(a) (b)

Finalmente, esse modelo cumpriu todos os requisitos propostos, podendo ser usado tanto de forma horizontal quanto vertical, com conforto e design discreto. Na Figura 4 pode-se observar o modelo acima impresso com o aparelho auditivo acoplado.

Figura 4 - Modelo final impresso



c) Impressão 3D

A manufatura aditiva, também chamada de impressão 3D, é um processo no qual é possível criar objetos a partir de modelos digitais através da adição de material camada por camada. Os modelos digitais passam por um software que fatia o arquivo em camadas finas de baixo para cima, orientando, assim, os movimentos das impressoras. Para essa etapa, foram utilizados os fatiadores *Bambu Slicer* e *Creality Print* 6.1.

Foram utilizadas duas impressoras: as peças em PLA e em ABS foram impressas na impressora X1 Carbon (*Bambu Lab*), e as partes em TPU foram impressas na impressora K1 Max (*Creality*).

No modelo final, para o arco o tempo de impressão foi de 30 minutos, utilizando 8g de filamento de ABS. Já para a impressão de cada encaixe, foram necessários 24 minutos para a impressão, utilizando 2,40g de filamento de TPU. Os parâmetros de impressão estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 01 - Parâmetros de impressão

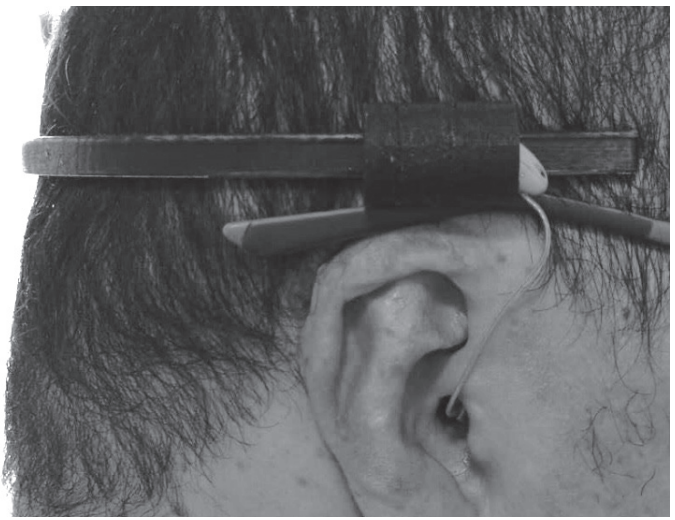
Configurações	ABS	TPU
Altura de camada - mm	0,16	0,16
Temperatura de extrusão - °C	260	230
Temperatura da mesa - °C	105	50
Velocidade do perímetro externo - mm/min	100	200
Velocidade do perímetro interno - mm/min	150	300
Preenchimento - %	10	20

3. RESULTADOS

O resultado obtido no último protótipo com o desenvolvimento do suporte foi a partir da análise de todos os requisitos estabelecidos, levando em conta correções dos protótipos anteriores. Na Figura 5 observa-se o uso do protótipo.

No que tange ao conforto, o usuário relatou que o material utilizado (ABS) proporcionou boa estabilidade no crânio, mantendo-se firme e sem causar desconforto durante as atividades cotidianas. Quanto ao quesito de resistência e durabilidade, o paciente relatou que o arco não apresentou nenhum tipo de defeito e respondeu bem a todos os tipos de esforços aplicados, como calor e flexão. A estética foi satisfatória, pois seu design foi minimalista, resultando em um conceito discreto durante o uso.

Figura 07 - Utilização do protótipo



Apesar de funcionais, os modelos anteriores não atendiam todos os requisitos propostos. O modelo da Figura 1 apresentou boa funcionalidade, porém com um design robusto. Já o modelo das Figuras 2a e 2b, apesar de ter um design satisfatório, notou-se após um período com o paciente utilizando o protótipo que as propriedades do material do arco (PLA com fibra de carbono) não eram satisfatórias, uma vez que a geometria se alterava quando exposta ao calor do corpo humano e do sol. No modelo final foi possível corrigir todos os problemas observados no período de uso.

Os resultados gerais confirmam a viabilidade do uso da impressão 3D para o desenvolvimento de dispositivos assistivos personalizados, destacando o potencial dessa tecnologia para atender a demandas individuais e melhorar a qualidade de vida de pessoas com deficiência.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se assim, que os resultados evidenciaram que o suporte apresentou boa adaptação anatômica, resistência mecânica satisfatória e facilidade de uso, permitindo a reabilitação auditiva de maneira eficiente. Além disso, o design discreto e leve contribuiu para a aceitação estética do dispositivo, fator essencial para a adesão do usuário ao uso contínuo.

Além disso, a impressão 3D mostrou-se uma ferramenta promissora para a fabricação de soluções acessíveis e adaptadas às necessidades individuais, ampliando as possibilidades de inclusão e qualidade de vida para pessoas com deficiência.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação Araucária pelo apoio financeiro através do NAPI-TA (Novo Arranjo de Pesquisa e Inovação em Tecnologia Assistiva) e ao CNPq pela bolsa de produtividade em desenvolvimento tecnológico e extensão inovadora. Ainda, agradecemos aos colegas de iniciação científica e professores que auxiliaram no processo.

REFERÊNCIAS

BESKO, M.; BILYK, C.; SIEBEN, P. G. Aspectos técnicos e nocivos dos principais filamentos usados em impressão 3D. *Revista Eletrônica dos Cursos de Engenharia*, Curitiba, v. 1, n. 3, p. 12-14, 2017.

CUNHA, J. M.; MERINO, G. S. A. D. *Design e tecnologia assistiva: o aparelho auditivo como acessório de moda.* 2018. 12 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Design) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

GABRIELI, A. P. T.; ROVARIS, F. V.; BISOL, L. E.; BORGES, L.; MICHELIN, M. M.; LOVATTO, L. Síndrome da maquiagem de kabuki. *Acta Ortopédica Brasileira*, São Paulo, v. 10, n. 3, p. 57–61, jul./set. 2002.

JACOBSON, S. *Personalised assistive products: managing stigma and expressing the self.* 2014. Dissertação (Doutorado em Design) – Aalto University School of Arts, Design and Architecture, Helsinki, 2014. Helsinki: Aalto ARTS Books.

NIIKAWA, N.; Kabuki make-up (Niikawa-Kuroki) syndrome: a study of 62 patients. *American Journal of Medical Genetics,* v. 31, n. 3, p. 565–589, nov. 1988.

OLIVEIRA, G. S. *Estudo genético-clínico de indivíduos com características da Síndrome Kabuki.* 2000. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Médicas) – Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2000.

RAVNEBERG, B. Identity politics by design: users, markets and the public service provision for assistive technology in Norway. *Scandinavian Journal of Disability Research*, v. 11, n. 2, p. 101–115, 2009.

RAVNEBERG, B.; SÖDERSTRÖM, S. *Disability, society and assistive technology.* London: Routledge: Taylor & Francis, 2017.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION; UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND (UNICEF). *Global report on assistive technology.* Geneva: World Health Organization, 2022.

Jogo Mar das Emoções: dispositivo de tecnologia assistiva para crianças com autismo

Ferreira, Giovana[1], Costa, Diogo Pontes[2]

1 – BAI, UFRJ, bai@eba.ufrj.br

2 – BAI, UFRJ, bai@eba.ufrj.br

*- Correspondência: Av. Pedro Calmon, n°550 – Térreo – Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ, Brasil, 21941-901.

DOI 10.52050/9788579177149-37

RESUMO

As pessoas com autismo interagem, mas precisam de recursos que facilitem essa interação. Para isso, os pesquisadores precisam desenvolver ferramentas que as apoiem e tornem a interação mais acessível. Dentro desse cenário, a pesquisa demonstra o processo de construção de um dispositivo que estimula crianças com Transtorno do Espectro Autista (TEA) a se desenvolverem psicossocialmente. A partir disso obteve-se um jogo de tabuleiro que trabalha as cinco emoções básicas nessas crianças de forma lúdica e pedagógica. A aplicação do jogo na clínica mostrou resultados positivos e relevantes para o público-alvo, indicando sua eficácia em atender às necessidades das crianças com TEA.
Palavras-chave: Design Industrial, Tecnologia Assistiva, Autista.

ABSTRACT

Individuals with autism are capable of interaction, but often require tailored resources to facilitate social engagement. To address this need, researchers are developing innovative tools that provide support and enhance accessibility. This study showcases the design and development of a device aimed at fostering psychosocial growth in children with Autism Spectrum Disorder (ASD). The outcome is a board game that playfully and pedagogically explores the five fundamental emotions, promoting emotional intelligence in these children. Clinical trials have yielded promising results, demonstrating the game's effectiveness in meeting the unique needs of children with ASD and highlighting its potential as a valuable therapeutic tool.
Keywords: *Industrial Design, Assistive Technology, Autism.*

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o crescente número de diagnósticos autísticos mundial, estima-se que há uma dominância de 70 casos para cada 10.000 habitantes (PINTO et al., 2016). Conforme o Manual Diagnóstico e Estatístico dos Transtornos Mentais (DSM), há três níveis de intensidade dos sintomas de modo geral que afetam pessoas autistas: 1 - Leve; 2 – Moderado; 3 - Severo. Isto é, são distinções que facilitam o tratamento dessas pessoas, nesse caso a característica em ênfase para o projeto foram dificuldades na comunicação e habilidades sociais.

Para uma inclusão efetiva de pessoas com autismo na sociedade, é fundamental desenvolver suas capacidades de socialização, incluindo inteligência emocional e maturidade cognitiva. A infância é um período crucial para as primeiras descobertas e experimentações, mas crianças com autismo podem apresentar atrasos na fala e interação, tornando essencial intervenções precoces e personalizadas.

Um estudo realizado em uma clínica de desenvolvimento infantil no Rio de Janeiro revelou que um dos principais desafios enfrentados pelos pacientes era a dificuldade em reconhecer e lidar com emoções. Sucksmith et al. (2013) alega que quando seis das emoções básicas foram analisadas separadamente, o grupo de crianças com TEA apresentou desempenho prejudicado em cinco deles. Portanto, uma proposta sugerida pela Clínica, envolvida neste estudo, foi a criação de um Jogo de auxílio nas consultas de terapia em questões emocionais.

Diante deste cenário, o objetivo desta pesquisa consiste em **descrever o processo de desenvolvimento do jogo Mar das Emoções, um Dispositivo de Tecnologia Assistiva (DTA) para auxiliar no processo de socialização das crianças com TEA tipo 1.**

Ademais, pretende- se com esse projeto que as crianças com TEA tenham autonomia para expressar suas emoções, como também aperfeiçoar capacidades empáticas. Assim sendo, a justificativa principal para o desenvolvimento deste projeto está na dificuldade de comunicação que crianças com TEA apresentam.

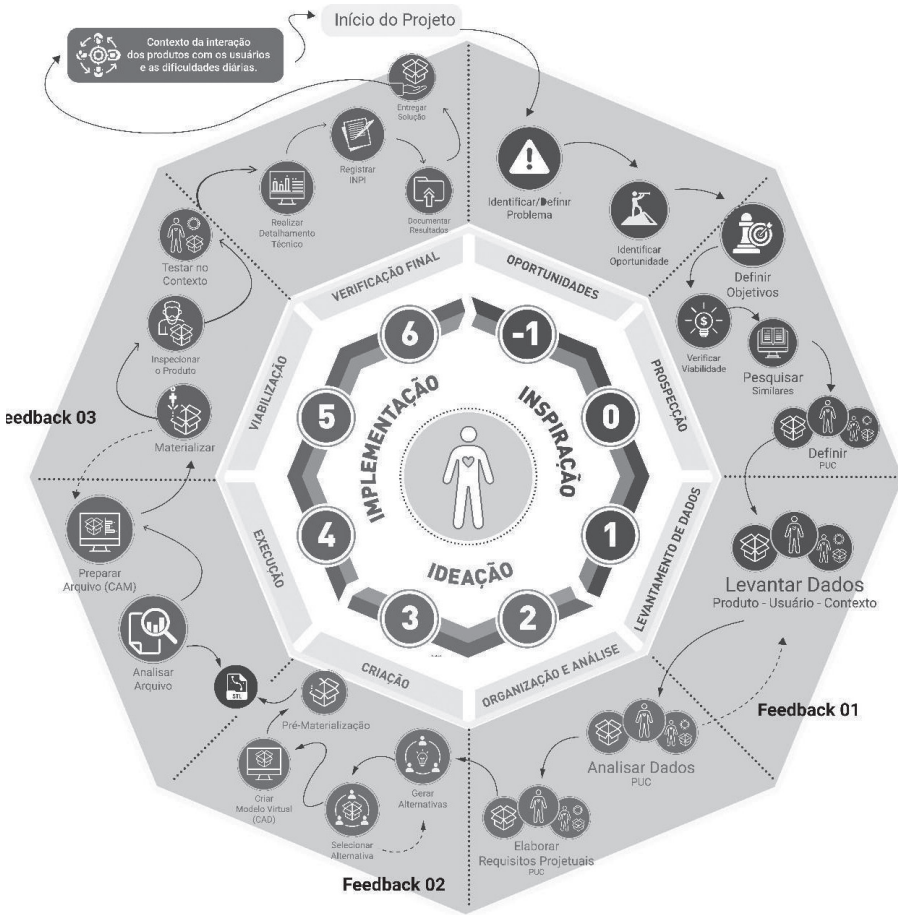
1. METODOLOGIA

Este estudo utilizou uma abordagem qualitativa, de natureza exploratória, com o objetivo de coletar informações que contribuíssem para a compreensão do desenvolvimento do produto, bem como para a análise da perspectiva metodológica adotada. Dessa forma pode- se observar que ocorreram duas fases especificadas a seguir.

A primeira fase consistiu em um caráter teórico, levantamento de dados realizados em diferentes meios disponíveis, visando interpretar os problemas e contextos.

A segunda fase teve um caráter prático e foi conduzida utilizando o Conjunto de Procedimentos do Guia de Orientação para o Desenvolvimento de Projetos (CP-GODP), proposto por Costa, Merino e Merino (2023). Esse processo metodológico prioriza o ser humano e incorpora princípios do Design Thinking, organizando 27 procedimentos projetuais de forma sistemática, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Sistematização visual do GODP.

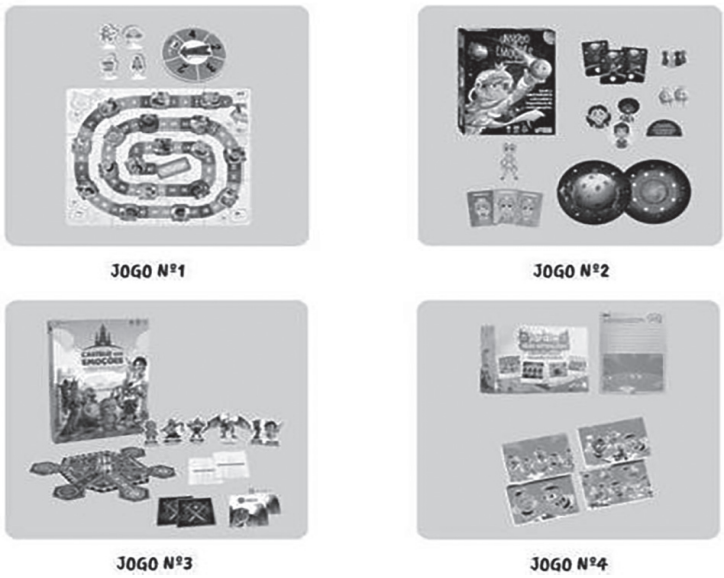


Fonte: Costa, Merino e Merino (2023).

2. DESENVOLVIMENTO

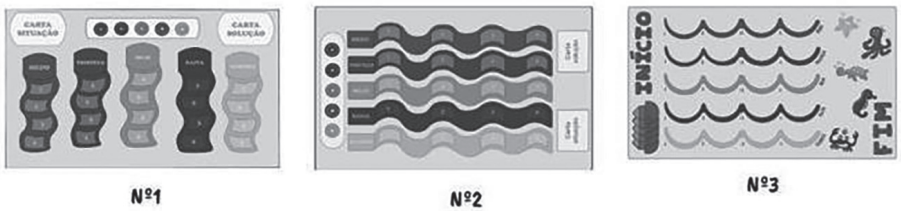
O primeiro momento (Inspiração), aconteceu por meio da etapa prospecção com a pesquisa de jogos com tema similar de emoções em sites de loja de brinquedo e a síntese desse compilado das oportunidades encontradas assim como demonstrado na (Figura 2).

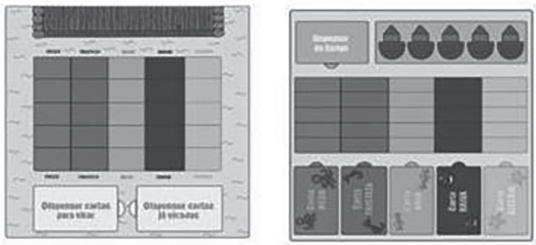
Figura 2 - Quadro das Similares



O segundo momento (ideação), abarcou parte da criação do projeto, como a parte com os desenhos da geração de cada alternativa (Figura 3) do protótipo em estudo, para então chegar na matriz de decisão e prosseguir para a modelagem virtual.

Figura 3 - Quadro das Alternativas





Após a finalização do modelo virtual, iniciou-se a terceira etapa (implementação), que envolveu a execução final do produto. Para garantir a eficácia do jogo, especialistas em psicologia clínica realizaram análises do protótipo, avaliando sua eficiência no contexto clínico e terapêutico. A Figura 4 ilustra o modelo pré-materializado.

Figura 4 - Protótipo



Para essa verificação foi necessário uma conversa na Clínica colaborada junto do especialista da área de psicologia que compartilhou avaliações relevantes através da sua ótica de vivência sugerindo pequenos ajustes para que o produto obtivesse potencial para auxiliar no tratamento das crianças e mitigar as dificuldades de socialização.

Na parte da materialização foi optado pelo processo de fabricação em FDM (Modelagem De Deposição Fundida), com o uso de uma máquina de impressão 3D, utilizando o material de filamento em PLA (ácido polilático). Para as demais aplicações feitas ao produto antes de finalizá-lo, foram empregados adesivos colorindo e delimitando as áreas com destaque no jogo, também houve a impressão e a plastificação dos cards e lousas em papel sulfite 75g, de maneira

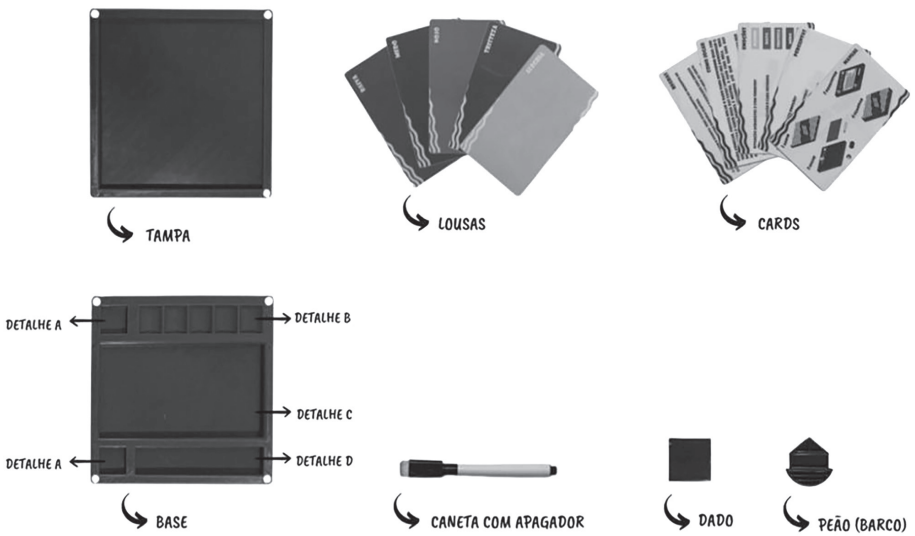
que eles podem ser reutilizado em mais de uma partida, assim como em outras consultas, tendo uma maior durabilidade e facilidade de limpeza.

3. RESULTADOS

Em síntese, o Dispositivo de Tecnologia Assistiva obtido nesse desenvolvimento está representado na (Figura 5) com todos os componentes e peças disponíveis. Nota-se que existe uma base que está dividida conforme os detalhes A, B, C e D representados na imagem abaixo, onde há a parte das ondas (Detalhe B da Figura 5) que serve para o peão, que está representado como um barco a ser encaixado durante a partida.

Possui duas áreas para guardar esse peão e o dado (Detalhe A da Figura 5),além de outra área para colocar a caneta com apagador (Detalhe D da Figura 5). Já a área centro (Detalhe C da Figura 5), serve para armazenar as lousas e os cards. Por fim, para abrir e fechar o jogo e ser transportado, criou-se uma tampa unida por ímãs de neodímio.

Figura 5 - Explicação do Tabuleiro e suas Peças



Com relação a jogabilidade, inevitavelmente é necessária a presença do mediador, no caso o terapeuta, para garantir o cumprimento das regras e para guiar o participante, que nesse contexto é a criança paciente da consulta.

O início acontece após a leitura de todos os cards, dos quais inclui as regras dizendo o que pode e não pode fazer durante as partida; como jogar, que é um passo a passo de como acontece a partida; emoções, que demonstra qual cor (amarelo, azul, roxo, verde e vermelho) é referente a cada emoção

respectivamente (alegria, tristeza, medo, nojo e raiva) e uma breve definição delas; perguntas, com uma lista de sugestões para o moderador utilizar na sessão e um manual explicando da disposição do jogo e suas peças.

As rodadas do jogo seguem o seguinte fluxo: após o terapeuta ler as instruções, a criança começa a jogar. Ela rola o dado colorido, que corresponde às cinco emoções representadas no tabuleiro, e posiciona o peão (um barquinho) na onda correspondente à cor sorteada. Em seguida, a criança pega a lousa colorida correspondente à emoção sorteada, dando início à dinâmica do jogo.

Com base na emoção sorteada, o paciente utiliza a caneta com apagador para expressar seus sentimentos, pensamentos e desejos de forma livre e descontraída. Após se expressar, o terapeuta intervém com suas ferramentas de trabalho, ajudando o paciente a lidar com os sentimentos e situações descritas. Em seguida, o paciente rola novamente o dado, sorteia uma nova cor e emoção, e repete o processo até completar todas as emoções, sem repetições.

A meta do jogo Mar das Emoções é que a criança explore e compreenda as cinco emoções, identificando, diferenciando e expressando cada uma delas. Ao alcançar esse objetivo, a criança desenvolve autoconhecimento e aprende a reconhecer e lidar com essas emoções em si mesma e nos outros..

O resultado do jogo foi considerado relevante, levando a um pedido de registro de desenho industrial junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) por meio da Área de Propriedade Intelectual da Secretaria de Inovação da UFRJ.

4. CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou ser eficaz em apoiar famílias e clínicas com um dispositivo de tecnologia assistiva para crianças com autismo, oferecendo um brinquedo adaptável tanto para ambientes domésticos quanto clínicos. Entre os ganhos e contribuições, destacam-se a expansão do mercado para jogos terapêuticos e a inspiração para novos projetos e pesquisas sobre tecnologias assistivas para crianças com Transtorno do Espectro Autista (TEA), incentivando outros desenvolvedores e pesquisadores a explorar essa área. Futuramente, será necessário avaliar a viabilidade econômica para a produção em larga escala do jogo, bem como realizar testes com múltiplos usuários em uma mesma partida para analisar a dinâmica do jogo em grupo e identificar possíveis melhorias.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Desenho Industrial, ao Laboratório de Design Industrial e Experiências Projetuais (Lab. DIEP) e à Fundação de Amparo à Pesquisa Carlos Chagas (FAPERJ).

REFERÊNCIAS

COSTA, D.; MERINO, Eugenio Andrés Díaz; MERINO, Giselle Schmidt Alves Díaz (org.). *Conjunto de Procedimentos: Um guia de auxílio à Prática Projetual Centrada no Humano*. 1. ed. rev.

Florianópolis: Programa de Pós-Graduação em Design, 2023. 40 p. v. 1. ISBN 978-65-00-64172-1. DOI: 10.13140/RG.2.2.10980.76168. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/372365023_Organizacao_e_sistematizacao_de_um_co njunto_de_procedimentos_uma_proposta_de_auxilio_a_pratica_projetual_do_design.

DECETY, J. JACKSON, P. L. The functional architecture of human empathy. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, Thousand Oaks, CA. v. 3, n. 2, p.71-100. 2004.

GAIGG,S.B. The interplay between emotion and cognition in autism spectrum disorder: implications for developmental theory. *Frontiers in Integrative Neuroscience,* London. v. 6, n.113, p. 1-35.2012.

SUCKSMITH, E. et al. Empathy and emotion recognition in people with autism, first-degree relatives, and controls. *Neuropsychologia*, London. v. 51,n.1, p.98-105. 2013.

PINTO,R. N.M. et al. . Autismoinfantil: impacto do diagnóstico e repercussões nas relações familiares. *Revista Gaúcha de Enfermagem*, Porto Alegre. v. 37, n. 3, p.1. 2016.

GuiaTATO como ferramenta de apoio à prática extensionista em Tecnologia Assistiva: relato técnico

Amaral, Daniela Salgado[1]; De Santana, Alaiza Adalia Silva[2], Coêlho, Anne Beatriz Araújo[3]; De Oliveira, João Pedro Barbosa Ferreira[4]; Santos, Rafaela Do Nascimento[5]; Cabral, Ana Karina Pessoa da Silva[6]; Merino, Giselle Schmidt Alves Diaz[7]

1- Departamento de Terapia Ocupacional, UFPE, daniela.amaral@ufpe.br
2- Departamento de Terapia Ocupacional, UFPE, alaiza.adalia@ufpe.br
3- Departamento de Terapia Ocupacional, UFPE, anne.coelho@ufpe.br
4- Departamento de Terapia Ocupacional, UFPE, joao.bfoliveira@ufpe.br
5- Departamento de Terapia Ocupacional, UFPE, rafaela.nascimentosantos@ufpe.br
6- Departamento de Terapia Ocupacional, UFPE, anakarina.cabral@ufpe.br
7- Departamento de Desing , UDESC, gisellemerino@gmail.com
* - Correspondência: Rua Dr José Maria, 658/2802, Encruzilhada, Recife - PE, Brasil, 52041-015.

DOI 10.52050/9788579177149-38

RESUMO

Este relato técnico descreve a aplicação do Guia de Orientações para o Serviço de Tecnologia Assistiva (TA) por Terapeuta Ocupacionais (GuiaTATO) em um projeto de extensão universitária voltado à prestação de serviços em TA. O Guia foi implementado no projeto AcessaTA, com o objetivo de sistematizar as etapas do serviço e orientar a atuação da equipe. A aplicação envolveu capacitação interna, gerenciamento das ações e a utilização nos atendimentos. Os resultados indicam que o Guia contribuiu para uma maior organização da equipe e engajamento dos usuários, evidenciando seu potencial como instrumento de apoio à prática profissional e à formação acadêmica.
Palavras-chave: Tecnologia Assistiva, Serviço de Tecnologia Assistiva, Terapia Ocupacional

ABSTRACT

This technical report describes the application of the Assistive Technology Service Guidelines for Occupational Therapists (GuiaTATO) in a university extension

project focused on the provision of Assistive Technology (AT) services. The Guide was implemented in the AcessaTA project with the aim of systematizing service delivery steps and guiding the team's actions. The implementation involved internal training, action management, and its practical use during service provision. The results indicate that the Guide contributed to improved team organization and greater user engagement, highlighting its potential as a support tool for both professional practice and academic training.
Keywords: *Assistive Technology, Assistive Technology Service, Occupational Therapy.*

1. INTRODUÇÃO

O serviço de Tecnologia Assistiva (TA) refere-se ao processo que o usuário percorre para a aquisição de um produto assistivo (US GOVERNMENT, 2004; ANDRICH, 2012). Esse fluxo é composto por diversas etapas, entre elas: o momento inicial, que corresponde ao primeiro contato do usuário com o serviço; a avaliação das necessidades; a indicação da solução em TA; a seleção do produto assistivo; a etapa de autorização, na qual são identificadas as possibilidades de financiamento; a implementação, que envolve a entrega, montagem e o treino de uso; e, por fim, o gerenciamento e acompanhamento, que inclui a manutenção e o seguimento do uso (ANDRICH, 2012; LAYTON *et al.*, 2023). O elevado número de etapas, a complexidade dos processos e a diversidade dos casos tornam a execução do serviço de TA um desafio (MACLACHLAN; SCHERER, 2018; ANDRICH *et al.*, 2019).

A realização eficaz do serviço de TA depende de um fluxo bem estruturado, da adoção de boas práticas recomendadas, de uma abordagem centrada no usuário e da atuação de profissionais capacitados (WITTE *et al.*, 2018), e pode impactar diretamente tanto o acesso quanto a qualidade do uso dos produtos assistivos (RANADA; LIDSTRÖM, 2017; BRANDT; HANSEN; CHRISTENSEN, 2019). Uma equipe com profissionais qualificados é considerada essencial para a atuação no serviço de TA (WITTE *et al.*, 2018) e o terapeuta ocupacional é referenciado, como um profissional apto e importante nesse processo, devido à sua expertise na análise e intervenção nas ocupações (WITTE *et al.*, 2018; WFOT, 2020).

A Terapia Ocupacional é uma profissão da área da saúde que tem como principal objetivo promover autonomia e independência na realização das ocupações, entendidas como atividades cotidianas realizadas de forma individual ou coletiva, e que possuem sentido e propósito para o sujeito (GOMES; TEIXEIRA; RIBEIRO, 2020). O terapeuta ocupacional que atua no serviço de TA frequentemente necessita de estratégias que potencializam sua atuação (IGBO,

2016; ALVAREZ *et al*., 2019; AMARAL; MERINO; CABRAL, 2023a). Neste sentido, destacam-se ferramentas que apoiem os profissionais, inclusive os terapeutas ocupacionais, orientando-os para uma prática mais eficiente e baseada em evidências, como é o caso do GuiaTATO (AMARAL, 2023).

O GuiaTATO, Guia de Orientação para a Prestação de Serviço em TA por Terapeutas Ocupacionais, desenvolvido por Amaral (2023), tem como finalidade orientar a atuação dos terapeutas ocupacionais no processo de prestação de serviços em TA, com uma abordagem centrada no usuário (AMARAL, 2023). Configura-se como uma ferramenta orientativa aplicável tanto no contexto acadêmico quanto na prática clínica. (AMARAL; MERINO; CABRAL, 2023a, 2023b, AMARAL; MERINO; CABRAL, 2024).

O ambiente acadêmico é considerado como um espaço potente para a prestação de serviços em TA, pela oportunidade da atuação de equipes interdisciplinares e a realização de ações qualificadas e inovação tecnológica, aprimorar a formação do aluno, e atendimento à comunidade interna e externa à universidade (AMARAL, 2023; AMARAL; MERINO; CABRAL, 2023a). Considerando esse contexto, o objetivo deste relato técnico é descrever a aplicação do GuiaTATO em um projeto de extensão com foco na prestação de serviços em TA, vinculado a um laboratório de pesquisa em TA do curso de Terapia Ocupacional de uma universidade pública do Nordeste.

2. DESENVOLVIMENTO

O GuiaTATO foi adotado como protocolo de referência para a prestação de serviços em TA no âmbito do projeto de extensão "AcessaTA", devido ao alinhamento com os objetivos da proposta do projeto de extensão, que tem a intenção de oferecer o atendimento terapêutico ocupacional, com foco no serviço de TA para pessoas com deficiência, idosos e doentes crônicos, além de capacitar terapeutas ocupacionais vinculados ao SUS, docentes e discentes quanto a atuação baseada em evidências e centrada no usuário no serviço de TA. O projeto AcessaTA está em vigência há 8 meses e conta com uma equipe composta por terapeutas ocupacionais (docentes e discentes), designers, engenheiros e médicos. Está vinculado ao Laboratório de TA e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Pernambuco (LabTATO – UFPE), que há 12 anos desenvolve ações de ensino, pesquisa e extensão na área de TA.

O GuiaTATO tem como proposta a sistematização do serviço de Terapia Ocupacional, do serviço de TA e das ações do usuário (AMARAL; MERINO; CABRAL, 2024). Sua aplicação pode contribuir para minimizar desafios recorrentes em projetos de TA, como dificuldades na gestão da equipe, falhas na

comunicação entre os integrantes e a ausência de sistematização no processo de prestação de serviços (AMARAL, 2023).

A aplicação do GuiaTATO no projeto AcessaTA ocorreu em três momentos distintos:

Momento 1 – Realizou-se um treinamento interno com a equipe sobre o uso da ferramenta, por meio de aula expositiva, dinâmicas e atividades práticas.

Momento 2 – A equipe discutiu e selecionou as ferramentas, processos e instrumentos sugeridos pelo GuiaTATO que seriam utilizados no projeto.

Momento 3 – O Guia foi aplicado na condução dos atendimentos de Terapia Ocupacional, com foco no serviço de TA.

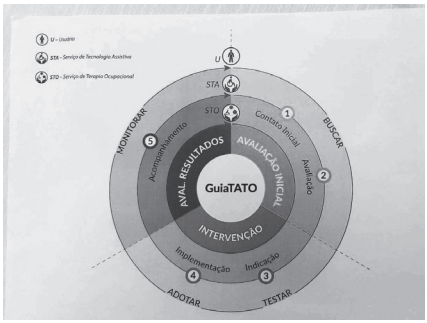
Salienta-se que o projeto de extensão AcessaTA encontra-se em andamento. Ao final de sua execução, será realizada uma avaliação sobre o uso do GuiaTATO, por meio de um grupo focal, no qual serão identificados os pontos positivos e negativos da experiência, além da identificação de sugestões para possíveis ajustes.

3. RESULTADOS

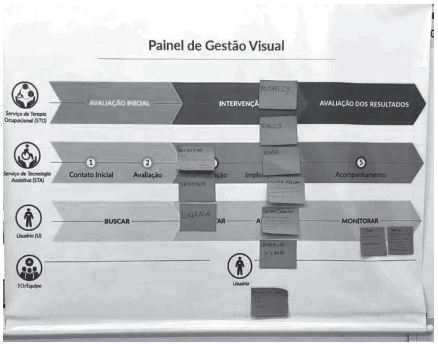
A) Momento 1: Para o estudo do GuiaTATO, foram realizadas capacitações internas com a equipe e oficinas associadas às disciplinas de laboratório e disciplinas aplicadas do curso de Terapia Ocupacional da UFPE. Essa articulação entre extensão e ensino contribuiu para a consolidação do conhecimento da equipe envolvida no projeto e para a capacitação de outros discentes quanto à proposta e ao uso do GuiaTATO.

B) Momento 2: O fluxo do serviço utilizado, os processos adotados e os instrumentos aplicados foram definidos em reunião com a equipe. O GuiaTATO é composto por quatro partes: Figura do fluxo completo do serviço, Painel de gestão visual, Conjunto de Cartas Orientativas e a Ficha "Jornada do Processo" (AMARAL; MERINO; CABRAL, 2023b). Todas essas partes foram aplicadas na prática do serviço de TA no âmbito do projeto (Figura 1). A Tabela 1 apresenta as partes do GuiaTATO utilizadas.

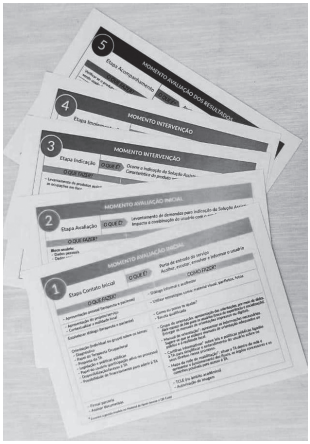
Figura 1 - Partes do GuiaTATO usados no AcessaTA. Legenda: (A- Fluxo do Serviço; B- Painel de Gestão Visual; C- Cartas orientativas; D- Ficha "Jornada do Processo")



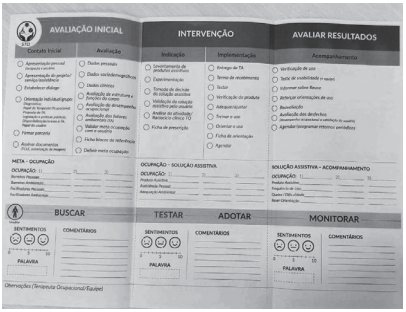
A



B



C



D

Tabela 1 - Partes do GuiaTATO utilizadas no AcessaTA.

Partes do Guia	AcessaTA
Figura do Fluxo do Serviço	O material foi fixado na sala principal do LabTATO, com o objetivo de facilitar a visualização, por parte da equipe, da sistematização entre o serviço de TA, o serviço de Terapia Ocupacional e as ações do usuário, servindo também como instrumento de orientação durante a execução das atividades.
Painel de Gestão Visual	O material foi impresso em formato de banner com o objetivo de facilitar a visualização dos usuários em cada etapa do serviço, permitindo o acompanhamento simultâneo de todos os atendimentos e a identificação precisa da fase em que cada usuário se encontra.

Partes do Guia	AcessaTA
Cartas Orientativas	Serviram como referência para a implementação das boas práticas recomendadas, com os processos e instrumentos previamente definidos para serem utilizados.
Ficha Jornada do Processo	Foi utilizada uma Ficha da Jornada para cada usuário, permitindo o acompanhamento individualizado ao longo de todas as etapas do serviço de TA.

C) Momento 3: O fluxo das etapas do serviço, sugerido pelo GuiaTATO e apresentado na Figura 2, foi adotado pela equipe do projeto. Na Tabela 2, serão apresentados os processos e procedimentos adotados pela equipe referentes a cada etapa, ao longo da execução do serviço.

Figura 2 - Fluxo de etapas do Serviço de TA



Tabela 2 - Partes do GuiaTATO utilizadas no AcessaTA

Contato Inicial	Avaliar	Indicar	Implementar	Acompanhar
Acolher. Apresentação (terapeutas – paciente). Diálogo. Escuta qualificada.	1.**Pessoa** Avaliação sociodemográfica e clínica; Avaliação de estruturas e função do corpo; SACRAH (Rigidez e Dor).	Levantamento de produtos. Lista de produtos assistivos. Sites de produtos assistivos.	Entregar produto assistivo. Ficha de verificação de uso. Adequar/ ajustar se necessário.	Avaliar os desfechos para assegurar os resultados: Ocupação e Satisfação do usuário.
Informar. Explicações sobre a TO, a TA e a proposta do projeto. Uso de cartilhas orientativas	2.**Ocupação** Entrevista. Observação. COPM. Roteiro de análise de atividade.	Experimentação dos produtos pelo usuário. Análise da atividade.	Treinar e orientar o uso. Check list para treino. Ficha de orientação escrita/videos.	Protocolos. COPM. B – QUEST. Diferencial semântico.

Contato Inicial	Avaliar	Indicar	Implementar	Acompanhar
Empoderar o usuário para sua participação ativa no processo.	3.**Ambiente** Ficha experiencia TA.	Decisão solução assistiva pelo profissional e usuário.	Certificar-se que o usuário está bem orientado e treinado.	Reavaliar. Verificação de uso.
Documentar. Firmar parceria. Documentos (TCLE).	Definição da meta ocupacional.	Ficha de prescrição.	Assinar termo de recebimento do produto. Ficha agendamento.	Programar acompanhamento. Ficha de agendamento. Orientar sobre o Reuse.

(Legenda: COPM - Medida Canadense de Desempenho Ocupacional; SACRAH - Score for the Assessment and quantification of Chronic Rheumatoid Affections of the Hands; B Quest - Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology; TCLE - Termo de Consentimento Livre de Esclarecimento)

4. CONCLUSÕES

Este relato técnico abordou a aplicação de um guia de orientação para o serviço de TA voltado a terapeutas ocupacionais, utilizado no projeto de extensão AcessaTA. As principais partes do Guia, a proposta de fluxo das etapas do serviço de TA e a recomendação de participação ativa dos usuários foram seguidas conforme previsto. As orientações sobre o que fazer e como proceder em cada etapa do fluxo do serviço foram adequadas à realidade do projeto. As primeiras observações sobre a experiência, mostram-se promissoras.

A utilização do Guia contribuiu para a participação ativa dos usuários, para a visualização de todos os atendimentos e a identificação da etapa em que cada usuário se encontrava no fluxo do serviço. Além disso, favoreceu o planejamento, a organização e o monitoramento das ações pela equipe. Esses dados foram obtidos a partir dos registros das reuniões de equipe, das anotações referentes às observações dos usuários na Ficha da Jornada do Processo e do uso do Painel de Gestão Visual.

Acredita-se que ferramentas como o GuiaTATO podem qualificar os serviços prestados, impactando positivamente os resultados para os usuários, ao promover maior adesão à TA, favorecendo sua incorporação na rotina de atividades diárias e contribuindo para a redução do abandono do recurso. O impacto para os profissionais também é relevante, uma vez que o uso do GuiaTATO pode funcionar como uma estratégia de apoio, potencializando as

ações desenvolvidas. Destaca-se, por fim, a importância da realização de novos estudos que investiguem a eficácia do GuiaTATO em diferentes contextos, com o objetivo de aprimorar a ferramenta e ampliar seus resultados positivos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Pró-Reitoria de Extensão da UFPE pelo apoio financeiro, por meio do financiamento interno (Edital PIBEX – Programa de Incentivo e Bolsas de Extensão, 03/2024), para o desenvolvimento do projeto de extensão AcessaTA e realização deste estudo. Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), ao Núcleo de Gestão de Design/Laboratório de Usabilidade da UFSC, à Universidade Estadual de Santa Catarina (UDESC), à UFPE e ao LabTATO - UFPE pela colaboração na execução deste estudo.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, L.; WALLCOOK, S.; ZWECK, C.; TIMBECK, R.; LEDGERD, R. Global indicators of assistive technology use amongst occupational therapists: report from the World Federation of Occupational Therapists (WFOT) global surveys. In: *GREAT CONSULTATION*, 2019, [Genebra]. Proceedings of the Global Report on Assistive Technology (GReAT). Genebra: World Health Organization, 2019.

AMARAL, D. S.; MERINO, G. S. A. D.; CABRAL, A. K. P. S. *Guia TATO*: guia de orientação para a prestação de serviço em Tecnologia Assistiva por Terapeutas Ocupacionais. Recife: Editora UFPE, 2024. Disponível em: https://bit.ly/GuiaTATO. Acesso em: 05 maio 2025.

AMARAL, D. S.; MERINO, G. S. A. D.; CABRAL, A. K. P. S. Gestão de design aplicada à prestação de serviço de tecnologia assistiva realizada por terapeutas ocupacionais: estudo de caso. *Diálogo com a Economia Criativa,* v. 8, n. 23, 2023a. Disponível em: https://dialogo.espm.br/revistadcec-rj/article/view/453. Acesso em: 09 de maio de 2025.

AMARAL, D. S.; MERINO, G. S. A. D.; CABRAL, A. K. P. S. Guia TATO: guia orientativo para terapeutas ocupacionais que atuam no serviço de Tecnologia Assistiva. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM TECNOLOGIA ASSISTIVA,* 4., 2023b, Florianópolis. Anais do 4º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologia Assistiva. Florianópolis: Editora UDESC, 2024. p. 48–54. ISBN 978-65-88565-94-0. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/379596351. Acesso em: 08 maio 2025.

AMARAL, D. S. *Gestão de design e terapia ocupacional*: um guia de orientação para a prestação de serviço em tecnologia assistiva. 2023. 298 f. Tese (Doutorado em Design) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Comunicação e Expressão, Programa de Pós-Graduação em Design, Florianópolis, 2023. Acesso em: 08 maio 2025.

ANDRICH, R. Service Delivery Systems for Assistive Technology in: *Europe: a position paper.* [s. l]: AAATE & EASTIN, 2012.

ANDRICH, R. et al. Towards a global quality framework for assistive technology service delivery. In: *WORLD HEALTH ORGANIZATION*. Global perspectives on assistive technology: proceedings of the GREAT Consultation. Geneva: World Health Organization, 2019.

BRANDT, Å.; HANSEN, E. M.; CHRISTENSEN, J. R. The effects of assistive technology service delivery processes and factors associated with positive outcomes – a systematic review. *Disability and Rehabilitation*: Assistive Technology. v. 15, n. 5, p. 590-603, 2019.

GOMES, M. D.; TEIXEIRA, L.; RIBEIRO, J. *Domínio & Processo* ,[S.l] 2020. Acesso em: 05 maio 2025.

IGBO, I. A. *Assistive technology provision by occupational therapists:* a process and tools for managing clients with spinal cord injury. 2016. Tese (Doutorado em Terapia Ocupacional) – Department of Occupational Therapy, Nova Southeastern University, Fort Lauderdale-Davie, 2016.

LAYTON, N. et al. Scoping review of quality guidelines for assistive technology provision. Geneva: *WHO-GDI Hub-GAATO*, 2023. Acesso em: 10 maio 2025.

MACLACHLAN, M.; SCHERER, M.; J. Systems thinking for assistive technology: a commentary on the great summit. *Disability and Rehabilitation:* Assistive Technology, [s. l], v. 13, n. 5, p. 492-496, 17 maio 2018. Informa UK Limited. http://dx.doi.org/10.1080/17483107.2018.1472306.

RANADA, Å. L.; LIDSTRÖM, H. Satisfaction with Assistive Technology Device in Relation to the Service Delivery Process - A Systematic Review. *Assistive Technology:* the official Journal of Resna, v.31, n.2, p. 82-97, 2017. Acesso em: 10 maio 2025.

US GOVERNMENT. *Congress.* Public Law nº 108–364, de 25 de outubro de 2004. To amend the Assistive Technology Act of 1998 to support programs of grants to States to address the assistive technology needs of individuals with disabilities, and for other purposes. Assistive Technology Act of 2004.

WFOT – WORLD FEDERATION OF OCCUPATIONAL THERAPISTS. *Occupational therapy international practice guide.* [Londres]: WFOT, 2020. 164 p.

WITTE, L.; STEEL, E.; GUPTA, S.i; RAMOS, V. D.; ROENTGEN, U. Assistive technology provision: towards an international framework for assuring availability and accessibility of affordable high-quality assistive technology. *Disability and Rehabilitation:* Assistive Technology, [s. l], v. 13, n. 5, p. 467 472, 9 maio 2018. Informa UK Limited. http://dx.doi.org/10.1080/17483107.2018.1470264.

REALIZAÇÃO

NAPiTA
PESQUISA E INOVAÇÃO EM TECNOLOGIA ASSISTIVA

ABPTA

INCENTIVO

CNPq

ARAUCÁRIA

APOIO

HOSPITAL INC INSTITUTO DE NEUROLOGIA DE CURITIBA

Unimed

UNILEHU

SANEPAR

APOIO INSTITUCIONAL

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

PUCPR
GRUPO MARISTA

UNESPAR

INSTITUTO FEDERAL
Paraná

PARANÁ
GOVERNO DO ESTADO
SECRETARIA DO DESENVOLVIMENTO SOCIAL E FAMÍLIA

COMPLEXO HOSPITALAR DO TRABALHADOR

Aliança Contra Hanseníase
INSTITUTO

Associação Paranaense de Hanseníase
APH

FUNDAÇÃO ESTATAL
PEQUENO COTOLENGO

TS
TECHSOLUTION

LABERG

canal6 editora

ISBN 978-85-7917-714-9