

Desenvolvimento de um protocolo de treinamento de controle de prótese transradial mioelétrica

Avellar, Natália Batista Castilho¹; Moraes, Maria Rosália de Faria^{2*}; Van Petten, Adriana M. Valladão Novais³

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).

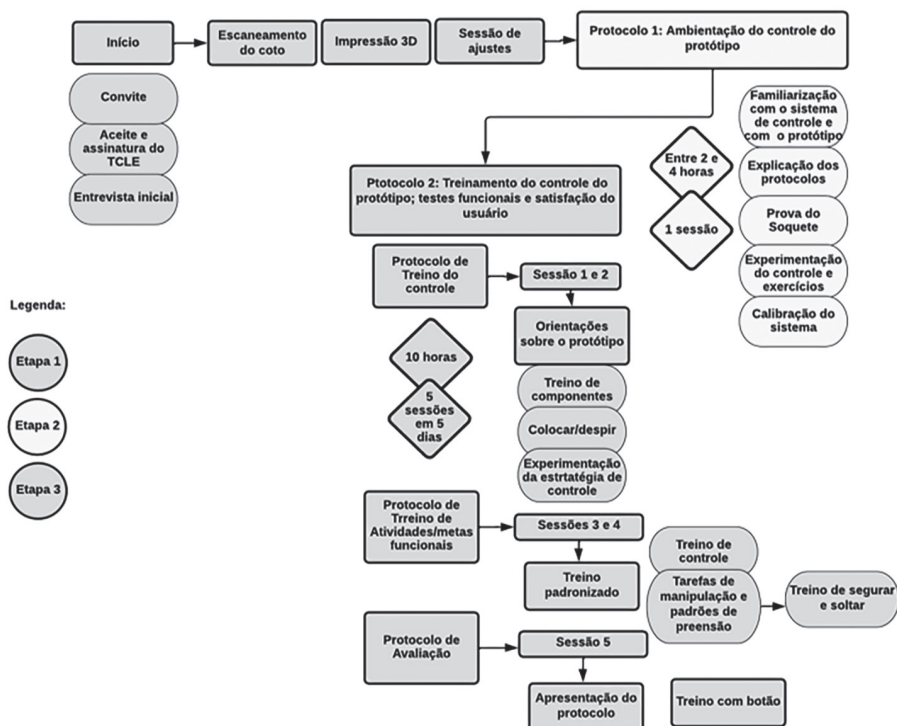
Considerando os achados do estudo, foram desenvolvidas três etapas que contemplam protocolos de treinamento específicos para próteses transradiais mioelétricas. A Etapa 1 consiste na coleta de dados, através de uma entrevista inicial; escaneamento do coto para impressão 3D de soquete personalizado e 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; AMARASINGH, 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.; HASENOEHL, 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 Neurobotics.* 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.