

Desenvolvimento de um simulador para avaliação funcional de próteses de membro superior impressas em 3D

Tobaro, Erica Tiemi^{*1}; Sparkman, John²; Manero, Albert³;
Baleotti, Luciana Ramos⁴; Medola, Fausto Orsi⁵

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.

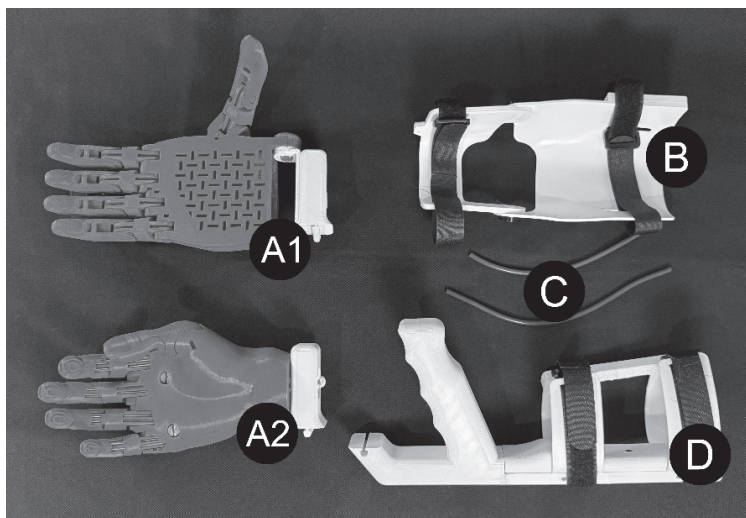
A estrutura foi desenvolvida de forma a atender os seguintes requisitos: possibilitar avaliação de diferentes modelos e designs de mãos protéticas; possibilitar o acionamento do mecanismo de preensão e abertura da mão através do movimento do cotovelo.

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).

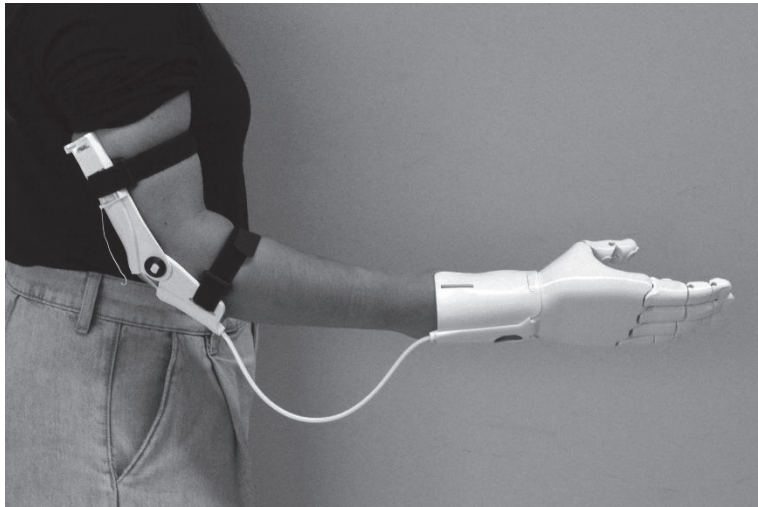


Fonte: Os autores.

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.



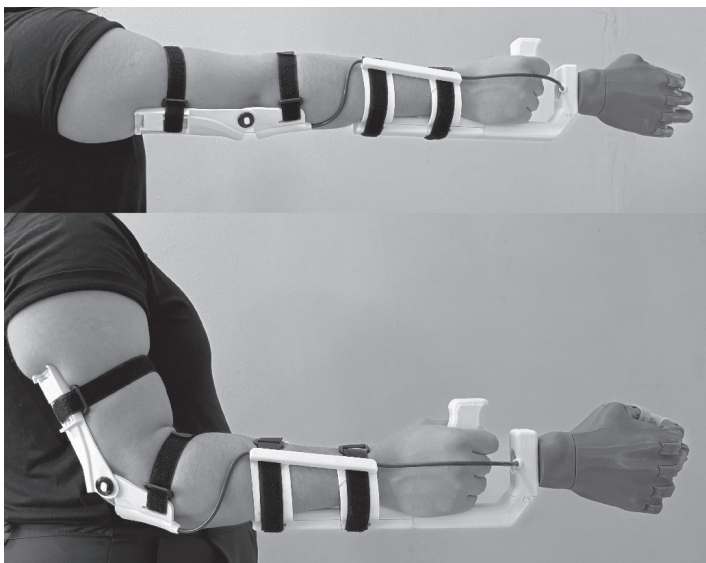
Fonte: Os autores.

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 políácido láctico (PLA). A Figura 03 ilustra o mecanismo de acionamento ao flexionar o cotovelo.

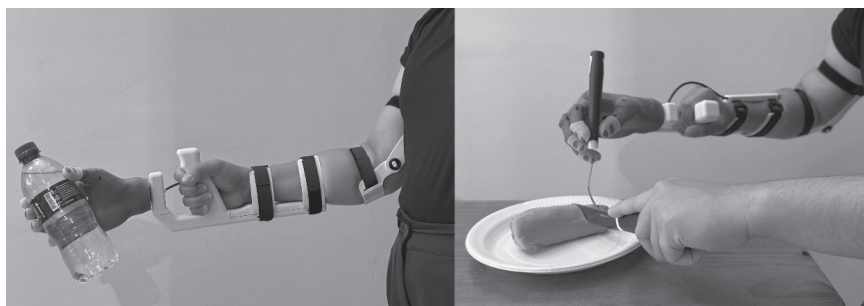
Figura 03 - Acionamento do mecanismo de fechamento da mão protética ao flexionar o cotovelo.



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.

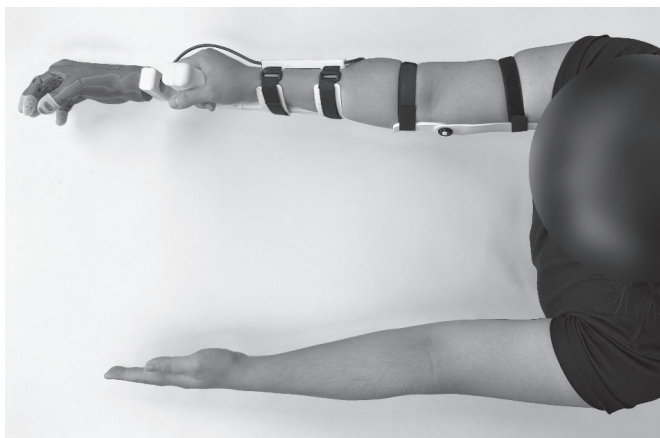
Figura 04 - Atividade de manipulação de objetos com o uso do simulador desenvolvido.



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>.
- POPARGUAY. 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>.