

EXOESQUELETO ROBÓTICO: UM ESTUDO SOBRE POTENCIAL INOVADOR DAS TECNOLOGIAS ASSISTIVAS

Dannyella Silva da Costa Madruga¹ Rayane Pereira dos Santos Câmara¹
Heloyza Helena Nunes de Oliveira² Efrain Pantaleón-Matamoros²

¹Bacharelado em Ciências Atuariais

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN - Natal/RN - Brasil
dannyellamadruga@gmail.com; rayaneacademico@gmail.com

² Programa de Pós-Graduação em Ciências, Tecnologia e Inovação
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN - Natal/RN - Brasil
heloysooliveira@ufrn.edu.br, epantaleon@ect.ufrn.br

Resumo

A utilização de recursos e serviços objetivando a integração social de indivíduos com limitações físicas e mentais se dá pela aplicabilidade de Tecnologias Assistivas. Como exemplo disso, tem-se as órteses, notoriamente os exoesqueletos, utilizados na reabilitação de membros acometidos, como também para com a mobilidade corporal, permitindo a execução de atividades diárias. Desse modo, esse estudo tem como objetivo analisar os avanços científicos da tecnologia com o passar do tempo e avaliar esse ramo com um setor estratégico de pesquisa para os próximos anos no Brasil. Diante disso, foi realizada uma comparação, sobre a perspectiva tanto acadêmica quanto em análise de mercado, com os países que mais desenvolvem pesquisas na área e a realidade do Brasil nesse cenário.

Palavras-chave: análise de mercado, exoesqueleto, robótica, tecnologia assistiva.

1 Introdução

O crescimento populacional, concomitante ao processo de globalização, expõe uma sociedade diversa, seja de características econômicas ou fenotípicas. Desse modo, a inclusão de indivíduos acometidos de deficiência visual, auditiva, mental e motora, faz-se por meio de Tecnologias Assistivas (TA). Nessa perspectiva, TA é caracterizada por adaptar recursos e serviços com o fito de melhorar ou aumentar as capacidades funcionais de pessoas com deficiência, sendo as órteses e próteses exemplos desses equipamentos.

A palavra órtese é originada do grego pela junção de ortho ao sufixo sis, possuindo o significado de endireitar e retificar (SILVA, et. al. 2017). De acordo com a empresa alemã Ottobock, as órteses são dispositivos utilizados para a correção ou reabilitação, criando a estabilidade corporal ou de um membro afetado, compensando as funções perdidas. As órteses para os membros inferiores são classificadas em passivas e ativas, de forma que a primeira corrige ou impede alguns movimentos do corpo, sendo irrelevante para aqueles paciente com pouco ou nenhum movimento do membro, enquanto as órteses ativas são mais indicadas para ajudar estas pessoas (ARAÚJO, 2010). Em contrapartida, as próteses são capazes de substituir um órgão ou membro, auxiliando na avaliação funcional do paciente.

Ao longo do tempo, utilizou-se madeira, couro, metal, borracha, gessos para imobilizar e tentar facilitar a locomoção do membro deficiente. Muitas vezes, esses materiais eram capazes de solucionar o problema, ainda que temporariamente, porém não ofereciam conforto e estética agradável para os seus usuários (THOMAZINI, et al, 2004).

Tendo em vista a dificuldade de locomoção, e até mesmo a impossibilidade de andar do ser humano, seja esta decorrentes de acidentes ou de doenças degenerativas, estudiosos desenvolveram dispositivos robóticos, a partir de sistema de microelectrónica de informática com alguns materiais mecânicos de alta resistência para auxiliar na locomoção deste grupo de pessoas (ARAÚJO, 2010). Estes dispositivos são denominados de exoesqueletos, sendo inicialmente desenvolvidos nos Estados Unidos da América, tinha objetivando aumentar as habilidades humanas de pessoas saudáveis para fortalecer seus militares na guerra, amplificando, assim, suas formas de combate e sua mobilidade. Diferentemente da Iugoslávia, a qual desenvolviam seus exoesqueletos como forma de tecnologia assistiva para serem usados em pessoas com deficiência física (DOLLAR, et al, 2008).

Os exoesqueletos são classificados de acordo com o suporte dado às partes do corpo humano. Suas classificações são: 1) Exoesqueleto da Extremidade; 2) Exoesqueletos da Extremidade Inferior; 4) Exoesqueleto de Corpo Inteiro, e as articulações específicas que suportam o exoesqueleto (BAO, et al, 2019). Dessa forma, os exoesqueletos ortopédicos substituem ou complementam a função do sistema músculo-esquelético (EUGÊNIO, 2018), permitindo com que pessoas com alguma ou total limitação física possa fazer atividades consideradas simples pelos indivíduos saudáveis, como levantar objetos pesados, caminhar, se alimentar, ficar em pé, entre outras atividades diárias (KAPSALYAMOV et al., 2019).

Com isso, o presente artigo apresenta revisão sistemática da literatura e análise mercadológica acerca de exoesqueletos robóticos, observando o seu desenvolvimento tecnológico, bem como as janelas de oportunidade com relação ao seu fluxo inovativo e influência na economia local.

2 Diagnóstico Científico-Tecnológico

Em 1890 foi criado, por Nicholas Yagin, o primeiro exoesqueleto voltados para humanos. Este dispositivo auxiliou as pessoas a pularem e a nadarem, porém, na época não utilizava-se o termo “exoesqueleto” (BAO, et al. 2019). Apenas em 1960, adoção do termo pelas forças armadas do EUA e pela a empresa General Electric, desencadeou na geração do primeiro exoesqueleto motorizado, o Hardiman, ao qual aumentava em 25 vezes a força dos membros humanos (BAO et. al., 2019).

Entre 1990 e 2019 houve uma grande repercussão internacional a partir do crescimento no número de produção de artigos científicos sobre exoesqueletos (BAO, et al, 2019). Em 2014, com primeiro grande marco da neurociência mundial, a partir da invenção do primeiro exoesqueleto controlado pelo cérebro humano, o BRA-Santos Dumont I, desenvolvido por Miguel Nicolelis (ALVES, 2014).

Nesse viés, as pesquisas relacionadas ao sistema robótico ganharam proporção no início no final do século 20, voltadas na reabilitação ou no aumento da capacidade física de paciente (KAPSALYAMOV et al., 2019). De acordo com Bao (2019), entre 1990 e 2002, as novas publicações sobre exoesqueletos foi estável e abaixo de 30 dissertações por ano, essa estabilização de novos estudos podem ser atribuídos às limitações da tecnologia da época. Na próxima década, houve um aumento no número médio de publicações por ano, chegando à aproximadamente 100 publicações anuais. A partir de 2013, houve um aumento no interesse dos exoesqueletos para aplicações médicas, incentivando aos estudos na área, atingindo a partir de então 22,83% das publicações anuais.

Tabela 1 – Países ou regiões mais produtivas com temas relacionados a exoesqueletos robóticos entre 1990 e 2019.

Classificação	País/Região	Total de Artigos	Total de Citações	MCP	PRI (%)
1º	Estados Unidos	1112	34117	30,68	31,56
2º	China	564	4435	7,86	34,04
3º	Itália	440	8884	20,19	43,86
4º	Alemanha	278	7355	26,46	48,92
5º	Japão	249	3838	15,41	32,53
6º	Canadá	242	3925	16,22	37,6
7º	Coreia do Sul	220	2562	11,65	21,82
8º	Reino unido	219	4046	18,47	68,12
9º	Espanha	214	3073	14,36	45,33
10º	Suíça	172	5351	31,11	61,05
11º	França	143	1968	13,76	45,45
12º	Holanda	115	3875	33,7	58,26
13º	Austrália	88	1467	16,67	65,91
14º	Brasil	86	701	8,15	62,79
15º	Cingapura	79	1180	14,94	68,35
16º	Bélgica	77	1529	19,86	49,35
17º	Nova Zelândia	64	1340	20,94	56,25
18º	Taiwan	51	545	10,69	17,65
19º	Turquia	51	522	10,24	27,45
20º	México	49	324	6,61	44,9

*MCP = Média de citações por publicação / **PRI(%) = Percentual de publicação reconhecida internacionalmente

Fonte: Adaptado de Bao (2019).

A Tabela 1 reflete os vinte principais países ou regiões em termos de números das publicações acerca das órteses robóticas. Segundo a mesma, os Estados Unidos, a China e a Itália lideram o ranking com mais artigos relacionados a exoesqueletos mecânicos entre 1990 a 2019, produzindo cerca de 1112, 564 e 440 artigos, respectivamente. Aproximadamente 48% das publicações dos 20 países e regiões listadas na tabela 1, são reconhecidos internacionalmente, sendo Reino Unido e Singapura aqueles que mais se destacam na pesquisa mundial. O Brasil, é o décimo quarto país com mais publicações de artigo na área, responsável por 86 artigos publicados, 701 citações 8,15% dos artigos reconhecidos internacionalmente. Mesmo o Brasil apresentado uma boa classificação, o percentual de artigos publicados é de aproximadamente 2% do total de artigos publicados pelos 20 melhores países ou regiões, valor muito abaixo do esperado.

A tabela 2 apresenta as 20 principais Instituições as quais mais produziram artigos na área de exoesqueletos entre os anos 1990 a 2019, juntamente com o total de citações e a média de citações por publicação, além de indicar qual o país que cada instituição representa.

Tabela 2 - Publicações das 20 melhores instituições produtivas no período entre 1990 e 2019.

Classificação	Instituições	Total de Artigos	Total de Citações	MCP	Países
1°	Institutions Massachusetts Institute of Technology	92	5775	62,77	Estados Unidos
2°	Scuola Superiore Sant'Anna	83	2387	28,76	Itália
3°	Harvard University	71	3756	52,9	Estados Unidos
4°	Northwestern University	70	1723	24,64	Estados Unidos
5°	University of Auckland	53	1164	21,96	Nova Zelândia
6°	University of Michigan	48	2141	44,6	Estados Unidos
7°	Harbin Institute of Technology	47	172	3,66	China
8°	Rehabilitation Institute of Chicago	46	1605	34,89	Estados Unidos
9°	University of Twente	46	2626	57,09	holanda
10°	University of Zurich	45	1716	38,13	Suíça
11°	Chinese Academy of Sciences	45	467	10,38	China
12°	ETH Zurich	43	1789	41,6	Suíça
13°	Delft University of Technology	41	1388	33,85	holanda
14°	Ecole Polytechnique Federale de Lausanne	38	1019	26,82	Suíça
15°	Huazhong University of Science & Technology	38	463	12,18	China
16°	Korea Advanced Institute of Science & Technology	37	730	19,73	Coreia do sul
17°	Arizona State University	37	486	13,14	Estados Unidos
18°	Shanghai Jiao Tong University	36	381	10,58	China
19°	Nanyang Technology University	36	348	9,67	Cingapura
20°	University System of Maryland	35	1380	39,43	Estados Unidos

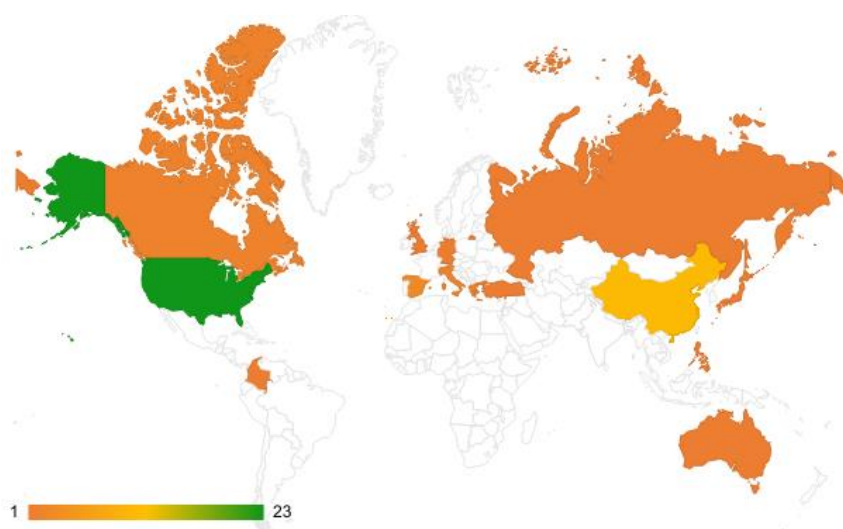
*MCP = Média de citações por publicação

Fonte: Adaptado de Bao (2019).

Todos os países listados na tabela 2 estão entre os 20 países com mais publicações na área de exoesqueleto robótico entre os anos de 2009 a 2019 (listados na tabela 1). Em relação às instituições, sete, das vinte listadas, estão localizadas nos Estados Unidos da América, quatro na China e três na Suíça, sendo a Institutions Massachusetts Institute of Technology (EUA) com mais publicações na área e citações na área (92 artigos e 5775 citações). A Scuola Superiore Sant'Anna, na Itália, está em segundo lugar na classificação das instituições, produzindo cerca de 83 artigos no período em análise, e, 2387 citações, sendo a única instituição italiana listada na tabela 2. O terceiro lugar na classificação é também uma universidade americana, a Harvard University, responsável por 71 publicações de artigos e 3756 citações.

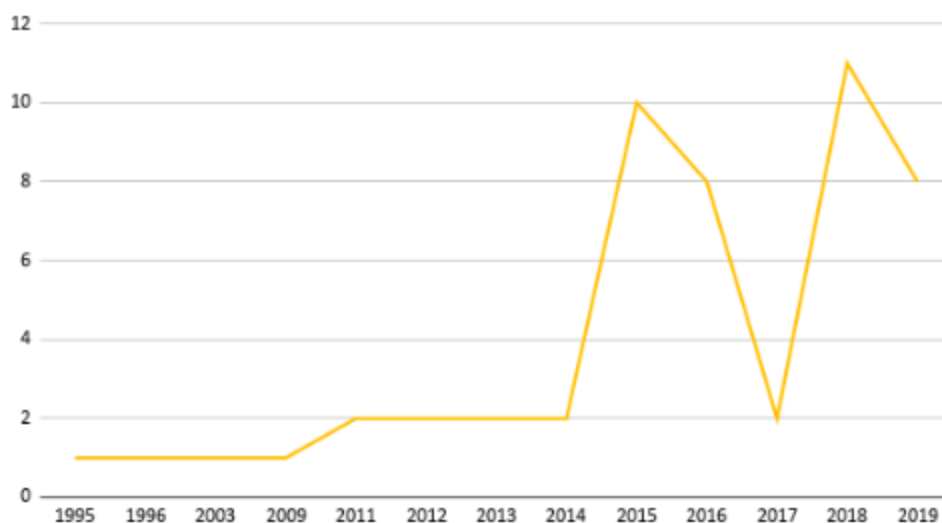
Na prospecção tecnológica realizada no Google Patentes foi possível identificar 16 patentes brasileiras que correspondem aos termos de buscas “exoesqueleto robótico”. Com destaque ao indicador que no ranking dos maiores depositantes são Universidades Brasileira. Já a análise dos dados coletados por meio da plataforma de identificação de patentes Espacenet, usando o termo “ta=(“exoskeleton” prox/unit=sentence “robotic”) AND nftxt any “HUMAN””, na busca de patentes que aplicam a técnica, permitiu constatar a existência de 57 patentes registradas, onde 16 estavam em PCT (*Patent Cooperation Treaty* - tratado internacional de internacionalização de patentes).

Figura 1 - Distribuição Mundial De Patentes Registradas – Exoesqueleto Robótico



Fonte: Adaptado do Espacenet, 2019.

Figura 2 - Distribuição Mundial De Patentes Registradas – Linha do Tempo



Fonte: Adaptado do Espacenet, 2019.

Os resultados da busca apontam o Estados Unidos da América como principal player no mercado dessa técnica com 23 patentes registradas, seguido da China com 11 como é possível observar no Figura 1. Também podemos observar na Figura 2, dois picos de depósitos de patentes ocorreram no intervalo de 2015 a 2018.

2.1 Estudo de Caso: Da Pesquisa Científica a Inovação

O ReWalk é um exoesqueleto que ajuda na locomoção de pessoas paraplégicas, auxiliando-os em atividades diárias fundamentais, como caminhar, descer terrenos íngremes, dirigir, subir escadas, entre outros, criado pela empresa israelense Argo Medical Technologies. O dispositivo foi desenvolvido pelo Dr. Amit Golfer, diretor da Argo, a partir de um investimento de US\$ 30 milhões no projeto (JARDIM, 2009).

Segundo Jardim (2009), “o exoesqueleto traz um leve suporte para os braços, integrado a uma armadura que conta com motores de corrente contínua, baterias recarregáveis, uma série de sensores e um sistema de controle que se comunica com um computador”, detectando os movimentos na parte superior do corpo, e, a partir da detecção desses movimentos é que o movimento é iniciado.

O ReWalk é usado juntamente com muletas para auxiliar na estabilidade e segurança do paciente, de modo que o exoesqueleto pode ser usado o dia inteiro, podendo ser, até mesmo, substituído por outros aparelhos em ambientes domésticos ou em centros de reabilitação (JARDIM, 2009).

O BRA-Santos Dumont I foi o exoesqueleto usado por um paraplégico na cerimônia de abertura da Copa do Mundo sediada no Brasil, em 2014. Este exoesqueleto foi desenvolvido pelo neurocientista brasileiro Miguel Nicolelis, formado em medicina pela Universidade de São Paulo e professor da Duke University, nos Estados Unidos da América, onde grande parte do projeto foi desenvolvido com o objetivo de

Restaurar a mobilidade de pessoas com lesões graves na medula espinhal, utilizando uma tecnologia conhecida como interface cérebro-máquina que permite, através de comandos enviados pelo cérebro para uma veste robótica, que pacientes paraplégicos possam se movimentar e ter a sensação de andar novamente” (ALVES, 2016).

Segundo Accioly Costa (2017), a máquina obtém os comandos em tempo real devido a análise da atividade cerebral, sendo esta por meio de 18 sistemas de eletroencefalograma, possibilitando, então, o movimento dos membros inferiores do indivíduo o qual sofreu uma lesão medular e não possuía a locomoção destes.

Figura 3 - Exoesqueleto BRA-Santos Dumont I



Fonte: Adaptado de Accioly Costa (2017)

Para o fundador do BRA-Santos Dumont I, Miguel Nicolelis, a apresentação e a funcionalidade do exoesqueleto na abertura da Copa do Mundo de 2014 foi o primeiro grande marco da neurociência no país e no mundo – a invenção do primeiro exoesqueleto controlado pelo cérebro humano (ALVES, 2014).

3 Mercadológico do Exoesqueleto

Atualmente, muitos estudos comprovam o envelhecimento da população mundial. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, a população acima de 65 anos que era de 4,8% em 1991, passou para 5,9% em 2000, chegando a 7,4% em 2010.

De acordo com o Relatório Mundial sobre a Deficiência, existe no mundo, aproximadamente, um bilhão de pessoas com deficiência, dos quais, cerca de 80% dessas pessoas moram em países em desenvolvimento. Segundo o Censo de 2010, aproximadamente 24% da população brasileira apresenta algum tipo de deficiência (visual - 18,60%, motora – 7%, auditiva 5,10%, mental ou intelectual – 1,40%), sendo que o maior percentual de pessoas com limitações está na faixa etária de 65 anos ou mais.

A capacidade de locomoção diminui de acordo com o aumento da idade do indivíduo, ou seja, quanto mais avançada sua idade, menos capacidade motora terá. Consequentemente, quanto mais limitações, mais transtornos à saúde mental do idoso, portanto, os exoesqueletos não propiciam melhorias apenas na parte física humana, mas também na saúde mental dos indivíduos, sendo esses equipamentos essenciais na melhoria da qualidade de vida dos idosos. Muletas e andadores são umas das variadas opções de equipamentos que auxiliam os idosos a exercerem funções cotidianas sozinhos, porém, para aqueles mais debilitados, essas tecnologias assistivas não são suficientes para auxiliá-los nas suas atividades diárias, sendo essenciais a

presença de exoesqueletos como ferramentas úteis para permitirem que os idosos possam se movimentar facilmente e em segurança (KAPSALYAMOV, et al. 2019).

4 Discussão de Resultados

Retomando a fala de (ALVES, 2016), exoesqueletos robóticos podem ser utilizados na reabilitação dos indivíduos ao ponto de restaurar sua mobilidade, quando acometidos de lesões graves na medula espinhal. Com isso em vista, o público alvo dessa inovação varia entre deficientes físicos e idosos, visto que ambos possuem limitações locomotoras, seja de rápida ou lenta reparação.

Nesse viés, é notório que as instituições de ensino brasileira buscam fomentar a pesquisa, entretanto não conseguem a aplicabilidade necessária, uma vez que não possuem recursos para tal. Assim, a implementação de recursos governamentais, além de novas políticas que incentivem a prospecção tecnológica são fundamentais.

Evidencia-se, portanto, que uma relação entre instituições, governo e indústria, sejam privadas ou não, podem alavancar o crescimento e desenvolvimento econômico brasileiro, com um novo sistema inovacional, levando o país a ser um produtor tecnológico.

5 Considerações Finais

Embora o Brasil possua uma grande produção de artigos científicos acerca de exoesqueletos, estes não são desenvolvidos tecnologicamente. Desse modo, pesquisas promissoras adquirem reconhecimento internacional, mas devido a ausência de investimentos em Pesquisa & Desenvolvimento, a aplicabilidade destas torna-se inacessíveis. Além disso, como trata-se de um investimento de alto valor tecnológico, faz-se necessário a relação público-privada, coordenando os gastos de forma a garantir um espaço na produção mundial.

6 Referências

ACCIOLY, P. H. C. Mecanismo Assistivo para Membro Superior Fabricado por Manufatura Aditiva. 2017. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. ALVES, Marcelle. A agência de humanos e não humanos na rede Miguel Nicolelis. Comtempo, São Paulo, v. 6, n. 2, 2014.

ALVES, M. L. P. Potencialidades metafóricas do exoesqueleto: comunicação pública da ciência no pontapé inicial da Copa do Mundo de 2014, a partir da página do neurocientista Miguel Nicolelis no Facebook. 2016.

ARAÚJO, M. V. Desenvolvimento de uma órtese ativa para os membros inferiores com sistema eletrônico embarcado. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

BAO, G. Academic Review and Perspectives on Robotic Exoskeletons (August 2019). IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 2019.

DOLLAR, A. M.; HERR, H. Lower extremity exoskeletons and active orthoses: challenges and state-of-the-art. IEEE Transactions on robotics, v. 24, n. 1, p. 144-158, 2008.

EUGÊNIO, K. J. S. Sistema multissensorial vestível de baixo custo para captura de marcha humana aplicado a exoesqueleto ortopédico Ortholeg 2.0. 2018. Dissertação de Mestrado. Brasil.

JARDIM, B. Atuadores elásticos em série aplicados no desenvolvimento de um exoesqueleto para membros inferiores. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

KAPSALYAMOV, A. State of the Art Lower Limb Robotic Exoskeletons for Elderly Assistance. IEEE Access, v. 7, p. 95075-95086, 2019.

QUADROS, A. A. J. História da Esclerose Lateral Amiotrófica no Brasil. Revista Neurociências, v. 14, p.14-23, 2006. Disponível em <<http://www.revistaneurociencias.com.br/edicoes/2006/RN%2014%20SUPLEMENTO/Pages%20from%20RN%2014%20SUPLEMENTO-2.pdf>> Acesso em 30 ago. 2019.

SILVA, A. F. C. Desenvolvimento de Uma Órtese De Baixo Custo Para Portadores De Paraplegia. In: 14 Congresso da Sociedade Latino Americana de Biomateriais, Órgãos Artificiais e Engenharia de Tecidos-SLABO. p. 18-26. Disponível em <<http://www.metallum.com.br/obi2017/anais/PDF/01-006.pdf>> Acesso em: 29 ago. 2019.

SILVA, P. M. G. O. A Prótese Total do Joelho: A História da Arte - Revisão Bibliográfica. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade da Beira Interior. Disponível em <<https://ubibliorum.ubi.pt/handle/10400.6/875>> Acesso em: 30 ago. 2019.

THOMAZINI, D. A utilização da simulação computacional na confecção de órteses alternativas para membros superiores. Revista Tecnologia, v. 25, n. 1, 2004. Disponível em <<https://periodicos.unifor.br/tec/article/view/128/4404>> Acesso em: 20 ago. 2019.