

APLICAÇÃO DAS PRÓTESES MECÂNICAS NO CONTEXTO DA CORRIDA PARAOLÍMPICA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

THE USE OF MECHANICAL PROSTHESES IN PARALYMPIC RUNNING: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Antônio Victor Mesquita Lima de Oliveira*

Gabriel Sousa Nascimento**

Lucas Sousa Rocha***

Nicolas Henry Sousa Menezes****

Karine Bessa Porto Pinheiro Vasques*****

RESUMO

Este estudo tem como objetivo analisar a aplicação e a evolução das próteses mecânicas no contexto da corrida paraolímpica, considerando os avanços históricos e biomecânicos observados na literatura científica e no desempenho esportivo dos atletas no período de 2012 a 2025. A relevância da pesquisa está relacionada a uma temática social, visando melhorias na qualidade de vida das pessoas com deficiência, com foco na promoção da acessibilidade, da inclusão e da equidade no esporte paralímpico, além de contribuir para a ampliação do conhecimento científico sobre o tema. Para isso, foi realizada uma revisão sistemática da literatura a partir de artigos indexados na base de dados Web of Science, selecionados conforme critérios de relevância e adequação ao objeto de estudo. Os resultados evidenciam avanços significativos no desenvolvimento das próteses mecânicas, especialmente no que se refere à eficiência biomecânica, ao conforto dos usuários e à otimização do desempenho dos atletas em competições de alto rendimento. Conclui-se que a evolução tecnológica das próteses tem desempenhado papel fundamental na ampliação da participação de atletas com deficiência nas modalidades de corrida, embora ainda sejam necessários novos estudos para aprofundar a compreensão dos impactos biomecânicos e das questões relacionadas à regulamentação esportiva.

Palavras-chave: Próteses esportivas, Corrida paralímpica, Biomecânica, Próteses de fibra de carbono e Equidade no Esporte.

ABSTRACT

This study aims to analyze the application and evolution of mechanical prostheses in the context of Paralympic running, taking into account the historical and biomechanical advances observed in the scientific literature and in athletes' sports performance from 2012 to 2025. The relevance of this research relates to a social issue, aiming to improve the quality of life for people with disabilities, with a focus on promoting accessibility, inclusion, and equity in Paralympic sports, as well as contributing to the expansion of scientific knowledge on the subject. To this end, a systematic literature review was conducted using articles indexed in the Web of Science database, selected according to criteria of relevance and suitability to the study's objective. The results highlight significant advances in the development of mechanical prostheses, particularly regarding biomechanical efficiency, user comfort, and the optimization of athletes' performance in high-performance competitions. It is concluded that the technological evolution of prostheses has played a fundamental role in expanding the participation of athletes with disabilities in running events, although further studies are still needed to deepen the understanding of biomechanical impacts and issues related to sports regulations.

Keywords: Sports Prosthetics, Paralympic Running, Biomechanics, Carbon Fiber Prosthetics, and Equity in Sports.

* Graduando, Engenharia de Mecatrônica; Departamento da Indústria; Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará; Brasil; rocha.sousa08@aluno.ifce.edu.br; Orcid id.

** Graduando, Engenharia de Mecatrônica; Departamento da Indústria; Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará; Brasil; (colocar email); Orcid id.

*** Graduando, Engenharia de Mecatrônica; Departamento da Indústria; Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará; Brasil; (colocar email); Orcid id.

**** Graduando, Engenharia de Mecatrônica; Departamento da Indústria; Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará; Brasil; (sousa.menezes09@aluno.ifce.edu.br); Orcid id. 0009-0008-4150-295

1 INTRODUÇÃO

Não se sabe ao certo o surgimento das próteses fabricadas pelo humano, portanto não há tantos exemplos de implantes mecânicos desde a primeira guerra mundial (1914) em contraste com o padrão dos dias atuais, durante a guerra a utilização de próteses dos reformados era puramente utilitária, no cenário atual temos próteses estéticas, utilitárias e próteses de cunho esportivo, o termo acessibilidade é um tanto quanto recente, logo possuímos a necessidade de entender as dificuldades dos incapacitados no esporte.

No âmbito do atletismo paraolímpico, a introdução de próteses com lâmina de fibra de carbono (lâminas de corrida) oferece esperança a atletas que perderam

um membro desabilitando a função esportiva, criadas nos anos 70 pelo designer Van Phillips, com a ideia principal de armazenar a energia cinética da flexibilidade do material e liberar em uma propulsão horizontal e vertical proporcionando velocidade e força da mesma forma quanto aos atletas normais.

Contudo, há uma rigidez mecânica alentadas aos atletas que possuem apenas uma perna relacionado a sensibilidade e diferença brutal do membro biológico e mecânico, com uma perna tendo músculos, nervos e tornozelo flexível enquanto a outra contendo rigidez mecânica e passivo, ademais as próteses devem ser ajustadas para diferentes especificidades como peso, altura e velocidade, porquê a prótese deve deformar para gerar propulsão, se for rígida demais o atleta perde significamente a capacidade de propulsão, se for mole demais o risco de ruptura é maior e o atleta perde toda a desenvoltura na corrida, adentrando ao senso do esportista que não sente o chão ao correr dependendo apenas do coto e visão, são desafios a ser enfrentados pelos engenheiros/designers de biomecânica.

O crescimento do esporte paralímpico também aumentou o interesse de pesquisadores pelas áreas da biomecânica, engenharia e tecnologia. Diversos estudos têm investigado como as próteses influenciam fatores como velocidade, equilíbrio e a integração ao atleta. Ao mesmo tempo, surgem pautas relacionadas à acessibilidade e custo desses equipamentos nas competições oficiais.

Diante da complexidade que envolve a interação entre o organismo humano e os mecanismos de restituição de energia, justifica-se a realização deste estudo pela necessidade de centralizar e analisar as evidências científicas dispersas na literatura sobre a eficácia e os impactos dessas tecnologias. Compreender essas variáveis é fundamental para subsidiar o trabalho de engenheiros biomecânicos, treinadores e profissionais da saúde na otimização da performance e na prevenção de lesões.

Portanto, o principal objetivo deste artigo é validar por meio de um panorama crítico, o avanço da presença de próteses biomecânicas, quanto à sua qualidade em competições específicas no atletismo com uma revisão sistemática, a fim de promover divulgação, acessibilidade e equidade no esporte. No viés principal de classificar a utilização de próteses para atletas com dois tipos de amputação (para próteses acima e abaixo do joelho) e seu comportamento em competições de atletismo paralímpico, com o intuito de entender a conduta mecânica de certos tipos de tecnologia.

O artigo estará orientado a uma análise do desenvolvimento de próteses ao longo do período de análise, a partir de uma divisão do artigo em sessões, nas quais apresentaram respectivamente o referencial teórico do desenvolvimento das próteses mecânicas, a metodologia utilizada na confecção do artigo, uma análise dos dados observados durante a pesquisa e por fim, considerações finais e perspectivas futuras dos autores.

2 - REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Evolução Histórica e Desenvolvimento das Próteses para Corrida

As próteses consistem em dispositivos artificiais desenvolvidos para substituir total ou parcialmente membros ou estruturas corporais perdidas, contribuindo para a recuperação de funções motoras, estéticas e, mais recentemente, esportivas. Os primeiros registros históricos dessas estruturas remontam ao Egito Antigo, há aproximadamente 3.000 anos, quando eram confeccionadas principalmente em madeira e couro, com o objetivo de auxiliar a locomoção de indivíduos amputados.

Ao longo dos séculos, o desenvolvimento tecnológico influenciou diretamente a evolução das próteses. Durante a Idade Média, esses dispositivos passaram a incorporar materiais metálicos, como o ferro, sendo utilizados não apenas para restaurar movimentos básicos, mas também para disfarçar amputações, especialmente entre membros da nobreza. Nesse período, as limitações técnicas e o estigma social associado às deficiências físicas influenciaram significativamente o desenvolvimento dessas tecnologias.

Entretanto, foi a partir da Primeira e Segunda Guerra Mundial que ocorreram os avanços mais expressivos na área. O elevado número de soldados amputados impulsionou pesquisas voltadas à reabilitação física, favorecendo o surgimento de próteses mais funcionais e o desenvolvimento dos estudos biomecânicos. Esses avanços estabeleceram as bases para a criação das modernas próteses esportivas, que atualmente utilizam materiais mais adequados para atividades físicas, reduzindo a necessidade mecânica de outras regiões do corpo, permitindo maior eficiência e desempenho em modalidades como a corrida paralímpica.

Sob essa perspectiva, o inventor norte-americano Van Phillips desenvolveu, na década de 1980, próteses esportivas confeccionadas em fibra de carbono, material caracterizado pela elevada resistência e baixo peso. Seu design foi projetado para proporcionar maior eficiência biomecânica durante a corrida, permitindo o armazenamento e a restituição de energia a cada passada. Essa inovação representou um marco no desenvolvimento das próteses esportivas, contribuindo significativamente para a ampliação da participação de pessoas com deficiência em competições de alto rendimento e impulsionando novas pesquisas nas áreas de biomecânica, engenharia e tecnologia assistiva.

2.2 Aplicações Atuais das Próteses de Corrida e sua Integração Biomecânica

A biomecânica é uma área da ciência que aplica os princípios da mecânica ao estudo dos movimentos dos organismos vivos. No contexto das próteses esportivas, essa disciplina busca compreender a interação entre o dispositivo mecânico e o corpo humano, permitindo o desenvolvimento de equipamentos capazes de reduzir o esforço físico, otimizar o gasto energético e proporcionar maior eficiência durante a corrida. Dessa forma, a biomecânica desempenha papel fundamental na adaptação das próteses às

necessidades individuais dos atletas, contribuindo para a melhoria do desempenho esportivo e para a prevenção de lesões.

Os avanços tecnológicos observados nas últimas décadas possibilitaram a utilização de materiais cada vez mais eficientes na fabricação de próteses esportivas. Atualmente, a fibra de carbono é o material mais empregado nas próteses de corrida devido à sua elevada resistência mecânica, baixo peso e capacidade de deformação elástica. Além dela, componentes produzidos em titânio, alumínio e polímeros de alta resistência são utilizados para garantir estabilidade estrutural, conforto e durabilidade. A combinação desses materiais permite que as próteses suportem elevadas cargas durante a prática esportiva sem comprometer a segurança dos atletas.

O funcionamento biomecânico das próteses modernas está diretamente relacionado à capacidade de armazenar e devolver energia durante a corrida. Quando o atleta realiza o contato com o solo, a lâmina de fibra de carbono sofre deformação, acumulando parte da energia mecânica produzida pelo movimento. Na fase seguinte, essa energia é liberada, auxiliando na impulsão do corpo e contribuindo para a manutenção da velocidade. Embora esse mecanismo aumente a eficiência da locomoção, as próteses não reproduzem integralmente as funções dos membros biológicos, uma vez que não possuem músculos, tendões ou receptores sensoriais capazes de fornecer informações ao sistema nervoso.

A integração entre atleta e prótese constitui um dos principais desafios da biomecânica contemporânea. Fatores como peso corporal, altura, comprimento do coto e modalidade esportiva influenciam diretamente o ajuste do equipamento. Uma prótese excessivamente rígida pode reduzir a capacidade de absorção de impactos e dificultar a propulsão, enquanto uma estrutura demasiadamente flexível pode comprometer a estabilidade e aumentar os riscos de falha mecânica. Por esse motivo, a personalização dos dispositivos tornou-se uma etapa essencial para garantir segurança, conforto e desempenho durante as competições.

Além das aplicações observadas no atletismo paralímpico, eventos tecnológicos como a competição Cybathlon têm contribuído para o desenvolvimento de novas soluções biomecânicas. Criada com o objetivo de aproximar pesquisadores, engenheiros e usuários de tecnologias assistivas, a competição avalia o desempenho de próteses e outros dispositivos em situações que simulam desafios reais do cotidiano. As informações obtidas nesses eventos auxiliam no aperfeiçoamento dos equipamentos e incentivam a criação de tecnologias cada vez mais acessíveis e eficientes.

A análise do desempenho dos atletas também representa uma importante área de estudo da biomecânica. Pesquisas recentes demonstram que o uso de próteses esportivas modernas pode favorecer aspectos como velocidade, equilíbrio e eficiência energética. Entretanto, o rendimento esportivo não depende exclusivamente da tecnologia empregada, sendo influenciado também pelo treinamento, pelas características fisiológicas do atleta e pela adaptação ao equipamento. Dessa forma, a busca pelo equilíbrio entre inovação tecnológica e igualdade competitiva permanece como um dos

principais debates do esporte paralímpico contemporâneo.

Paralelamente ao desenvolvimento das próteses, a área da cinesiologia passou por significativa expansão ao longo das últimas décadas. Embora os estudos sobre movimento humano tenham se consolidado entre as décadas de 1960 e 1990, os avanços científicos atuais impulsionaram novas formas de pesquisa, fabricação e personalização de dispositivos assistivos. Como resultado, as projeções de ampliação do acesso às próteses tornaram-se mais concretas, contribuindo para a inclusão social, a melhoria da qualidade de vida e o aumento da participação de pessoas com deficiência em atividades esportivas de alto rendimento.

2.3 Perspectivas Futuras: Inovação Tecnológica, Custos e Democratização do Acesso

A necessidade de inovação tecnológica, associada à redução dos custos de produção e à ampliação do acesso da população a dispositivos assistivos, constitui um importante incentivo para o avanço dos estudos em biomecânica. Embora este artigo aborde principalmente a aplicação das próteses de fibra de carbono na corrida paralímpica, é importante destacar que o desenvolvimento dessas tecnologias pode servir como base para novas pesquisas voltadas à reabilitação, à mobilidade e ao desempenho esportivo. Dessa forma, os avanços observados nesse setor contribuem não apenas para o aperfeiçoamento das próteses esportivas, mas também para a expansão do conhecimento científico relacionado à interação entre corpo humano e dispositivos mecânicos.

Entre as inovações mais promissoras destaca-se a incorporação de sensores eletrônicos capazes de monitorar em tempo real variáveis como pressão, velocidade, ângulo de apoio e distribuição de cargas. Essas informações podem auxiliar tanto atletas quanto profissionais da saúde na personalização dos equipamentos e na prevenção de lesões. Além disso, estudos recentes investigam a integração entre próteses e sistemas de inteligência artificial, permitindo ajustes automáticos conforme as condições do tipo de ambiente e as características do usuário.

Sob a perspectiva das futuras inovações, a impressão tridimensional (3D) apresenta grande potencial para transformar os processos de fabricação de próteses. Inicialmente difundida em áreas como a odontologia, essa tecnologia passou a ser aplicada também no desenvolvimento de dispositivos ortopédicos personalizados. Sua utilização possibilita a produção de estruturas adaptadas às características individuais de cada usuário, favorecendo maior conforto, mobilidade e integração ao corpo humano. Além disso, a redução do desperdício de materiais e dos custos de fabricação torna a impressão 3D uma alternativa promissora para ampliar o acesso às próteses e democratizar o uso dessas tecnologias em diferentes contextos sociais.

Portanto, as perspectivas futuras das próteses de corrida apontam para um cenário de crescente inovação tecnológica, no qual a integração entre biomecânica, inteligência

artificial e novos materiais poderá transformar significativamente a experiência dos usuários. Entretanto, para que esses benefícios alcancem um número cada vez maior de pessoas, será necessário conciliar desenvolvimento científico, redução de custos e políticas efetivas de inclusão social.

3 - METODOLOGIA

Diante o tema já exposto no artigo, este trabalho tem como objetivo analisar a presença e os impactos das próteses esportivas na corrida, por meio de uma revisão sistemática de artigos científicos dos anos de 2012 a 2025.

O intuito do artigo é apresentar ao público geral um entendimento amplo sobre os dispositivos protéticos visando ressaltar a importância do estudo da biomecânica, assim incentivando ainda mais pesquisas e investimento na área.o a

Os autores deste artigo separaram a produção do mesmo em etapas, seguindo uma metodologia tradicional e apresentada em diversos outros artigos do ramo científico.

PLANEJAMENTO INICIAL	Etapa 1	Definição do recorte temático da pesquisa
CONDUÇÃO DA PESQUISA	Etapa 2	Seleção da base de dados
	Etapa 3	Escolha das palavras chave
	Etapa 4	Definição do período de filtração dos dados
	Etapa 5	Eleição dos critérios para a escolha dos artigos
RESULTADOS	Etapa 6	Exposição dos resultados e conclusões adquiridas após as pesquisas realizadas

Tabela 1 - Metodologia do Artigo

Na etapa 1, a equipe realizou a delimitação do eixo temático da pesquisa por meio de levantamentos preliminares na literatura científica. Buscou-se selecionar um tema que apresentasse relevância acadêmica e social, bem como potencial para ampliar a divulgação do conhecimento relacionado às próteses esportivas e à biomecânica aplicada ao esporte paralímpico.

Na etapa 2, o foco concentrou-se na seleção da base de dados utilizada para a obtenção dos artigos científicos. Considerando a necessidade de utilizar fontes confiáveis e reconhecidas pela comunidade científica, optou-se pela plataforma Web of Science,

devido à sua abrangência e relevância na indexação de publicações acadêmicas de alto impacto.

Na etapa 3 foram definidas as palavras-chave utilizadas durante a pesquisa bibliográfica, buscando contemplar os principais conceitos relacionados ao tema. Entre os termos selecionados destacam-se "próteses esportivas", "corrida paralímpica", "biomecânica" e "próteses de fibra de carbono". A escolha adequada das palavras-chave teve como objetivo aumentar a precisão dos resultados encontrados na base de dados selecionada.

Na etapa 4 foi realizada a delimitação temporal da pesquisa, estabelecendo como período de análise os anos de 2012 a 2025. Esse recorte foi definido com o intuito de reunir estudos recentes e relevantes sobre os avanços tecnológicos, biomecânicos e esportivos relacionados às próteses de corrida, permitindo uma análise mais atualizada do tema.

Na etapa 5 ocorreu a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão dos artigos encontrados. Foram incluídos estudos publicados no período delimitado, disponíveis integralmente e que abordavam diretamente a utilização, o desenvolvimento ou os impactos biomecânicos das próteses esportivas. Por outro lado, foram excluídos trabalhos duplicados, artigos sem relação direta com o objeto de estudo, publicações incompletas e pesquisas que não apresentavam informações relevantes para os objetivos deste artigo.

Por fim, na etapa 6 foi realizada a análise crítica dos artigos selecionados, identificando os principais avanços tecnológicos, aplicações biomecânicas e impactos das próteses esportivas no contexto da corrida paralímpica. Os resultados obtidos foram organizados e discutidos, possibilitando a elaboração das conclusões apresentadas neste estudo.

4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS (DADOS)

A seguir serão apresentados os resultados da análise feita pela equipe, na qual irá comparar, explicar e comentar os dados obtidos dos estudos selecionados, por meio de critérios anteriormente mencionados.

A partir da busca, foram selecionados 10 artigos publicados na Web of Science, os quais serão apresentados no quadro a seguir.

ARTIGO	ANO
O modelo protético, mas não a rigidez nem a altura, influencia o custo	2017

metabólico da corrida em atletas com amputação transtibial unilateral	
A redução da rigidez da prótese diminui o custo metabólico da corrida para atletas com amputações transtibiais bilaterais	2017
Caracterização das propriedades mecânicas de próteses específicas para corrida	2016
Caracterização das propriedades de resposta de dois modelos de próteses específicas para corrida	2017
Desempenho de pés protéticos esportivos fabricados com diversos materiais compósitos com matriz de PMMA: estudo numérico e teórico	2021
O modelo protético, mas não a rigidez nem a altura, influencia a velocidade máxima de corrida em atletas com amputações transtibiais unilaterais	2020
Como a rigidez, a altura e a velocidade de corrida das próteses afetam a biomecânica de atletas com amputações transtibiais bilaterais?	2017
Trabalho mecânico externo em	2021

corredores com amputação transfemoral unilateral	
Análise dinâmica de uma prótese de perna de alto desempenho: caracterização experimental e modelagem numérica	2023
Projeto Assistido por Computador e Estudo Mecânico Simulado de Prótese Femoral Personalizada	2012

Tabela 2 - Apresentação dos artigos

No que tange os dados analisados, temos como princípio análises do perfil sociodemográfico e clínico dos pacientes, como em casos de amputação, realizado pelo estudo clínico da doutora Denise Regina Matos, foi observado que 116 pacientes tiveram as seguintes características 56,02% são caso traumáticos, com a média de uso de prótese de 13,1 horas por dia, sendo 68,1% de amputação acima do joelho e 31,9% abaixo, média de idade de 35,9 anos, ou seja, supondo uma análise de dados para para-atletas, eles seriam classificados como atletas de amputação acima do joelho (TF) e em categorias T42/F42 o que justifica a necessidade próteses de corrida (RSPs) e atletas classificados com amputação abaixo do joelho (TT), representando 31,9% dos pacientes avaliados, portanto contendo maior facilidade de locomoção na corrida por conta da prótese de lâmina de carbono. Segue os dados apresentados abaixo:

Indicador Clínico/Demográfico	Valor / Proporção	Amostra Equivalent e (Pacientes)	Equivalência a no Esporte Paralímpico	Impacto na Performance / Biomecânica

Amputação Acima do Joelho (TF)	68,10%	79	Classe T42 / F42	Exige joelho mecânico. Maior gasto energético e menor velocidade.
Amputação Abaixo do Joelho (TT)	31,90%	37	Classe T44 / F44	Joelho biológico preservado. Maior propulsão e eficiência com a lâmina de carbono.
Causas Traumáticas	56,02%	65	Histórico Comum em Paratletas	Perfil geralmente jovem, apto a uma recuperação agressiva e alto rendimento.
Outras Causas	43,98%	51	-	Perfil que exige maior atenção à saúde circulatória e integridade do coto.

Tabela 3 - Análises do perfil sociodemográfico e clínico dos pacientes

Como no esporte paralímpico deve haver o princípio da proeza física, que dita que o desempenho de um atleta não deva sofrer impacto da tecnologia e sim do esforço crítico, foi analisado entre 1992 e 2012 um aumento do desempenho na corrida paralímpica de 26% em atletas com amputação acima do joelho (T42) comparado a 14% dos atletas com amputação abaixo do joelho (T44), indicando o aumento na compensação tecnológica nos usuários em amputações mais altas que utilizam próteses de corrida (RSPs), por outra vertente, atletas com amputação unilateral, especialmente em níveis mais altos, tendem a gerar forças de reação do solo menores no membro protético em comparação ao membro intacto.

(Clínica Vasculares) Como atletas de proeza física em altas velocidades, eles compõem grandes impulsos maiores e mais longos com a perna biológica, o que aumenta o risco de lesões por sobrecarga no membro preservado. Em resumo, quanto mais baixo o nível de amputação, maior é a proeza física funcional e a facilidade de locomoção diária.

Por outro lado, no esporte de elite, a tecnologia tem permitido que atletas com amputações mais altas superem suas limitações biológicas em um ritmo mais acelerado do que aqueles com amputações distais.

De acordo com o comitê paralímpico a equidade no esporte é um dos quatro princípios fundamentais na evolução dos equipamentos, definindo que o atleta não deve possuir uma vantagem desleal, portanto, vamos a três casos de próteses disfuncionais no

esporte para os atletas no via de regra esportiva:

Caso de Disfuncionalidade	Critério Técnico / Mecânico	Violação da Regra Esportiva (IPC / World Athletics)	Exemplo Prático ou Impacto no Atleta
Altura Excessiva (Prótese Longa Demais)	A lâmina de carbono é calibrada para dar ao atleta uma estatura maior do que sua anatomia biológica permitiria.	Quebra da Regra MAMD (Maximum Allowable Standing Height). Considerada vantagem mecânica ilegal por aumentar artificialmente a passada.	Caso Blake Leeper: O velocista americano foi banido de provas convencionais porque suas lâminas o deixavam alto demais em relação ao seu tronco.
Propulsão Ativa (Sistemas Motorizados)	O dispositivo utiliza baterias, motores ou microprocessadores que injetam energia mecânica ativa na passada.	Violação da Regra de Passividade (Regra 6.16). O equipamento esportivo deve ser puramente passivo (armazenar e devolver apenas a energia do próprio atleta).	Próteses biônicas de uso diário (como joelhos eletrônicos ou tornozelos motorizados) são proibidas na pista porque usam energia externa, agindo como um "motor".

Instabilidade Dinâmica (Fadiga ou Assimetria)	A fibra de carbono sofre delaminação oculta (microfissuras) perdendo a rigidez linear, ou o atleta usa lâminas com calibragens totalmente diferentes.	Violação dos Critérios de Segurança e Simetria. O equipamento é considerado disfuncional por colocar em risco o atleta e os rivais nas raia vizinhas.	Perda do vetor de força para a frente. O paratleta começa a oscilar lateralmente ou "mancar" em alta velocidade, correndo o risco de queda ou desclassificação por invasão de raia.
---	---	---	---

Tabela 4 - Análises de Critério de Desclassificação

5- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que o objetivo do estudo foi alcançado ao perceber a crescente na presença e qualidade da assistência nos serviços das próteses mecânicas aos usuários necessitados, com isso, a divulgação de estudos com o objetivo de valorizar a área e servir como auxílio para demais pesquisas na área.

Entretanto, ainda existem desafios relacionados aos elevados custos de produção, à democratização do acesso e à constante necessidade de aperfeiçoamento tecnológico. Dessa forma, recomenda-se que futuras pesquisas aprofundem os estudos sobre novos materiais, inteligência artificial, impressão tridimensional (3D) e mecanismos de integração biomecânica, contribuindo para o desenvolvimento de próteses cada vez mais eficientes, acessíveis e adaptadas às necessidades dos usuários.

Por fim, conclui-se que a contínua evolução das próteses mecânicas representa não apenas um avanço tecnológico, mas também uma importante ferramenta de inclusão, capaz de ampliar as oportunidades de participação esportiva e social das pessoas com deficiência.

REFERÊNCIAS

BATLEY, Abigail; SEWELL, Philip; DYER, Bryce. Facilitators and barriers for participation in sports and physical activity for children with lower-limb absence: A systematic review. *Prosthetics & Orthotics International*, v. 47, n. 4, p. 385-393, ago. 2023. DOI: 10.1097/PXR.0000000000000241.

BEKRATER-BODMANN, Robin. Factors Associated With Prosthesis Embodiment

and Its Importance for Prosthesis Satisfaction in Lower Limb Amputees. *Frontiers in Neurorobotics*, v. 14, art. 604376, 15 jan. 2021. DOI: 10.3389/fnbot.2020.604376.

CARDOSO, Vinícius Denardin; HAIACHI, Marcelo de Castro; REPPOLD FILHO, Alberto Reinaldo; GAYA, Adroaldo Cezar. A tecnologia no esporte paralímpico. *Pensar a Prática*, Goiânia, v. 21, n. 3, jul./set. 2018. DOI: 10.5216/rpp.v21i3.47496.

DYER, Bryce T. J. Running into obsolescence: Paralympic prosthetics and the Cybathlon alternative. *Performance Enhancement & Health*, v. 14, n. 2, p. 100416, maio 2026. DOI: 10.1016/j.peh.2026.100416.

HADJ-MOUSSA, Firdous; NGAN, Calvin C.; ANDRYSEK, Jan. Biomechanical factors affecting individuals with lower limb amputations running using running-specific prostheses: A systematic review. *Gait & Posture*, v. 92, p. 83–95, 2022 (Disponível online em 6 de novembro de 2021).

HADJ-MOUSSA, Firdous; ZAHID, Hafsa B.; WRIGHT, F. Virginia; KELLAND, Kerri; ANDRYSEK, Jan. "It's more than just a running leg": a qualitative study of running-specific prosthesis use by children and youth with lower limb absence. *Disability and Rehabilitation*, v. 44, n. 23, p. 7096-7105, nov. 2022. DOI: 10.1080/09638288.2021.1988735.

MATOS, Denise Regina. Reabilitação e qualidade de vida em pessoas com amputação de membros inferiores. 2019. 264 f. Tese (Doutorado em Psicologia Clínica e Cultura) – Instituto de Psicologia, Departamento de Psicologia Clínica, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

RIENER, Robert; VASSELLA, Luca; WOLF, Peter. A decade of Cybathlon: impact on public visibility, scientific dissemination and technology transfer. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, v. 23, n. 1, p. 45-58, mar. 2026. DOI: 10.1186/s12984-026-01988-7.

SINCLAIR, Jonathan; DILLON, Stephanie. The influence of energy boost and springblade footwear on the kinetics and kinematics of running. Centre for Applied Sport and Exercise Sciences, School of Sport and Wellbeing, University of Central Lancashire, United Kingdom, 2019.

TACCA, Joshua R.; BECK, Owen N.; TABOGA, Paolo; GRABOWSKI, Alena M.

Running-specific prosthesis model, stiffness and height affect biomechanics and asymmetry of athletes with unilateral leg amputations across speeds. Royal Society Open Science, v. 9, n. 6, p. 220254, jun. 2022. DOI: 10.1098/rsos.220254.

WOLF, Peter; RIENER, Robert. Cybathlon: How to promote the development of assistive technologies. Science Robotics, v. 3, n. 17, p. 1-3, abr. 2018. DOI: 10.1126/scirobotics.aat7174.