

Os impactos do uso de um exoesqueleto na reabilitação de indivíduos com lesão na medula espinhal – uma mini revisão integrativa

André Baird Pina Siade¹; Danilo Ambrósio Silva¹; Inara Ingrid de Oliveira¹; Margueritta Pierre Moussa¹; Maria Eduarda Guimaraes Santos Mota¹; Victoria Gabriella Mendes de Oliveira¹; Cecília Magnabosco Melo²

1. Discente do curso de Medicina da Universidade Evangélica de Goiás - UniEVANGÉLICA.

2. Docente curso de Medicina da Universidade Evangélica de Goiás - UniEVANGÉLICA.

RESUMO: O traumatismo da medula espinhal (TME) representa uma condição de grande impacto funcional, comprometendo significativamente a mobilidade, a autonomia e a qualidade de vida dos indivíduos acometidos. Nesse contexto, os exoesqueletos robóticos têm sido utilizados como recurso tecnológico no processo de reabilitação. O presente estudo teve como objetivo identificar, na literatura científica, os impactos do uso de exoesqueletos robóticos na reabilitação de indivíduos com TME. Trata-se de uma mini revisão integrativa de caráter descritivo, realizada por meio de buscas nas bases de dados PubMed Central (PMC), SciELO, PLoS ONE e Google Acadêmico. Foram incluídos artigos publicados entre 2021 e 2026, disponíveis na íntegra, nos idiomas inglês, português e espanhol, que abordassem a temática proposta e apresentassem dados primários. Foram excluídos artigos duplicados, revisões de literatura, teses, dissertações e estudos que não respondiam à pergunta norteadora da pesquisa. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, a amostra final foi composta por oito artigos. Os estudos analisados demonstraram que o uso de exoesqueletos robóticos está associado a benefícios relacionados à mobilidade, ao estímulo neuromuscular e à independência funcional, além de possíveis impactos positivos na qualidade de vida e em aspectos psicossociais dos indivíduos com TME. Entretanto, limitações como acessibilidade restrita e necessidade de acompanhamento especializado ainda dificultam sua ampla aplicação. Conclui-se que os exoesqueletos robóticos apresentam potencial como estratégia auxiliar na reabilitação de indivíduos com TME, embora sejam necessários mais estudos para fortalecer as evidências científicas sobre sua eficácia e aplicabilidade clínica.

Palavras-chave:

Exoesqueleto.
Lesão.
Medula espinhal.
Reabilitação.
Saúde do indivíduo.

INTRODUÇÃO

O traumatismo da medula espinhal (TME) é uma condição neurológica incapacitante que compromete funções motoras, sensoriais e autonômicas, impactando de forma significativa a qualidade de vida dos indivíduos. Nesse contexto, a reabilitação assume papel central, buscando não apenas a recuperação de funções, mas também a adaptação às limitações e a reintegração social¹.

Nos últimos anos, o avanço de tecnologias assistivas tem transformado o cenário da reabilitação neurológica, destacando-se o uso de exoesqueletos robóticos. Esses dispositivos permitem

a execução de movimentos assistidos, favorecendo a estimulação neuromuscular, a plasticidade neural e a recuperação funcional, além de contribuírem para aspectos psicossociais, como motivação e autonomia. Apesar desse potencial, ainda existem limitações relacionadas à acessibilidade, custo e evidências específicas para populações variadas².

Os exoesqueletos vêm sendo amplamente aplicados na reabilitação de indivíduos com lesão medular, sendo classificados em diferentes gerações tecnológicas, desde modelos com suporte de peso corporal até dispositivos inteligentes integrados à inteligência artificial, realidade virtual e internet das coisas³. Os autores destacam que tais tecnologias favorecem o treino repetitivo da marcha, aumentam o engajamento do paciente e estimulam mecanismos neuroplásticos centrais e periféricos, contribuindo para reorganização neural e recuperação funcional.

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo analisar os impactos dos exoesqueletos na reabilitação de indivíduos com traumatismo da medula espinhal, considerando parâmetros como desfechos biomecânicos, fisiológicos, funcionais e de segurança. Busca-se compreender como diferentes abordagens terapêuticas contribuem para a adaptação desses indivíduos às limitações impostas pela lesão, bem como para a promoção de autonomia e bem-estar.

METODOLOGIA

Trata-se de uma mini revisão integrativa de caráter descritivo, em que foram utilizadas as seguintes etapas para a construção desta revisão: identificação do tema; seleção da questão de pesquisa; coleta de dados pela busca na literatura, utilizando-se as bases de dados eletrônicas, com estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão para selecionar a amostra; avaliação dos estudos incluídos na revisão integrativa, interpretação dos resultados e apresentação dos resultados evidenciados.

As buscas foram realizadas por meio da pesquisa na base de dados PubMed Central (PMC); ScieLo e PLoS ONE. Foram utilizados os descritores em combinação com o termo booleano "AND": "Injury", "Spinal cord"; "Rehabilitation"; "Exoskeletons"; "Individual Health", sendo encontrados 43 artigos, que foram submetidos a critérios inclusivos.

Os critérios de inclusão foram: artigos disponibilizados na íntegra, nos idiomas inglês, português e espanhol, publicados no período de 2021 a 2026, que abordassem a temática proposta nesta pesquisa, incluindo ensaios clínicos com dados primários e meta-análises. Foram excluídos artigos de revisão, teses, dissertações, artigos duplicados, estudos que não abordavam de maneira clara a proposta estudada e aqueles que não respondiam à pergunta norteadora: "Quais são os impactos dos exoesqueletos na reabilitação de indivíduos com traumatismo da medula espinhal?". Após a análise dos títulos encontrados e aplicação dos critérios estabelecidos, foram selecionados 8 artigos para compor a amostra final, enquanto 35 estudos foram excluídos

RESULTADOS

Nesta mini revisão integrativa, analisou-se o impacto do uso de exoesqueletos na reabilitação de indivíduos com lesão medular, utilizando parâmetros como desfechos biomecânicos, fisiológicos, funcionais e de segurança. Os resultados apresentados pelos cinco artigos selecionados estão apresentados, por meio de panorama geral, no Quadro 1.

Quadro 1: artigos selecionados na mini revisão, com apresentação de seus objetivos, metodologias e resultados.

Autor	Tipo de Estudo	Objetivo	Metodologia	Resultados
Chang S. et al. (2026)	Estudo experimental randomizado cruzado.	Avaliar os efeitos do exoesqueleto na biomecânica do movimento de marcha.	Estudo com indivíduos utilizando exoesqueleto robótico durante a marcha. Os participantes realizaram tanto a condição com exoesqueleto quanto a condição controle em sessões distintas, atuando como seus próprios controles, com ordem das intervenções definida de forma aleatorizada e intervalo de recuperação entre as sessões para minimizar interferências nos resultados. Na condição experimental, os indivíduos utilizaram o exoesqueleto robótico durante a execução das atividades propostas, enquanto na condição controle realizaram os mesmos movimentos sem o dispositivo. Foram avaliados parâmetros biomecânicos, como número	Houve redução da carga no joelho, aumento da participação do quadril (20–40%) e diminuição da ativação muscular de membros inferiores (~50%) durante a marcha.

			de passos, carga no joelho, participação do quadril e atividade muscular por eletromiografia.	
Voicu R. et al. (2025)	Estudo transversal randomizado do cruzado.	Avaliar o impacto do exoesqueleto associado à estimulação elétrica na demanda cardiorrespiratória.	Estudo com 11 indivíduos com lesão medular incompleta submetidos à marcha com exoesqueleto associada ou não à estimulação elétrica funcional. Os participantes realizaram dois testes de caminhada de 6 minutos em sessões cruzadas, atuando como seus próprios controles, com sequência das condições definida de forma aleatorizada. Em uma condição, foi utilizada a marcha com exoesqueleto associada à estimulação elétrica funcional sincronizada à marcha e, na outra, apenas o exoesqueleto. Houve período de familiarização prévio e intervalo de 15 minutos entre os testes para estabilização cardiorrespiratória. Foram avaliados consumo de oxigênio, frequência cardíaca, ventilação pulmonar e gasto energético.	Houve aumento de 6% no consumo de oxigênio, além de aumento da FC, ventilação e gasto energético
Rodríguez-Fernández A. et al. (2025)	Ensaio clínico randomizado do cruzado.	Comparar exoesqueleto ABLE com órteses KAFO.	Ensaio com 10 indivíduos com lesão medular utilizando exoesqueleto ABLE e órteses KAFO durante treinamento da marcha. Os participantes	Houve melhora nas métricas de marcha (aumento do número de passos, melhora da velocidade da

			<p>foram distribuídos em estudo cruzado randomizado, realizando treinamento com exoesqueleto e KAFO em períodos distintos, com sequência das intervenções definida aleatoriamente e intervalo de duas semanas entre os períodos para minimizar efeitos residuais. Foram realizadas 10 sessões com cada dispositivo, incluindo treinamento e avaliações funcionais da marcha. Avaliaram-se número de passos, velocidade da marcha, teste de caminhada de 6 minutos (6MWT) e eventos adversos.</p>	<p>marcha e no teste de caminhada de 6 minutos – 6-Minute Walk Test) e menor número de eventos adversos (desconforto ou dor, fadiga excessiva e instabilidade), além de aprendizado rápido.</p>
Rodríguez-Fernández A. et al. (2022)	Ensaio clínico randomizado cruzado.	Ensaio com indivíduos que apresentam lesão medular utilizando exoesqueleto ABLE e órteses KAFO. Foram avaliados parâmetros biomecânicos da marcha, compensações corporais, comprimento da	Ensaio com pacientes com lesão medular crônica incompleta utilizando exoesqueleto ABLE e órteses KAFO durante a deambulação. Os participantes foram distribuídos em estudo cruzado randomizado, realizando treinamento com ambos os dispositivos em períodos distintos, com sequência das intervenções definida aleatoriamente e intervalo de duas semanas entre os ciclos para minimizar efeitos residuais. O protocolo	Não houveram resultados significativos de melhora nos testes clínicos ou consumo energético. Houve redução de aproximadamente 38% dos movimentos compensatórios durante a marcha e melhora de cerca de 25% no número de passos e no comprimento da passada, indicando

		passada e gasto energético.	incluiu 10 sessões de treinamento para cada dispositivo, com avaliações funcionais realizadas ao final de cada etapa. Foram analisados parâmetros relacionados à biomecânica da marcha, gasto energético e desempenho funcional durante a deambulação.	melhora biomecânica e do desempenho funcional da marcha.
Gil-Agudo Á. et al. (2023)	Ensaio clínico randomizado controlado.	Ensaio com 23 indivíduos com lesão medular incompleta submetidos a 15 sessões com o exoesqueleto HANK. Foram avaliados a independência funcional da marcha e segurança por meio da escala WISCI-II e testes funcionais.	Ensaio clínico randomizado controlado com 23 pacientes submetidos a 15 sessões de treino com exoesqueleto HANK para avaliação da independência funcional da marcha e segurança terapêutica.	Houve melhora significativa no WISCI-II (nível de capacidade de caminhada e quantidade de assistência necessária), sem diferenças nos demais testes funcionais.

Os estudos demonstram que o uso de exoesqueletos promove alterações relevantes na biomecânica da marcha, com redução da sobrecarga articular e dos movimentos compensatórios, além de favorecer um padrão de movimento mais fisiológico¹⁴. Observa-se também aumento da participação de determinadas estruturas corporais, como o quadril, associado, em alguns casos, à redução da ativação muscular global¹.

Do ponto de vista fisiológico, observa-se que a associação do exoesqueleto com a estimulação elétrica funcional aumenta a demanda cardiorrespiratória, com elevação do consumo de

oxigênio, frequência cardíaca, ventilação e gasto energético, sugerindo maior intensidade do treinamento².

Em relação à funcionalidade, os estudos apontam melhora em parâmetros da marcha, como distância percorrida, velocidade e número de passos, além de aumento da independência funcional avaliada por escalas específicas^{3,4}. No entanto, nem todos os desfechos clínicos apresentaram melhora significativa, não sendo observadas diferenças em alguns testes funcionais padronizados^{3,4}.

No que se refere à segurança e viabilidade, os achados indicam que os exoesqueletos são dispositivos seguros e bem tolerados, com baixo número de eventos adversos e aprendizado relativamente rápido para sua utilização^{3,5}.

Por outro lado, os resultados também evidenciam limitações, uma vez que nem todos os dispositivos foram capazes de reduzir o custo energético da marcha ou promover melhora global no desempenho funcional, sugerindo que os benefícios dependem das características do exoesqueleto e do tipo de assistência oferecida⁴.

DISCUSSÃO

Nos estudos analisados, a utilização de exoesqueletos robóticos na reabilitação de indivíduos com lesão medular espinal demonstra crescente relevância terapêutica, especialmente os desfechos biomecânicos, fisiológicos, funcionais e de segurança. Os resultados dos artigos selecionados nesta revisão integrativa evidenciam que a fisioterapia assistida por exoesqueletos representa estratégia promissora para potencializar a recuperação motora e reduzir limitações secundárias decorrentes da lesão medular.

Reforçando essa perspectiva, o uso de exoesqueleto autônomo durante sessões fisioterapêuticas apresentou viabilidade clínica e segurança para pacientes com lesão medular. Os achados sugerem que a utilização de dispositivos livres de suporte externo amplia a possibilidade de treino em ambientes mais próximos das atividades reais, favorecendo equilíbrio, ortostatismo e mobilidade funcional. Desse modo, observa-se que a incorporação desses equipamentos à fisioterapia convencional pode ampliar a intensidade e especificidade do tratamento reabilitador⁷.

Ademais, verifica-se que a associação entre treinamento com exoesqueleto e estimulação transespinal apresentou potencial para intensificar a ativação neuromuscular e elevar os níveis de atividade física após a lesão medular. Tal combinação terapêutica sugere efeito sinérgico entre estimulação neural e prática motora assistida, o que pode favorecer plasticidade neural mais robusta e melhores respostas funcionais em comparação ao uso isolado de intervenções convencionais⁸.

Em consonância entre os estudos, nota-se que a repetição de movimentos, o feedback sensorial e a participação ativa do paciente constituem fatores centrais para os ganhos motores observados. É ressaltado que movimentos ativos produzem respostas neurais superiores aos

movimentos puramente passivos, indicando que dispositivos robóticos devem estimular a participação voluntária sempre que possível. Esse aspecto também se relaciona aos resultados dos demais estudos, que enfatizam protocolos voltados ao aumento da autonomia e do esforço funcional durante o treinamento⁶⁻⁸.

No que diz respeito às limitações, os artigos apontam desafios relacionados ao custo elevado dos dispositivos, necessidade de treinamento especializado, adaptação individualizada, desconforto mecânico e amostras reduzidas nos estudos clínicos. Além disso, ainda são necessários ensaios clínicos robustos para confirmar a magnitude dos benefícios a longo prazo e estabelecer protocolos padronizados de uso⁶⁻⁸.

Infere-se, portanto, que a reabilitação assistida por exoesqueletos representa recurso inovador e promissor no tratamento da lesão medular espinal. A combinação entre tecnologia robótica, fisioterapia intensiva e estratégias de neuromodulação pode proporcionar melhores desfechos motores e funcionais. Contudo, a ampliação das evidências científicas e o desenvolvimento de tecnologias mais acessíveis permanecem essenciais para consolidar essa abordagem na prática clínica.

CONCLUSÃO

Os resultados desta revisão indicam que os exoesqueletos representam uma inovação relevante na reabilitação de indivíduos com traumatismo da medula espinal, promovendo ganhos em desfechos biomecânicos, fisiológicos, funcionais e de segurança. No entanto, apesar dos benefícios observados, sua aplicação ainda enfrenta limitações importantes, especialmente relacionadas ao alto custo e à necessidade de infraestrutura especializada. Dessa forma, torna-se fundamental o avanço de pesquisas com maior rigor metodológico e o desenvolvimento de tecnologias mais acessíveis, a fim de ampliar a efetividade e a aplicabilidade dessa abordagem no contexto coletivo.

REFERÊNCIAS

¹CHANG, Shuai et al. Development of a training-oriented wearable knee joint exoskeleton for forming a scientific force application pattern in squat tasks. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 14, 13 fev. 2026. DOI: 10.3389/fbioe.2026.1719023. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/bioengineering-and-biotechnology/articles/10.3389/fbioe.2026.1719023/full>. Acesso em: 14 maio 2026.

²VOICU, Robert et al. Influence of gait-synchronized functional electrical stimulation during exoskeleton-assisted ambulation on cardiorespiratory outcomes in individuals with incomplete spinal cord injury. **Journal of Rehabilitation Medicine**, v. 57, p. jrm43423, 2 nov. 2025. DOI: 10.2340/jrm.v57.43423. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41178133/>. Acesso em: 14 maio 2026.

³RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, Antonio et al. Randomized, crossover clinical trial on the safety, feasibility, and usability of the ABLE exoskeleton: A comparative study with knee-ankle-foot orthoses. **PLoS ONE**, v. 20, n. 5, p. e0318039–e0318039, 27 maio 2025. DOI: 10.1371/journal.pone.0318039. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12112281/>. Acesso em: 14 maio 2026.

⁴RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, Antonio et al. Comparing walking with knee-ankle-foot orthoses and a knee-powered exoskeleton after spinal cord injury: a randomized, crossover clinical trial. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, 9 nov. 2022. DOI: 10.1038/s41598-022-23556-4. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36351989/>. Acesso em: 14 maio 2026.

⁵GIL-AGUDO, Ángel et al. Exoskeleton-based training improves walking independence in incomplete spinal cord injury patients: results from a randomized controlled trial. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, v. 20, n. 1, 24 mar. 2023. DOI: 10.1186/s12984-023-01158-z. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12984-023-01158-z>. Acesso em: 14 maio 2026.

⁶HE, Yana et al. Exoskeleton-assisted rehabilitation and neuroplasticity in spinal cord injury. **World Neurosurgery**, v. 185, 1 fev. 2024. DOI: 10.1016/j.wneu.2024.01.167. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38320651/>. Acesso em: 14 maio 2026.

⁷POSTOL, Nicola et al. Physiotherapy using a free-standing robotic exoskeleton for patients with spinal cord injury: a feasibility study. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, v. 18, n. 1, dez. 2021. DOI: 10.1186/s12984-021-00967-4. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34953501/>. Acesso em: 14 maio 2026.

⁸SUTOR, Thomas et al. Exoskeleton Training and Trans-Spinal Stimulation for Physical Activity Enhancement After Spinal Cord Injury (EXTra-SCI): An Exploratory Study. **Frontiers in rehabilitation sciences**, v. 2, 4 jan. 2022. DOI: 10.3389/fresc.2021.789422. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/rehabilitation-sciences/articles/10.3389/fresc.2021.789422/full#cite>. Acesso em: 14 maio 2026.