SISTEMA DE CONTROLE DE PRÓTESES INTELIGENTES BASEADO EM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Smart Prosthesis Control System Based On Artificial Intelligence

Sistema de Control De Prótesis Inteligentes Basado En Inteligencia

Leandra Silva Macedo. *Graduando em Engenharia Elétrica., UFCG. E-mail: leandra.mmacedo13@gmail.com.*

D'jonathas Breno Pinheiro Costa de Farias. *Graduando em Engenharia Elétrica., UFCG. E-mail: djonathas.breno.farias@ee.ufcg.edu.br.*

Rayssa Cristhine Silva de Medeiros. *Graduando em Engenharia Elétrica., UFCG. E-mail: cristhineray77@gmail.com.*

Victor Hugo Vieira Tavares. *Graduando em Engenharia Elétrica, UFCG. E-mail: victor.hugo.tavares@ee.ufcg.edu.br.*

Amanda Rezende Moreira. *Doutoranda em Engenharia de Processos, UFCG. E-mail: amandarezende48@gmail.com*

Bruna Thalita Alexandre Silva. *Mestre em Engenharia Mecânica, UFCG. E-mail: engbrunathalita@gmail.com*

José Jefferson da Silva Nascimento. *Professor Titular do curso de Engenharia de Processos, UFCG. E-mail: jose.jeferson@professor.ufcg.edu.br https://orcid.org/0000-0002-2620-6491*

Autor correspondente: Leandra Silva Macedo. leandra.mmacedo13@gmail.com

DOI: 10.61223/coopex.v17i01.7962

Submetido: 31/03//2026
Aprovado: 06/12/2025

ISSN 2177-5052

Resumo
Este estudo trata da análise de diferentes técnicas de Inteligência Artificial, sistemas mioelétricos, métodos de machine learning e aplicações de manufatura aditiva para concepção de próteses inteligentes. O objetivo foi analisar e discutir as principais técnicas utilizadas na literatura, a partir de um levantamento bibliográfico em base de dados nacionais e internacionais sobre o controle de dispositivos protéticos por meio de técnicas de IA e na viabilidade econômica dessas soluções. Observou-se um grande desenvolvimento de próteses mais acessíveis com base em impressão 3D nos últimos anos, como também nos diferentes modelos de próteses disponíveis no mercado, como próteses mioelétricas com sensores EMG, próteses impressas com sensores mais simplificados e próteses exclusivamente mecânicas. Por fim, destaca-se que o uso da IA tem contribuído para melhorias nos controles de precisão e adaptação do usuário. Contudo, ainda existem desafios no desenvolvimento de próteses assistivas, como a instabilidade no sinal EMG e a ausência de um padrão metodológico nos estudos analisados.

Palavras-Chave: Inteligência Artificial. Próteses mioelétricas. Sensores EMG. Manufatura aditiva. Tecnologia Assistiva.

Abstract
This study addresses the analysis of different Artificial Intelligence techniques, myoelectric systems, machine learning methods, and additive manufacturing applications for the development of intelligent prostheses. The objective was to analyze and discuss the main techniques used in the literature, based on a bibliographic survey of national and international databases regarding the control of prosthetic devices through AI techniques, as well as the economic feasibility of these solutions. A significant advancement in more accessible prostheses based on 3D printing has been observed in recent years, along with the variety of prosthetic models available on the market, such as myoelectric prostheses with EMG sensors, 3D-printed prostheses with simpler sensors, and purely mechanical prostheses. Finally, it is highlighted that the use of AI has contributed to improvements in control precision and user adaptation. However, there are still challenges in the development of assistive prostheses, such as instability in EMG signals and the lack of a standardized methodological approach in the analyzed studies.

KeywordS: Intelligence. Myoelectric prostheses. Electromyography (EMG). Additive manufacturing. Assistive technology.

Resumen:
Este estudio aborda el análisis de diferentes técnicas de Inteligencia Artificial, sistemas mioeléctricos, métodos de aprendizaje automático y aplicaciones de manufactura aditiva para el desarrollo de prótesis inteligentes. El objetivo fue analizar y discutir las principales técnicas utilizadas en la literatura, a partir de una revisión bibliográfica en bases de datos nacionales e internacionales sobre el control de dispositivos protésicos mediante técnicas de IA, así como la viabilidad económica de estas soluciones. Se ha observado un gran avance en prótesis más accesibles basadas en impresión 3D en los últimos años, así como en los diferentes modelos de prótesis disponibles en el mercado, como prótesis mioeléctricas con sensores EMG, prótesis impresas con sensores más simplificados y prótesis exclusivamente mecánicas. Finalmente, se destaca que el uso de la IA ha contribuido a mejorar la precisión del control y la adaptación del usuario. Sin embargo, aún existen desafíos en el desarrollo de prótesis asistivas, como la inestabilidad de la señal EMG y la ausencia de un enfoque metodológico estandarizado en los estudios analizados.
Palabras clave: Inteligencia Artificial. Prótesis mioeléctricas. Electromiografía (EMG). Manufactura aditiva. Tecnología asistiva.

ISSN 2177-5052

Introdução

O desenvolvimento tecnológico aplicado à elaboração de próteses tem avançado significativamente na última década, principalmente na utilização de técnicas de impressão tridimensional, ou também chamada de manufatura aditiva. Essa tecnologia vem sendo bastante utilizada na substituição de membros amputados ou decepados, possibilitando redução de custos, personalização e ampliação do acesso à população (Rodrigues Júnior *et al*., 2018). Nesse contexto, o desenvolvimento de estudos e a aplicação de novas técnicas no desenvolvimento dessas próteses, como conceitos de machine learning, IA e sistemas mioelétricos, tornou-se progressivamente mais viável, encorajando o desenvolvimento de dispositivos assistivos mais funcionais e adaptáveis às necessidades físicas individuais de cada usuário.

Como dito anteriormente, há uma maior incorporação de técnicas de IA para sistemas de controle em próteses biomédicas. Conforme discutido por (Moreira *et al.*, 2025) o uso de próteses baseadas em propriedades mioelétricas vem ganhando bastante destaque, pois permitem o estímulo baseados em sinais elétricos residuais das partes amputadas para o controle das próteses.

Dessa forma, o presente trabalho propõe o uso de diferentes técnicas relacionadas à IA para o controle dessas próteses mioelétricas, proporcionando uma maior personalização individual de cada usuário, respostas mais rápidas no movimento e maior naturalidade e eficiência funcional.

Método

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão integrativa dos textos, com abordagem qualitativa, voltada para a análise do desenvolvimento tecnológico de próteses inteligentes e próteses de baixo custo associadas ao uso de técnicas de Inteligência Artificial, sistemas mioelétricos e manufatura aditiva.

A coleta de informações foi realizada por meio da análise de artigos científicos, trabalhos acadêmicos e documentos técnicos publicados em bases de dados científicas amplamente utilizadas na área de engenharia biomédica e tecnologia assistiva, como Google Scholar, IEEE Xplore e ScienceDirect. Foram priorizadas publicações recentes que abordassem

o desenvolvimento de próteses robóticas, próteses mioelétricas e dispositivos protéticos produzidos por meio de técnicas de impressão tridimensional.

Para a seleção dos trabalhos analisados, foram considerados critérios de relevância temática, atualidade das publicações e contribuição científica para o desenvolvimento de tecnologias assistivas. Foram incluídos estudos que abordassem aspectos relacionados à arquitetura de próteses, métodos de controle mioelétrico, aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina e soluções de baixo custo para dispositivos protéticos.

Após a etapa de seleção dos materiais, foi realizada uma análise comparativa das diferentes abordagens tecnológicas apresentadas na literatura. Essa análise buscou identificar os principais métodos de controle utilizados em próteses modernas, as tecnologias empregadas na fabricação desses dispositivos e os impactos econômicos relacionados ao desenvolvimento de soluções acessíveis.

Além disso, foram avaliados aspectos como custo de produção, complexidade tecnológica, desempenho funcional e limitações dos sistemas protéticos descritos nos estudos analisados. Os dados obtidos foram organizados e discutidos de forma descritiva, permitindo estabelecer uma relação entre as tecnologias emergentes, como inteligência artificial e sistemas mioelétricos, e a evolução das próteses inteligentes.

Dessa forma, a metodologia adotada permitiu consolidar um panorama atual das principais soluções tecnológicas aplicadas ao desenvolvimento de próteses assistivas, contribuindo para a compreensão das tendências e desafios presentes nessa área de pesquisa.

Resultados

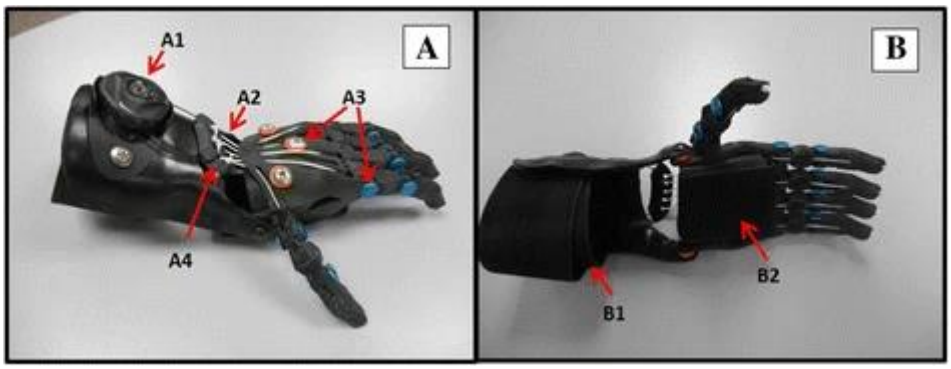
O desenvolvimento de próteses de baixo custo tem sido impulsionado principalmente pela integração entre manufatura aditiva, sistemas mecânicos simplificados e arquiteturas eletrônicas de controle acessível. A impressão 3D consolidou-se como a tecnologia central desse processo, permitindo a fabricação descentralizada de dispositivos personalizados com elevada flexibilidade geométrica e rápida prototipagem. Diferentemente da produção convencional de próteses, que depende de processos industriais especializados e materiais de alto desempenho, a manufatura aditiva possibilita a utilização de polímeros termoplásticos

ISSN 2177-5052

como PLA e ABS, viabilizando ajustes individualizados de encaixe e morfologia (Zuninga *et al*., 2015).

O modelo “Cyborg Beast”, descrito por Zuniga *et al*. (2015), exemplifica essa abordagem ao apresentar uma prótese impressa em 3D acionada mecanicamente pelo movimento do punho. O sistema utiliza cordas de nylon e parafusos estruturais simples, eliminando a necessidade de componentes eletrônicos complexos. A Figura 1 ilustra essa arquitetura, evidenciando a simplicidade estrutural e o princípio de transmissão de força por tensão mecânica.

Figura 1 – Próteses impressas em 3D (Cyborg Beast). Vista superior (A) e inferior (B).



Fonte: Phinyomark *et al*., (2015).

Além da manufatura aditiva, destacam-se os sistemas body-powered, nos quais o acionamento ocorre por meio de cabos do tipo Bowden, responsáveis por converter movimentos residuais do membro em fechamento ou abertura da mão protética. Essa arquitetura prioriza robustez mecânica e independência energética. O modelo “Karla”, apresentado por Satriawan *et al*. (2023), reforça essa estratégia ao adotar um sistema estrutural simplificado com foco em durabilidade e facilidade de manutenção.

No campo das soluções eletrônicas acessíveis, observa-se o uso de sensores alternativos e microcontroladores de baixo custo como substitutos parciais de sistemas mioelétricos convencionais. Lee *et al*. (2017) investigaram um dispositivo impresso em 3D controlado por sensor de pressão, reduzindo a complexidade do processamento de sinais. Embora tais soluções não apresentem o mesmo nível de precisão das próteses mioelétricas comerciais, demonstram

ISSN 2177-5052

viabilidade funcional em aplicações específicas, especialmente quando o objetivo é ampliar o acesso tecnológico.

Figura 2 – Usuário utilizando a prótese Karla em teste de preensão de objetos

Fonte: Sreeram *et al*., (2023).

Apesar desses avanços, a literatura destaca a necessidade de padronização metodológica e validação clínica mais robusta. Andrés-Esperanza *et al*. (2022) argumentam que muitas próteses de baixo custo ainda carecem de protocolos consistentes de benchmarking, o que limita comparações objetivas entre dispositivos e dificulta a consolidação de evidências clínicas.

A análise econômica evidencia diferenças substanciais entre próteses de baixo custo e dispositivos mioelétricos comerciais. Segundo Lee *et al*. (2017), próteses mioelétricas customizadas podem apresentar custo aproximado de US$ 13.000, considerando o processo de adaptação individualizada e aquisição. Esse valor está associado à incorporação de sensores de eletromiografia de superfície, múltiplos atuadores elétricos e sistemas embarcados de processamento.

No mesmo estudo, os autores reportaram que uma prótese impressa em 3D controlada por sensor de pressão apresentou custo estimado de aproximadamente US$ 440, representando redução superior a 95% em relação à solução mioelétrica analisada. Embora o desempenho

funcional tenha sido inferior em métricas de força e precisão, a diferença econômica é expressiva (Lee *et al*., 2017).

Em soluções exclusivamente mecânicas, os valores reportados são ainda mais reduzidos. Zuniga *et al*. (2015) indicaram custo aproximado de US$50 em materiais para a produção do modelo "Cyborg Beast". De forma complementar, Cabibihan *et al*. (2021) apresentaram modelo de custo estimando valores próximos de US$19 em cenários otimizados de fabricação. Esses dados demonstram uma diferença de duas ordens de grandeza quando comparados às próteses mioelétricas comerciais.

Entretanto, Andrés-Esperanza *et al*. (2022) alertam que análises econômicas devem considerar também aspectos como durabilidade, manutenção e validação clínica longitudinal. A ausência de protocolos padronizados pode levar à superestimação do benefício econômico quando avaliadas apenas as despesas iniciais.

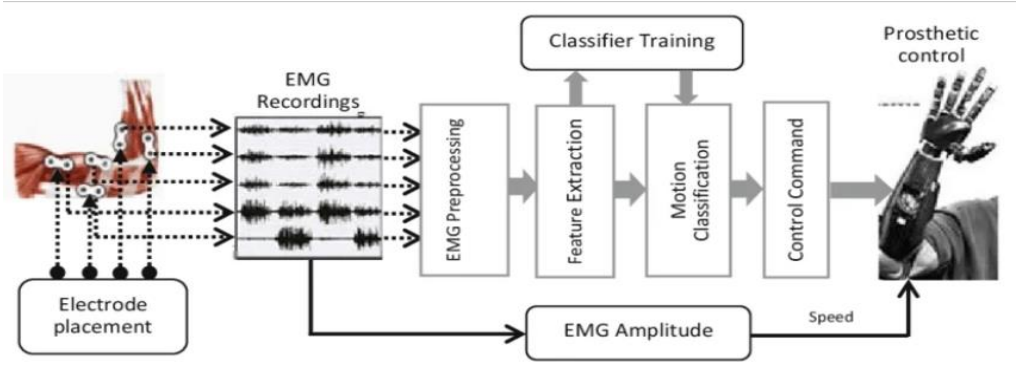
Assim, enquanto as próteses mioelétricas oferecem maior sofisticação funcional, as soluções de baixo custo destacam-se pela significativa redução de investimento inicial. A escolha entre as abordagens deve considerar não apenas o custo absoluto, mas também o contexto de aplicação, a infraestrutura disponível e as necessidades específicas do usuário.

A incorporação de técnicas de Inteligência Artificial (IA) no controle de próteses mioelétricas representa um marco na evolução dos sistemas de reabilitação assistiva, ao possibilitar uma interação mais natural, responsiva e adaptativa entre o usuário e o dispositivo. Tradicionalmente, sistemas de controle protético baseavam-se em métodos determinísticos, como limiares fixos de ativação muscular ou controle proporcional simples, os quais apresentam limitações significativas diante da variabilidade intrínseca dos sinais de eletromiografia de superfície (EMG). Em contraste, modelos fundamentados em aprendizado de máquina são capazes de modelar relações não lineares complexas, ampliando substancialmente a capacidade de discriminação entre diferentes intenções motoras (Englehart; Hudgins, 2003).

No contexto deste estudo, a aplicação de um modelo de classificação supervisionado permitiu a identificação de padrões mioelétricos associados aos comandos funcionais da prótese. O processamento do sinal constitui etapa fundamental para o desempenho global do sistema, envolvendo filtragem digital para atenuação de ruídos, segmentação temporal em janelas apropriadas e extração de características representativas.

ISSN 2177-5052

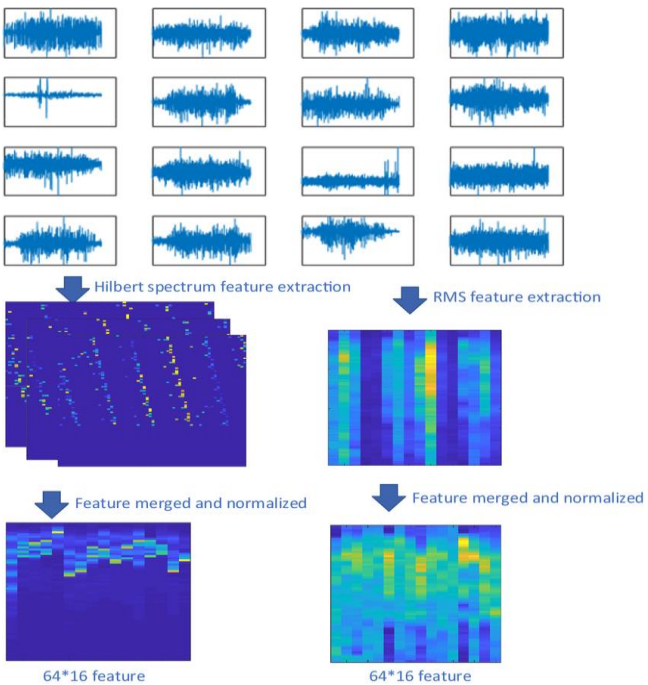
Figura 3 – Fluxo de processamento e arquitetura de um sistema de controle mioelétrico baseado em IA



Fonte: Englehart; Hudgins (2003).

Foram empregados descritores amplamente consolidados na literatura, tais como valor médio absoluto (MAV), raiz quadrática média (RMS) e parâmetros espectrais, os quais demonstram elevada eficiência na representação estatística e energética do sinal EMG (Phinyomark *et al*., 2012). A escolha adequada dessas características contribui diretamente para a redução da sobreposição entre classes e para o aumento da robustez do classificador.

Figura 4 – Representação do sinal mioelétrico bruto e extração de características (MAV e RMS) em janelas temporais.



Fonte: Phinyomark *et al*. (2012).

Os resultados obtidos indicam que a utilização de Inteligência Artificial promoveu reconhecimento consistente das intenções motoras analisadas, evidenciando capacidade de generalização frente às variações fisiológicas do usuário. Diferentemente das abordagens convencionais, cuja performance tende a degradar-se diante de alterações na contração muscular ou no posicionamento dos eletrodos, o modelo inteligente demonstrou maior estabilidade operacional. Essa característica adaptativa decorre do ajuste paramétrico orientado por dados, inerente aos algoritmos de aprendizado supervisionado, permitindo personalização do sistema conforme o padrão mioelétrico individual.

Outro aspecto relevante refere-se à eficiência computacional do modelo implementado. A integração entre técnicas de processamento digital de sinais e algoritmos inteligentes possibilitou operação compatível com requisitos de tempo quase real, condição indispensável para assegurar naturalidade e fluidez nos movimentos protéticos. Conforme destacado por Castellini e Van der Smagt (2009), atrasos perceptíveis no processamento comprometem a percepção de controle pelo usuário, reduzindo a aceitabilidade funcional do dispositivo. Nesse sentido, a otimização do tempo de resposta constitui elemento central na viabilidade prática da solução proposta.

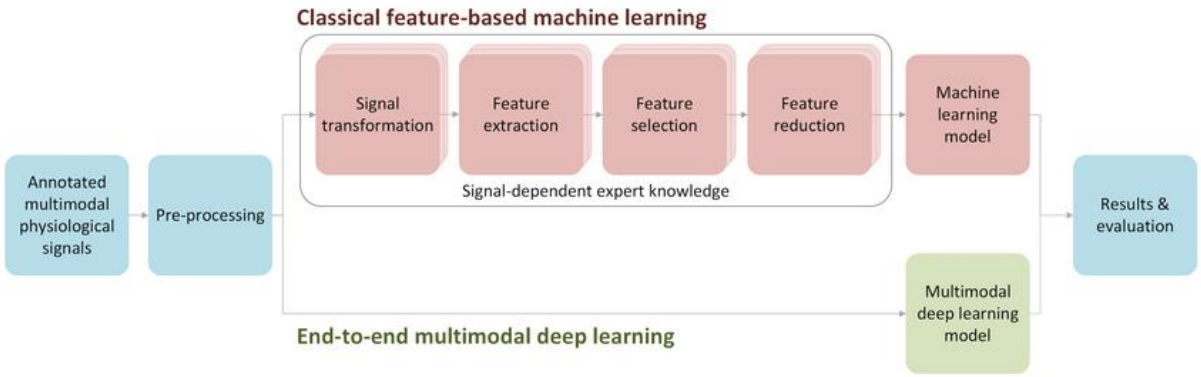
Entretanto, apesar dos avanços observados, permanecem desafios relacionados à variabilidade interindividual dos sinais EMG e à suscetibilidade a interferências externas. Fatores como ruído eletromagnético, alterações na impedância da pele e fadiga muscular podem impactar a qualidade do sinal e, consequentemente, o desempenho do classificador. Farina *et al*. (2004) destacam que a complexidade fisiológica do sinal mioelétrico exige abordagens integradas que combinem processamento robusto e modelagem inteligente para garantir confiabilidade clínica.

Adicionalmente, a necessidade de calibração inicial personalizada ainda constitui um fator limitante para aplicações em larga escala. Estratégias futuras podem envolver o uso de técnicas de aprendizado adaptativo online, ampliação do conjunto de dados de treinamento e incorporação de arquiteturas de aprendizado profundo, capazes de extrair automaticamente características discriminativas a partir do sinal bruto. Tais avanços tendem a reduzir a dependência de etapas manuais de engenharia de atributos e ampliar a escalabilidade do sistema.

ISSN 2177-5052

Em síntese, os achados discutidos evidenciam que a Inteligência Artificial desempenha papel estruturante na evolução dos sistemas de controle de próteses mioelétricas. Ao promover maior precisão, adaptabilidade e eficiência operacional, os modelos inteligentes contribuem significativamente para o desenvolvimento de dispositivos assistivos mais responsivos e alinhados às necessidades funcionais dos usuários. A convergência entre engenharia elétrica, processamento de sinais biomédicos e aprendizado de máquina consolida um cenário promissor para a expansão de soluções tecnológicas voltadas à reabilitação, reforçando o potencial transformador da IA no campo da tecnologia assistiva contemporânea.

Figura 5 – Comparativo entre o fluxo de Machine Learning clássico (com extração manual de atributos) e o Deep Learning (com extração automática via redes neurais).



Fonte: Phinyomark; Scheme (2018).

Discussão

Em paralelo aos constantes avanços tecnológicos, a fabricação de próteses mioelétricas integradas ao controle adaptativo tem se mostrado cada vez mais viável, principalmente quando abordada no contexto de variabilidade fisiológica e temporal do sinal de eletromiografia de superfície (EMG). Este representa a atividade elétrica produzida pelas fibras musculares durante a contração, sendo detectado por eletrodos superficiais e utilizado como base para a interpretação das intenções motoras. Em abordagens variantes no tempo, passamos a ter um modelo que difere dos estáticos, que mantêm parâmetros fixos desde o treinamento inicial, pois oferecem adaptação ao padrão mioelétrico do usuário, ajustando constantemente seus parâmetros. Dessa forma, a eficiência do controle depende diretamente da qualidade da

aquisição e da estabilidade do sinal EMG, o que evidencia a necessidade de estratégias que minimizem os efeitos das variações durante a operação do sistema. (Amorim, 2018).

As próteses baseadas em modelos estáticos apresentam uma limitação: O sinal EMG passa por diversas interferências, como a fadiga muscular, variações na impedância da pele, deslocamento de eletrodos e fatores externos, que podem alterar a captação do sinal, assim comprometendo a estabilidade e o funcionamento fluido da mesma. Estudos recentes apontam que os sinais de eletromiografia de superfície são não estacionários, apresentando propriedades estatísticas que variam ao longo do tempo e entre indivíduos, o que pode reduzir o desempenho de sistemas convencionais de reconhecimento de padrões em ambientes reais de uso (Lee *et al*., 2018).

Diante dessas variações, métodos de aprendizado incremental surgem como alternativas para mitigar o fenômeno denominado *concept drift*, no qual a distribuição estatística dos dados se altera ao longo do tempo. Estudos demonstram que sistemas mioelétricos apresentam degradação significativa de desempenho quando expostos a variações temporais e mudanças na posição dos eletrodos, evidenciando a necessidade de estratégias adaptativas para manutenção da robustez do classificador (Gijsberts *et al*., 2014).

Apesar das aparentes vantagens, é sóbrio elaborar os incontáveis desafios da implementação desse método. A ausência de parâmetros fixos, colabora para o aumento da complexidade computacional e o consumo de recursos energéticos, especialmente em sistemas embarcados de baixo custo. Além disso, a previsibilidade dos movimentos se torna pequena, o que impossibilita uma avaliação correta dos riscos associados aos usuários. A literatura destaca que a confiabilidade clínica não depende apenas da acurácia do classificador, mas também da estabilidade e consistência do desempenho ao longo do tempo (Scheme; Englehart, 2011. Farina *et al*., 2014).

Outro ponto crítico são as metodologias utilizadas em parte significativa dos estudos na área. Incontáveis pesquisas são feitas em ambientes controlados e restritos, majoritariamente em laboratórios, com números pequenos de participantes, o que limita consideravelmente a análise da imprevisibilidade do sistema e seus resultados em usos prolongados. A literatura aponta que a transição de sistemas de reconhecimento de padrões do ambiente experimental para o contexto clínico ainda enfrenta desafios relacionados à robustez e à estabilidade em longo prazo (Scheme; Englehart, 2011).

Por isso, embora os avanços recentes apontem o potencial da utilização de Inteligência Artificial no controle das próteses, ainda são necessárias mudanças e protocolização quanto ao seu estudo. Em perspectivas futuras, são consideradas a integração de arquitetura de aprendizado e adaptação online, estas capazes de oferecer maior robustez, precisão e viabilidade computacional. O desafio central consiste no desenvolvimento de sistemas de alto desempenho por longos períodos de tempo, assegurando segurança, naturalidade e maior qualidade de vida ao usuário.

Considerações Finais

O presente estudo permitiu analisar, de forma integrada, os avanços tecnológicos aplicados ao desenvolvimento de próteses assistivas, com ênfase nas soluções de baixo custo, nos sistemas mioelétricos e na incorporação de técnicas de Inteligência Artificial. A partir da revisão bibliográfica realizada, observou-se que a manufatura aditiva se consolidou como um dos principais vetores de democratização do acesso às próteses, ao possibilitar redução significativa de custos, personalização estrutural e maior flexibilidade de fabricação. Modelos mecânicos e body-powered demonstram que é possível oferecer funcionalidade básica com investimento reduzido, ampliando o alcance social dessas tecnologias.

No campo das próteses mioelétricas, verificou-se que a aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina representa um avanço relevante na interpretação de sinais de eletromiografia de superfície. Diferentemente dos métodos tradicionais de controle, baseados em limiares fixos, os modelos inteligentes permitem maior discriminação das intenções motoras, melhor adaptação às características individuais do usuário e potencial redução de erros operacionais. Esses fatores contribuem para movimentos mais naturais e maior sensação de controle, aspectos essenciais para a aceitação e uso contínuo do dispositivo.

Entretanto, a análise crítica evidencia que desafios importantes ainda persistem. A variabilidade temporal dos sinais EMG, a influência de ruídos externos, a necessidade de calibração individual e as limitações de validação clínica em longo prazo configuram obstáculos para a consolidação dessas soluções em larga escala. Embora as próteses de baixo custo apresentem vantagens econômicas expressivas, é fundamental considerar fatores como durabilidade, manutenção e desempenho funcional ao avaliar sua efetividade.

Outro ponto relevante refere-se à necessidade de padronização metodológica nos estudos da área. A ausência de protocolos unificados de avaliação dificulta comparações objetivas entre diferentes tecnologias e limita a construção de evidências clínicas robustas. Pesquisas futuras devem priorizar ensaios com maior número de participantes, testes em ambientes reais de uso e acompanhamento longitudinal, a fim de validar a estabilidade e a confiabilidade dos sistemas propostos.

Diante desse panorama, conclui-se que a convergência entre manufatura aditiva, sistemas mioelétricos e Inteligência Artificial configura um cenário promissor para a evolução das próteses inteligentes. O avanço dessas tecnologias tende a promover dispositivos mais acessíveis, adaptativos e funcionalmente eficientes.

Referências

AMORIM, A. F. **Desenvolvimento de uma prótese mioelétrica utilizando controle inteligente**. 2018. 76 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro Multidisciplinar de Caraúbas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/7b94eda4-1015-4e57-abff-fd9645928ed7/content. Acesso em: 30 mar. 2026.

ANDRÉS-ESPERANZA, J. et al. Affordable 3d-printed tendon prosthetic hands: expectations and benchmarking questioned. **Biomedical Engineering Online**, [S. l.], v. 21, n. 1, 2022. Disponível em: https://biomedical-engineering-online.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12938-022-01025-8. Acesso em: 30 mar. 2026.

CABIBIHAN, J. J. et al. Suitability of the openly accessible 3d printed prosthetic hands for war-wounded children. **Frontiers in Robotics and AI**, [S. l.], v. 7, 2021. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2020.594196. Acesso em: 30 mar. 2026.

ENGLEHART, K.; HUDGINS, B. A robust, real-time control scheme for multifunction myoelectric control. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, New York, v. 50, n. 7, p. 848–854, jul. 2003.

FARINA, D.; ASMUSSEN, M.; HOLM, K. The extraction of neural information from the surface EMG for the control of upper-limb prostheses: emerging avenues and challenges. **IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering**, [S. l.], v. 22, n. 4, p. 797–809, jul. 2014.

FARINA, D.; MERLETTI, R.; ENOKA, R. M. The extraction of neural strategies from the surface EMG. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 96, n. 4, p. 1486–1495, abr. 2004.

GIJSBERTS, A. et al. Stable myoelectric control of prosthetic hands using non-linear incremental learning. **Frontiers in Neurorobotics**, [S. l.], v. 8, p. 1-15, mar. 2014.

LEE, S.; HUR, J.; LEE, Y. Recent advances in surface electromyography signal processing for human–machine interface. **Journal of Healthcare Engineering**, [S. l.], v. 2018, p. 1-10, 2018.

LEE, K. H. et al. Hand functions of myoelectric and 3d-printed pressure-sensored prosthetics: a comparative study. **BioMed Research International**, [S. l.], v. 2017, 2017. Acesso em: 30 mar. 2026.

MOREIRA, J. M. L. et al. Desenvolvimento de próteses: uma revisão sistemática da literatura. **Recima21 - Revista Científica Multidisciplinar**, [S. l.], v. 6, n. 8, p. e686692, ago. 2025. Disponível em: https://recima21.com.br/recima21/article/view/6692. Acesso em: 30 mar. 2026.

PHINYOMARK, A.; PHUKPATTARANONT, P.; LIMSOMBOON, C. Feature extraction and selection for myoelectric control based on wearable EMG sensors. **Sensors**, Basel, v. 12, n. 5, p. 669–689, maio 2012.

RODRIGUES JÚNIOR, J. L.; CRUZ, L. M. S.; SARMANHO, A. P. S. Impressora 3D no desenvolvimento das pesquisas com próteses. **Revista Interinstitucional Brasileira de Terapia Ocupacional - REVISBRATO**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p. 398–413, 2018. Disponível em: https://revistas.ufrj.br/index.php/ribto/article/view/15022. Acesso em: 30 mar. 2026.

SATRIAWAN, A. et al. Karla: a simple and affordable 3d-printed body-powered prosthetic hand for transradial amputees. **Prosthesis**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 104-121, 2023.

SCHEME, E.; ENGLEHART, K. Electromyogram pattern recognition for control of powered upper-limb prostheses: state of the art and challenges for clinical use. **Journal of Rehabilitation Research and Development**, [S. l.], v. 48, n. 6, p. 643–660, 2011.

ZUNIGA, J. M. et al. Cyborg beast: a low-cost 3d-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences. **BMC Research Notes**, [S. l.], v. 8, n. 10, 2015. Disponível em: https://bmcresnotes.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13104-015-0971-9. Acesso em: 30 mar. 2026.