O Boletim de Conjuntura (BOCA) publica ensaios, artigos de revisão, artigos teóricos e empíricos, resenhas e vídeos relacionados às temáticas de políticas públicas.

O periódico tem como escopo a publicação de trabalhos inéditos e originais, nacionais ou internacionais que versem sobre Políticas Públicas, resultantes de pesquisas científicas e reflexões teóricas e empíricas.

Esta revista oferece acesso livre imediato ao seu conteúdo, seguindo o princípio de que disponibilizar gratuitamente o conhecimento científico ao público proporciona maior democratizacão mundial do conhecimento.



BOLETIM DE CONJUNTURA

BOCA

Ano VII | Volume 21 | Nº 63 | Boa Vista | 2025

http://www.ioles.com.br/boca

ISSN: 2675-1488

https://doi.org/10.5281/zenodo.15313998

BOLETIM DE CONJUNTURA

www.ioles.com.br/boca

UMA APLICAÇÃO DE EXOESQUELETO PASSIVO DE REGIÃO LOMBAR EM ATIVIDADES MANUAIS

Rafael dos Santos Figueiredo[1]

Marcus Vinícius Americano da Costa Filho[2]

Resumo

Em ambientes de trabalho com baixo nível de automação, a execução repetitiva de atividades manuais impõe elevada demanda física aos trabalhadores, gerando riscos ocupacionais tanto imediatos quanto cumulativos para a saúde. O uso de tecnologias vestíveis, como os exoesqueletos passivos, destaca-se como alternativa promissora para a prevenção de doenças ocupacionais. Nesse contexto, esse trabalho objetivou em desenvolver um exoesqueleto passivo da região lombar para a redução do esforço físico e comparar os efeitos em atividades manuais e repetitivas que envolvem flexão do corpo. Trata-se de uma pesquisa de natureza experimental e com abordagem quantitativa. O exoesqueleto projetado e impresso em 3D com peças móveis, utiliza um sistema de elásticos para auxiliar na execução e retorno dos movimentos. O experimento foi conduzido com oito voluntários que realizaram duas atividades manuais padronizadas com e sem o uso do dispositivo. As variáveis frequência cardíaca e a saturação de oxigênio no sangue foram monitoradas e registradas durante os testes. A análise estatística dos dados foi realizada por meio do teste de Correlação de Pearson, com nível de significância de 5%. Os resultados revelaram reduções na frequência cardíaca nas duas atividades avaliadas: de 102,5 para 98,25 (Atividade I) e de 99,25 para 96 (Atividade II), com manutenção da saturação de oxigênio no sangue em níveis seguros, sugerindo menor exigência de esforço físico nas atividades com o uso do exoesqueleto. Conclui-se que o dispositivo desenvolvido apresenta potencial para aplicação em ambientes laborais, contribuindo para a redução do esforço físico e melhoria ergonômica.

Palavras-chave: Biomecatrônica; Doenças Ocupacionais; Ergonomia; Tecnologia Vestível.

Abstract

In work environments with low levels of automation, the repetitive execution of manual tasks imposes high physical demands on workers, generating both immediate and cumulative occupational health risks. The use of wearable technologies, such as passive exoskeletons, stands out as a promising alternative for the prevention of occupational diseases. In this context, the objective of this study was to develop a passive lumbar exoskeleton to reduce physical effort and compare its effects during repetitive manual tasks involving trunk flexion. This is an experimental study with a quantitative approach. The exoskeleton, designed and 3D printed with movable parts, uses an elastic system to assist in performing and returning from flexion movements. The experiment was conducted with eight volunteers who performed two standardized manual tasks, with and without the use of the device. Heart rate and blood oxygen saturation were monitored and recorded during the tests. Statistical analysis was performed using Pearson's Correlation Test, with a significance level of 5%. The results showed reductions in heart rate in both tasks: from 102.5 to 98.25 bpm (Activity I) and from 99.25 to 96 bpm (Activity II), with blood oxygen saturation maintained within safe levels, suggesting lower physical effort when using the exoskeleton. It is concluded that the developed device shows potential for application in occupational settings, contributing to reduced physical strain and improved ergonomics.

Keywords: Biomechatronics; Ergonomics; Occupational Diseases; Wearable Technology.

[1] Mestrando em Mecatrônica pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). E-mail: r.figueiredo@ufba.br

[2] Professor da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Doutor em Engenharia de Automação e Sistemas. E-mail: marcus.americano@ufba.br

INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica continua redefinindo os modos tradicionais de produção nas indústrias, promovendo o uso de máquinas inteligentes, automação de processos e otimização de recursos. No entanto, mesmo diante dessas transformações, ainda há ambientes de trabalho que demandam força física humana, resistência e posturas repetitivas, rotinas que desafiam os limites do corpo, especialmente em setores com baixo nível de automação. É o caso de áreas como a construção civil, logística (carregamento e descarga de materiais), serviços de saúde (movimento manual de pacientes) e agricultura (colheita manual), que continuam a enfrentar desafios relacionados à ergonomia. Nesse sentido, é relevante considerar os impactos físicos do trabalho como o desgaste corporal e os riscos à saúde, tanto para manter a eficiência operacional quanto para assegurar o bem-estar dos trabalhadores.

A região lombar, responsável por sustentar boa parte da estrutura corporal, é frequentemente colocada à prova em atividades que envolvem o levantamento de peso, curvaturas constantes e longos períodos em posições inadequadas. Essas atividades, ainda comuns em ambientes produtivos, revelam uma tensão entre o avanço tecnológico e a persistência de práticas laborais que expõem o corpo ao desgaste diário. Observa-se que, o esforço físico excessivo, naturalizado em muitas ocupações, é, em grande parte, negligenciado até o momento em que se transforma em dor, lesão ou afastamento.

Consolida-se um dos grandes desafios contemporâneos: tornar o trabalho manual menos hostil ao corpo humano, permitindo que o esforço físico contribua para a produtividade sem comprometer a saúde do trabalhador. Enfrentar essa questão demanda mais do que inovação tecnológica, pois requer uma compreensão profunda da realidade de quem executa o trabalho, reconhecimento das demandas impostas ao corpo e o compromisso com soluções que valorizem seus limites e potencialidades. Dessa forma, tecnologias vestíveis passam a ocupar um papel de destaque, não como substitutas do ser humano, mas como aliadas na promoção do conforto, da segurança e do bem-estar no ambiente de trabalho.

O uso de dispositivos corporais, pensados para atuar em sintonia com os movimentos naturais do corpo, aponta para essa nova perspectiva, mais humana, mais inclusiva e mais ética. É nesse ponto que este estudo se insere, propondo o desenvolvimento e aplicação de um equipamento que se adapta ao corpo em movimento. A escolha por um dispositivo aplicado à região lombar parte da observação direta das demandas físicas de tarefas manuais que exigem curvaturas repetidas do tronco. Ao considerar as reais necessidades do trabalhador e as possibilidades concretas da engenharia, este trabalho busca oferecer uma solução prática, acessível e eficaz para reduzir os impactos do esforço físico repetitivo em atividades manuais.

A justificativa para esta pesquisa está ancorada na necessidade de repensar o papel do ser humano nos espaços de trabalho. O esforço físico extremo não pode mais ser aceito como parte inevitável da rotina profissional. Há um custo humano invisível, acumulado em dores crônicas, perda de mobilidade e exclusão precoce da força de trabalho. Investir em soluções que minimizem esse custo não é apenas uma demanda técnica, mas uma escolha política e ética.

A implementação de dispositivos vestíveis nos ambientes de trabalho contribui para ampliar a inclusão, possibilitando que pessoas com diferentes níveis de capacidade física possam desempenhar suas funções com segurança e autonomia. Essa abordagem tem o potencial de melhorar a produtividade, como também fortalece o princípio da equidade nas relações laborais. Dessa forma, a pesquisa alinha-se à demanda por soluções que visam a eficiência operacional com bem-estar laboral, promovendo práticas mais humanizadas e sustentáveis no contexto do trabalho manual.

Diante do exposto, formulou-se a seguinte pergunta: “De que maneira o uso de um exoesqueleto passivo, aplicado à região lombar, pode contribuir para a mitigação do esforço físico durante a execução de tarefas manuais repetitivas envolvendo flexão do corpo?”. Essa indagação parte do reconhecimento de que o suporte físico oferecido por dispositivos mecânicos adaptativos pode atuar como aliado no alívio dos esforços físicos do corpo humano. Considerando essa perspectiva, esse trabalho objetivou em desenvolver um exoesqueleto passivo da região lombar para a redução do esforço físico e comparar os efeitos em atividades manuais e repetitivas que envolvem flexão do corpo.

Este trabalho explora a combinação entre impressão 3D e sistemas elásticos para o desenvolvimento e teste de um exoesqueleto passivo voltado à região lombar. Ao integrar conhecimentos multidisciplinares da mecatrônica (para o projeto do sistema mecânico), manufatura aditiva (para personalização e redução de custos) e biomecânica (para análise dos movimentos e seus efeitos), o estudo visa não apenas validar a eficácia do dispositivo, mas também estabelecer parâmetros quantitativos sobre sua capacidade de mitigação do esforço físico humano em atividades repetitivas. A abordagem proposta busca equilibrar ergonomia, acessibilidade tecnológica e adaptação anatômica, oferecendo um modelo replicável para intervenções em contextos laborais diversos.

Este estudo está organizado em cinco seções. A introdução, com a contextualização do tema, a justificativa, o problema e os objetivos da pesquisa. A segunda seção aborda a fundamentação teórica com os conceitos e tecnologias relevantes. A terceira seção descreve os procedimentos metodológicos adotados. Em seguida, são apresentados os resultados obtidos e as discussões decorrentes das análises. Por fim, a conclusão sintetiza os principais achados, limitações e propõe direções para futuras investigações.

REFERENCIAL TEÓRICO

O termo “exoesqueleto” tem origem na biologia e se refere à casca rígida de certos animais, cuja função é oferecer suporte e proteção ao corpo (DU PLESSIS; DJOUANI; OOSTHUIZEN, 2021). No campo da tecnologia, essa designação é atribuída a estruturas mecânicas acopladas ao corpo humano, projetadas para amplificar a força, proporcionar estabilidade e reduzir o esforço físico durante as atividades laborais (HUAMANCHAHUA *et al*., 2021).

Um exoesqueleto é um dispositivo vestível que economiza energia para dar suporte a articulações humanas que enfrentam desvantagens mecânicas (ZIAEI *et al*., 2021). Dentre os principais benefícios de sua aplicação, destaca-se a capacidade dos exoesqueletos de prevenir dores e distúrbios musculoesqueléticos relacionadas as atividades de trabalho manual (SIMON; ALEMI; ASBECK, 2021; KOOPMAN *et al*., 2019; TETTEH; HALLBECK; MIRKA, 2022).

Historicamente, os exoesqueletos começaram a ser estudados em 1965, com o projeto “Hardiman I”. Na década de 1980, surgiram modelos voltados a membros específicos, como os exoesqueletos de mão. Já em 1994, desenvolveu-se o projeto “Boldt’s Exoskeleton”, com maior capacidade de articulação corporal (TEJERA *et al*., 2020; DU PLESSIS; DJOUANI; OOSTHUIZEN, 2021). Os avanços tecnológicos permitiram a miniaturização de componentes, o aprimoramento de controles, o uso de novos materiais para compor a estrutura física desses dispositivos e o aumento do desempenho dos equipamentos, viabilizando sua aplicação em diversos setores produtivos.

Atualmente, os exoesqueletos são divididos em duas categorias principais: ativos e passivos. Os modelos ativos contam com fontes de energia externas e utilizam atuadores para fornecer torque de assistência ao usuário (KO *et al*., 2018). Já os passivos funcionam por meio do próprio movimento do corpo, sem depender de energia adicional, tornando-se mais leves, econômicos e práticos para tarefas repetitivas ou de sustentação em atividades de trabalho manual (MAN *et al*., 2022; CHITTAR; BARVE; KANTHALE, 2023). Um sistema passivo, além disso, é geralmente mais barato do que um dispositivo ativo, pois utiliza materiais, molas ou amortecedores capazes de armazenar energia dos movimentos humanos e liberá-la quando necessário (ZIAEI *et al*., 2021).

No ambiente industrial, os exoesqueletos têm ganhado relevância como dispositivos ergonômicos que aumentam a precisão e a estabilidade nas operações, especialmente aquelas que exigem alto nível de repetição e força, como na montagem e manutenção de componentes (CHENG *et al*., 2024). Esses equipamentos auxiliam no controle dos movimentos de membros superiores, além de oferecer suporte à região lombar e aos ombros, o que reduz a incidência de lesões e melhora a produtividade (ZHENG *et al*., 2024). A movimentação e transporte de cargas pesadas, atividade comum

tanto na indústria de manufatura quanto na de serviços, também é um dos focos de atuação dos exoesqueletos (GARCIA *et al*., 2023).

Trabalhos manuais prolongados em posturas curvadas representam riscos conhecidos para o surgimento de distúrbios osteomusculares, como os distúrbios lombares (ULREY; FATHALLAH, 2013). Diversas estratégias ergonômicas têm sido propostas para reduzir esse risco decorrente do transporte e movimentação de cargas no ambiente de trabalho (GARCIA *et al*., 2023).

Estudos apontam que mais de 40% dos trabalhadores europeus sofrem com distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (DORT), ocasionados por esforço físico excessivo, movimentos repetitivos e posturas inadequadas (CHENG *et al*., 2024). Entre os profissionais da saúde, por exemplo, os auxiliares de enfermagem nos EUA apresentaram mais de 17 mil casos de distúrbios musculoesqueléticos, sendo a lombar e os ombros as regiões mais afetadas (ZHENG *et al*., 2024). O manuseio de pacientes é considerado uma das principais causas, devido à variedade de movimentos exigidos e à força aplicada em transferências e reposicionamentos.

Frente a esse cenário, os exoesqueletos surgem como uma tecnologia vestível capaz de prevenir as lesões, além de melhorar as condições de trabalho (BALTRUSCH *et al*., 2018). Ultimamente, profissionais e pesquisadores têm se concentrado na aplicação ocupacional de exoesqueletos visando reduzir o esforço físico (BÄR *et al*., 2024). Esses equipamentos já são utilizados em diversas áreas: no setor militar, para redução da fadiga; na medicina, para reabilitação e auxílio à locomoção; e na indústria, para suporte físico durante atividades repetitivas (DU PLESSIS; DJOUANI; OOSTHUIZEN, 2021; VAN SILFHOUT *et al*., 2021). Sua aplicação é baseada na capacidade de ampliar a força humana e poupar energia por meio da interação mecânica entre o corpo e o equipamento (MAN *et al*., 2022).

A pesquisa em exoesqueletos passivos tem focado em áreas específicas do corpo humano. A literatura revela estudos com os membros inferiores e superiores (LECTURER, 2021; CHITTAR; BARVE; KANTHALE, 2023; BOCK *et al*., 2023), aplicações em áreas de maior superfície de contato como o tronco (BOSCH *et al*., 2016), desenvolvimento de soluções de suporte para cabeça e pescoço (GAROSI *et al*., 2022), e experimentos com regiões de sustentação, estabilidade e movimentação do corpo, como a região lombar (ALEMI *et al*., 2019), cintura (CHITTAR; BARVE, 2022) e ombros (DALBØGE *et al*., 2024).

Para apoiar a região lombar em atividades de trabalho manual e repetitivo, diversos exoesqueletos passivos foram descritos na literatura. Alguns exoesqueletos já estão disponíveis comercialmente para aquisição e outros ainda estão em fase de pesquisa e desenvolvimento (BÄR *et al*., 2024).

Os modelos voltados para as costas auxiliam especialmente em atividades de flexão e levantamento, atuando como suporte durante movimentos de inclinação (SCHALK *et al*., 2022). A maioria dos exoesqueletos passivos foi projetada para apoiar as costas, os membros superiores quando se trabalha com os braços elevados ou os membros inferiores (GARCIA *et al*., 2023). Muitos dos modelos disponíveis utilizam componentes passivos, como estruturas de molas ou faixas elásticas, para gerar torque auxiliar e armazenar ou liberar energia (BÄR *et al*., 2024).

Com base na anatomia humana, o exoesqueleto deve respeitar a sincronia funcional entre os músculos das articulações. Dessa forma, para um suporte de quadril relacionado à sustentação de cargas, por exemplo, é preciso promover movimentos naturais de flexão e extensão para a cintura (KO *et al*., 2018). Para alcançar eficiência e conforto, o equipamento precisa apresentar liberdade de movimento, permitindo adaptação a diferentes biotipos e atividades de trabalho. Neste sentido, projetos com maior grau de adaptação aumentam a precisão operacional e a aceitação pelos usuários (HOFFMANN; PROKOP; WEIDNER, 2022).

Além da questão física, distúrbios musculoesqueléticos, especialmente a lombalgia, são problemas significativos de saúde ocupacional, tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento (ZIAEI *et al*., 2021). As condições de trabalho que envolvem esforço contínuo, sem suporte adequado, aumentam a incidência de lesões e contribuem para a deterioração geral da saúde do trabalhador. Na perspectiva de Fernandes e Salgueiro (2022), as lesões por esforços repetitivos ou distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (LER/DORT) se desenvolvem de forma concomitante ou isolada, geralmente surgindo de forma insidiosa.

A Indústria 4.0 é marcada pela adoção de tecnologias inovadoras que transformam radicalmente os processos produtivos, modificando modelos tradicionais (DAPPER *et al*., 2025). Embora voltada à digitalização e à integração de tecnologias inteligentes, a Indústria 4.0 tem ampliado sua atenção para questões ergonômicas e sociais.

Nos ambientes industriais, a adoção de exoesqueletos torna-se cada vez mais atrativa, pois esses dispositivos reduzem o risco de distúrbios osteomusculares e otimizam a execução de atividades humanas manuais (HOFFMANN; PROKOP; WEIDNER, 2022). Para além da produtividade, trata-se de uma estratégia que incorpora princípios de sustentabilidade, inclusão e inovação.

Nesse contexto, a Quarta Revolução Industrial não apenas promove a automação, mas viabiliza soluções híbridas em que humanos e máquinas atuam em sinergia. A integração de tecnologias vestíveis, como os exoesqueletos, é uma das tendências mais promissoras para garantir ambientes de trabalho mais seguros, saudáveis e eficientes, especialmente em setores e postos de trabalho com baixo nível de automação dos processos produtivos (DAPPER *et al*., 2025; CHENG *et al*., 2024).

METODOLOGIA

Esta pesquisa é de natureza experimental, com abordagem quantitativa. A pesquisa quantitativa é caracterizada pela coleta e análise de dados numéricos, com o objetivo de testar hipóteses e generalizar resultados para uma população mais ampla (MOREIRA *et al*., 2024; DAPPER *et al*., 2025). Nesse estudo, a abordagem quantitativa fundamenta-se na mensuração de variáveis como a frequência cardíaca e a saturação de oxigênio no sangue, conforme destacado por Garcia *et al*. (2023) em contextos semelhantes, permitindo uma análise objetiva dos fenômenos observados.

Além disso, trata-se de uma pesquisa aplicada, cujo propósito é validar e mensurar fenômenos observáveis, fornecendo respostas práticas e objetivas. Esse tipo de investigação visa gerar conhecimento com aplicabilidade direta, contribuindo para a melhoria de processos, a tomada de decisões e o estímulo à inovação em diferentes áreas (DAPPER *et al*., 2025). Para isso, foi desenvolvido um experimento envolvendo a aplicação direta do protótipo em condições controladas, com monitoramento rigoroso das variáveis fisiológicas.

Essa metodologia assegura não apenas a replicabilidade da investigação, mas também possibilita a exploração sistemática da relação entre o uso do exoesqueleto passivo e os parâmetros fisiológicos analisados. Dessa forma, a abordagem adotada viabiliza resultados que atendem simultaneamente ao rigor científico e às demandas práticas, fornecendo subsídios técnicos relevantes para a solução de problemas ergonômicos.

Admissão de voluntários e preceitos éticos

O estudo seguiu as diretrizes éticas estabelecidas pela Resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde, garantindo respeito à dignidade, integridade e autonomia dos participantes voluntários. O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa, da Universidade Federal da Bahia - UFBA, número do Parecer: 6.065.363. Todos os voluntários assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

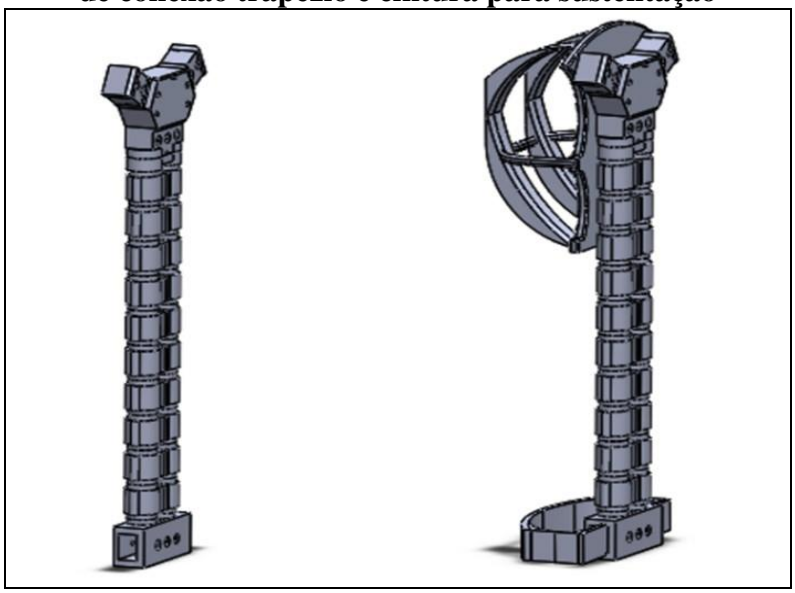
O recrutamento dos voluntários ocorreu entre novembro de 2022 e abril de 2023, com estudantes da UFBA, com idades entre 18 e 40 anos. Foram incluídos participantes sem lesões diagnosticadas na coluna vertebral e que não apresentavam comorbidades. Casos de dor ou restrição de locomoção durante o experimento resultariam em exclusão imediata, sem reintegração. Os testes foram realizados no Centro de Capacitação Tecnológica em Automação Industrial (CTAI) da Escola Politécnica da UFBA.

Protótipo do Exoesqueleto Passivo

O exoesqueleto passivo foi desenvolvido com base na anatomia da coluna vertebral humana, buscando compatibilidade biomecânica com movimentos naturais do tronco. Inspirado em abordagens anteriores, o *design* combinou elementos rígidos e flexíveis, distribuindo o peso ao redor da cintura (CHITTAR; BARVE, 2022). Diferente de modelos descritos na literatura, o presente estudo priorizou peças móveis e de fácil substituição.

Na concepção do exoesqueleto (Figura 1), foi estalecido critérios como a sincronia entre músculos e articulações para que o exoesqueleto atue de maneira funcional (KO *et al*., 2018. Capacidade de proporcionar graus de liberdade suficiente para que o usuário possa realizar outros movimentos (CHITTAR; BARVE; KANTHALE, 2023). Por fim, a adaptabilidade para favorecer a aceitação do dispositivo, promovendo conforto e ajuste rápido (HOFFMANN; PROKOP; WEIDNER, 2022).

Figura 1 - Exoesqueleto e estrutura de conexão trapézio e cintura para sustentação



Fonte: Elaboração própria.

As peças tridimensionais foram modeladas digitalmente e impressas em filamento PLA (Ácido Poliláctico). Conforme Imtiaz *et al*. (2021), a impressão 3D viabiliza economicamente o desenvolvimento de exoesqueletos, favorecendo combinações estruturais para maximizar ergonomia e desempenho. No total, foram 14 peças, consumindo 571g de filamento em 45h18min. Após montagem, o exoesqueleto apresentou quatro pontos de regulagem, um na cintura e três no tórax e espaço para a inclusão de sensores para futuros estudos.

Funcionamento do Exoesqueleto

O mecanismo é composto por dois tubos de látex de 30 cm com constante elástica (K) de 29 N/m. Esse componente foi posicionado internamente e conectado para realizar uma força contrária para sustentar a carga gerada pela postura curvada da coluna do usuário. Para compreensão do funcionamento do sistema, baseou-se na Lei de Hooke sobre a elasticidade de corpos. Conforme o funcionamento do equipamento, o Trabalho da Força Elástica não é constante, visto que, quanto mais o usuário do exoesqueleto curva a sua coluna maior será a deformação.

Neste sentido, observa-se que neste sistema, sua atuação ocorre por meio de uma Força variável, sendo a Força Elástica (F_{EL}), em função do deslocamento, que corresponde pela deformação (x). No momento em que o exoesqueleto está atuando, ou seja, quando estiver atenuando o esforço físico gerado pelo usuário, o sistema estará guardando energia para auxiliar no retorno da postura, correspondendo a Energia Potencial Elástica, conforme determina a Equação 1. O Trabalho da Força Elástica é determinando pelas Equações 2 e 3.

$$E_{PE} = \frac{Kx^2}{2} \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde

E_{PE} corresponde pela Energia Potencial Elástica; K a constante elástica do material e o x representa a deformação em metro.

$$T_E = -\Delta E_E \quad \text{(Equação 2)}$$
$$T_E = -(E_E - E_{Eo}) \quad \text{(Equação 3)}$$

Onde

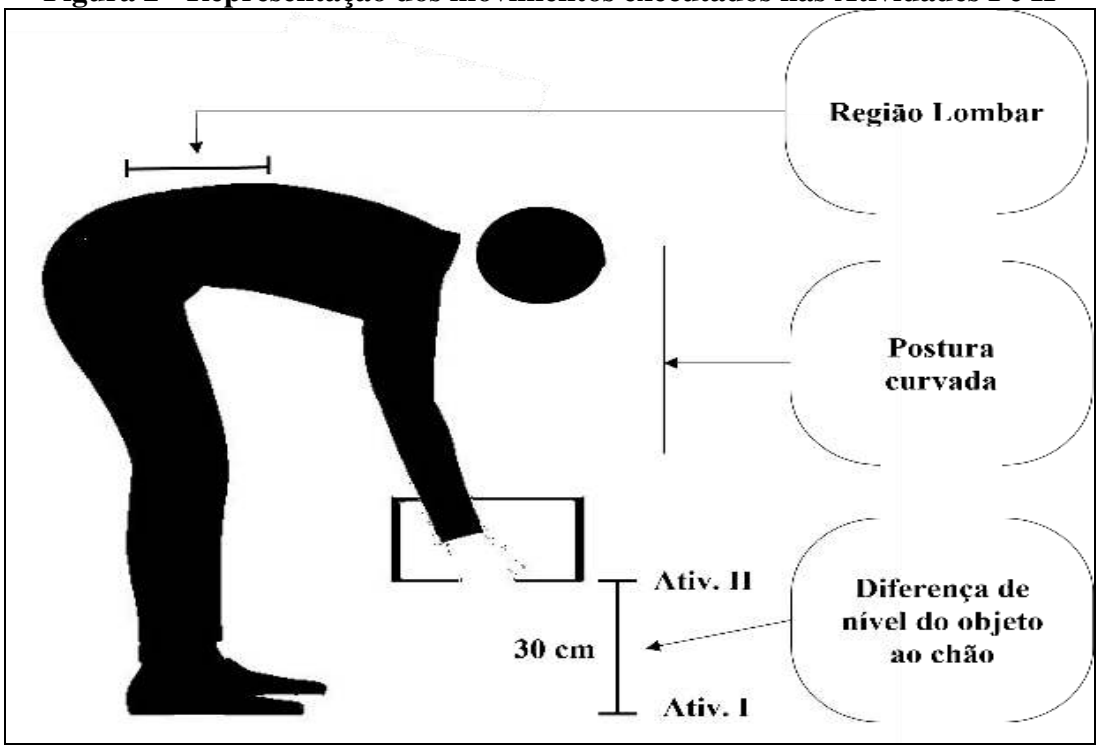
T_E corresponde pelo Trabalho da Força Elástica; ΔE_E variação da Energia Elástica; E_E Energia Elástica final e E_{Eo} Energia Elástica Inicial.

No momento em que o sistema estiver atuando o Trabalho será negativo, devido a resistência que a F_{EL} gera. Na medida em que o usuário portando o exoesqueleto retorna para a postura correta, ou seja, quando está saindo da postura curvada o Trabalho se torna motor, sendo positivo. Tendo um sistema que atua pelo Trabalho resistente, a energia gasta pode ser obtida pela Equação 3 descrita anteriormente.

Protocolo Experimental

O experimento foi estruturado com base em um protocolo de atividade manual de serviço social, promovendo flexões do tronco que exigem maior esforço da região lombar. Os voluntários realizaram duas tarefas com e sem o exoesqueleto: (i) capturar e levantar um objeto de 1kg do chão e (ii) realizar a mesma tarefa a partir de uma altura de 30 cm, sem dobrar os joelhos. Em cada atividade, os movimentos foram repetidos 10 vezes. Essa sequência baseia-se no protocolo experimental descrito por Garcia *et al*. (2023), em que os voluntários realizam flexão do tronco em pé, com joelhos e costas retos. Entre as atividades, foi aplicado um intervalo de 1 minuto para descanso, como proposto por Bosch *et al*. (2016). Após a rodada com o exoesqueleto, os voluntários descansaram por 30 minutos antes de realizar o protocolo sem o equipamento. A Figura 2 demonstra os procedimentos realizados nas atividades I e II.

Figura 2 - Representação dos movimentos executados nas Atividades I e II



Fonte: Elaboração própria.

Durante os testes (Figura 3), evitou-se o consumo de alimentos e o uso de objetos pessoais que pudessem interferir na execução das atividades. Os participantes foram instruídos a manter postura padronizada durante as atividades, enquanto o sensor fisiológico (Oxímetro digital) monitoravam continuamente seus parâmetros.

Figura 3 - Execução do experimento com exoesqueleto, em ambiente controlado



Fonte: Elaboração própria.

Coleta dos dados

Os dados fisiológicos foram coletados com base nas variáveis: frequência cardíaca (%bpm) e saturação de oxigênio no sangue ($\%SpO_2$). A frequência cardíaca foi acompanhada para mensurar o esforço físico, enquanto que a saturação do oxigênio no sangue serviu para avaliar eventuais restrições respiratórias durante o uso do dispositivo. Garcia *et al*. (2023) destacam que a quantificação da frequência cardíaca durante a atividade pode estimar níveis de esforço, sendo uma alternativa válida a métodos eletromiográficos mais complexos. Kim *et al*. (2024) reforçam que o aumento da frequência cardíaca durante o exercício aeróbico está ligado à demanda energética dos músculos ativos, o que permite avaliar o desempenho e a recuperação. Os dados foram registrados a cada segundo, durante um minuto em cada atividade, com e sem o exoesqueleto, permitindo padronização da coleta e comparação direta dos efeitos.

Análise dos dados

Os dados foram analisados por meio da Correlação de Pearson, com nível de significância de 5%, visando identificar a força e a direção da associação entre o uso do exoesqueleto e as variáveis fisiológicas. Segundo Silva *et al*. (2021), a faixa segura de saturação do oxigênio do sangue situa-se entre 95% e 100%, sendo valores abaixo de 90% considerados de risco. A escolha desse teste estatístico

justifica-se por sua ampla utilização em estudos com variáveis fisiológicas contínuas. Garcia *et al*. (2023) observam que, embora a eletromiografia seja comum, poucos estudos têm usado a variação da frequência cardíaca como indicador de fadiga muscular, o que reforça a relevância da abordagem adotada neste estudo. Complementarmente, Manzoori *et al*. (2025) sugerem que o uso de sinais fisiológicos pode ser uma estratégia eficaz para estimar o esforço físico em tempo real, contribuindo para o aprimoramento da adaptabilidade dos dispositivos vestíveis.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O exoesqueleto passivo desenvolvido tem uma massa total de 823g. Durante o experimento não foi necessário substituir peças. As peças que compõe o exoesqueleto e que foram utilizadas no experimento não ofereceram incômodos e nem restrições de movimentos aos voluntários durante a execução do protocolo. Nas atividades I e II o exoesqueleto resistiu aos esforços gerados pelos voluntários.

Os voluntários são identificados pela inicial V, acrescentados de um número crescente respectivamente. Os voluntários avaliados apresentavam no momento do teste uma massa entre 49 kg e 81 kg. Em relação aos resultados do experimento, a Tabela 1 e 2 apresenta os dados obtidos.

Tabela 1 - Dados da frequência cardíaca dos voluntários

Protocolo	Voluntários (V)							
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
	Atividade I*							
Com o Exoesqueleto	99	104	101	103	97	98	93	91
Sem o Exoesqueleto	109	106	104	110	99	103	96	93
	Atividade II*							
Com o Exoesqueleto	92	94	97	100	97	98	96	94
Sem o Exoesqueleto	99	98	98	107	98	98	98	98

Fonte: Elaboração própria.
Nota: Valores médio*.

Tabela 2 - Dados da saturação do oxigênio no sangue dos voluntários

Protocolo	Voluntários (V)							
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
	Atividade I*							
Com o Exoesqueleto	96	97	97	97	97	98	98	98
Sem o Exoesqueleto	97	97	97	98	97	98	97	98
	Atividade II*							
Com o Exoesqueleto	97	97	97	96	97	96	97	98
Sem o Exoesqueleto	97	97	98	98	98	97	98	98

Fonte: Elaboração própria.
Nota: Valores médio*.

Os valores de saturação de oxigênio no sangue considerados seguros para os voluntários permaneceram dentro da faixa de 95% a 100% durante todo o experimento. O uso do exoesqueleto passivo não resultou em níveis que comprometessem a saúde dos participantes, já que não foram registrados valores abaixo de 90%, limite considerado de risco. Assim, o protocolo adotado mostrou-se seguro, não causando danos aos voluntários, mesmo nas atividades realizadas sem o uso do exoesqueleto.

A análise das variáveis evidenciou efeitos positivos para os voluntários associados ao uso do exoesqueleto passivo. Uma das principais preocupações do experimento era a possibilidade de o dispositivo interferir na capacidade respiratória dos participantes. Contudo, os valores de $\%SpO_2$ obtidos confirmaram que o exoesqueleto não restringiu a respiração durante as atividades manuais realizadas, garantindo a segurança dos usuários ao longo do experimento.

Além dos efeitos positivos observados, os dados de %bpm apresentaram valores inferiores durante o experimento com o uso do exoesqueleto. Isso indica que os voluntários exigiram menos esforço muscular ao utilizá-lo, uma vez que a menor ativação muscular reduz a demanda por oxigênio durante a execução das atividades propostas, resultando em menor desgaste físico. Para fins de comparação estatística, a Tabela 3 apresenta os resultados da análise realizada.

Tabela 3 – Análise da correlação dos dados

Protocolo	Voluntários (V)							
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
	Frequência cardíaca							
Atividade I	0.95	0.84	0.95	0.95	0.94	0.92	0.93	0.90
Atividade II	0.80	0.92	0.96	0.87	0.93	0.74	0.92	0.88
	Saturação do oxigênio no sangue							
Atividade I	0.90	0.80	0.50	0.92	0.86	0.65	0.82	0.86
Atividade II	0.89	0.82	0.93	0.86	0.68	0.87	0.81	0.89

Fonte: Elaboração própria.

Com base nos resultados da Correlação de Pearson apresentados no estudo, observa-se que os valores obtidos para a %bpm e $\%SpO_2$ indicam uma forte correlação entre o uso do exoesqueleto passivo e a redução do esforço físico durante as atividades manuais propostas. Na Atividade I, os coeficientes de correlação para a saturação do oxigênio no sangue variaram entre 0,50 e 0,92, com a maioria dos valores acima de 0,80, sugerindo uma relação significativa entre o uso do exoesqueleto e a manutenção de níveis adequados de oxigenação no sangue. Já na Atividade II, os valores de correlação para a saturação do oxigênio foram ainda mais consistentes.

Em relação à frequência cardíaca, os coeficientes de correlação na Atividade I variaram entre 0,84 e 0,95, enquanto na Atividade II os valores ficaram entre 0,74 e 0,96, indicando uma forte

associação entre o uso do exoesqueleto e a redução da frequência cardíaca, o que reflete uma diminuição do esforço físico exigido dos voluntários.

Esses resultados obtidos corroboram a hipótese de que o exoesqueleto passivo contribui para a redução do esforço físico em atividades manuais repetitivas, sem comprometer a saúde dos usuários, conforme evidenciado pela manutenção dos níveis de oxigenação e pela redução da frequência cardíaca.

Os voluntários não tiveram rejeição da vestimenta do exoesqueleto durante os testes aplicados. Não houve queixas de dores, pontos de pressão e qualquer outro tipo de incômodo na região lombar. A adaptação ao equipamento foi relativamente rápida e não houve restrições dos movimentos ao realizarem as determinadas atividades. Em momentos de execução de atividades e no retorno da postura inicial, o mecanismo do exoesqueleto atenuo a sobrecarga na coluna e auxiliou os voluntários nos movimentos de retorno.

O comportamento do exoesqueleto passivo desenvolvido neste estudo demonstrou características desejáveis para o uso em atividades manuais. A estrutura leve, com 823g, associada à presença de pontos de regulagem, proporcionou flexibilidade de movimentação, rápida adaptação ao corpo e facilidade de colocação e remoção. A percepção dos voluntários indicou uma sensação de "memória postural" após o uso, associada à melhora na postura durante e após a execução das atividades.

Quanto aos efeitos fisiológicos, foi observada uma redução significativa na frequência cardíaca média dos voluntários. Na Atividade I, os valores diminuíram de 102,5 bpm (sem o exoesqueleto) para 98,25 bpm (com o exoesqueleto), enquanto na Atividade II a redução foi de 99,25 bpm para 96 bpm. Esses resultados estão alinhados com estudos anteriores, como o de Chittar, Barve e Kanthale (2023) que relatam uma diminuição da frequência cardíaca utilizando exoesqueletos passivos distintos — de 185 bpm (sem exoesqueleto) para 167 bpm com o modelo 1 e 172 bpm com o modelo 2. Schalk *et al*. (2022) também observaram uma diminuição progressiva da frequência cardíaca ao longo do tempo com o uso de exoesqueletos passivos, mas ressaltam que o efeito do equipamento sobre a frequência cardíaca pode ser altamente individual e influenciado por fatores como o peso corporal do usuário.

A relação entre a redução da frequência cardíaca e o menor esforço muscular pode ser explicado pela interação dinâmica entre a frequência cardíaca e a atividade muscular, garantindo a eficiência do desempenho físico (KIM *et al*., 2024). Adicionalmente, a manutenção da saturação de oxigênio no sangue dentro da faixa segura reforçou a segurança fisiológica do dispositivo durante o experimento, sem impactos adversos sobre a capacidade respiratória dos voluntários.

O desempenho do exoesqueleto no suporte lombar evidencia seu potencial para mitigar esforços físicos em tarefas manuais e repetitivas que envolvem flexão do corpo. O equipamento não apenas auxiliou na retomada da postura corporal, mas também favoreceu a execução dos movimentos lombares,

proporcionando conforto e reduzindo a sobrecarga. Esses efeitos são compatíveis com outros estudos, que apontam a eficácia dos exoesqueletos passivos também em atividades estáticas (HUYSAMEN *et al*., 2018).

A utilização de exoesqueletos passivos tem se consolidado no ambiente industrial, sendo preferida em relação aos exoesqueletos motorizados devido à leveza, simplicidade e maior maturidade tecnológica (ZHENG *et al*., 2024). Além de reduzirem a carga física, exoesqueletos aprimorados podem proteger o usuário em ambientes perigosos, graças às estruturas robustas e aos materiais de amortecimento que diminuem a probabilidade de lesões (CHENG *et al*., 2024). Nesse sentido, dispositivos vestíveis inteligentes, adaptáveis e de custo acessível, têm se tornado cada vez mais a opção preferida pelas empresas para auxiliar e proteger seus trabalhadores (CHENG *et al*., 2024).

Os resultados obtidos neste estudo sugerem que otimizações estruturais, como aprimoramento do design geométrico, incremento dos pontos de regulagem e integração equilibrada de elementos rígidos e flexíveis, podem ampliar ainda mais a performance do exoesqueleto desenvolvido, possibilitando a aplicação em outras áreas além da lombar. Conforme ressaltam Pang *et al*. (2022), a eficácia dos exoesqueletos depende de um acoplamento firme ao corpo do usuário, maximizando a transferência de cargas e a redução do esforço físico.

Embora o presente estudo tenha focado em atividades de serviço social, a aplicabilidade do exoesqueleto se estende a vários setores. Observa-se que, na construção civil pode auxiliar em atividades de fiação, perfuração, pintura e manuseio de materiais (GAROSI *et al*., 2022). Na medicina, pode ser explorado em procedimentos de ressuscitação cardiopulmonar, cirurgias prolongadas e terapias de reabilitação (SO *et al*., 2020; CESARELLI *et al*., 2022; TETTEH; HALLBECK; MIRKA, 2022).

O investimento em tecnologias vestíveis representa não apenas um avanço técnico, mas também uma resposta às demandas sociais contemporâneas. Mesmo em uma era de automação crescente, a mobilidade e a flexibilidade humanas continuam essenciais em muitos ambientes de trabalho (KOOPMAN *et al*., 2019). O interesse por essas tecnologias é impulsionado pela capacidade de otimizar o desempenho humano, reduzir a fadiga e prevenir lesões ocupacionais a curto e longo prazo (ALEMI *et al*., 2019; CHITTAR; BARVE; KANTHALE, 2023; HUYSAMEN *et al*., 2018; JORGENSEN; HAKANSSON; DESAI, 2022; MAN *et al*., 2022).

O sucesso na implementação de tecnologias como os exoesqueletos depende diretamente da mentalidade inovadora dos trabalhadores (DAPPER *et al*., 2025). Neste sentido, as organizações têm um papel relevante em promover capacitação e incentivos, já que os trabalhadores devem estar dispostos a experimentar e adotar novas soluções. Além da disposição para experimentar novas tecnologias, é essencial que os trabalhadores participem ativamente das etapas de inovação, contribuindo com suas

experiências práticas individuais. A aceitação do exoesqueleto pelo usuário também está associada a fatores como simplicidade, facilidade e intenção de uso, confiança e percepção de utilidade do equipamento (ZIAEI *et al*., 2021). Nesse processo, os trabalhadores desempenham um papel fundamental tanto na concepção de novos produtos quanto na modernização de processos (DAPPER *et al*., 2025).

Além dos fatores individuais, as organizações assumem uma responsabilidade crítica na promoção da saúde ocupacional. Empresas atentas à saúde de seus funcionários contribuem significativamente para a prevenção de doenças ocupacionais, como o estresse laboral, que interfere na saúde física, cognitiva e emocional dos trabalhadores (MOREIRA *et al*., 2024). Reconhecer a saúde como base para a qualidade de vida e o desempenho social é fundamental no cenário de transformações tecnológicas aceleradas (MACEDO; FERLINI BAMBIRRA, 2022).

A inovação tecnológica, além de impulsionar o desenvolvimento de processos industriais, também influencia o comportamento social e a organização do trabalho (NARDI *et al*., 2023). Em um mundo globalizado, o desenvolvimento de novas tecnologias e a implementação de dispositivos vestíveis têm se tornado elementos indispensáveis para o progresso econômico e social (MACEDO; FERLINI BAMBIRRA, 2022). Embora a tecnologia avance rapidamente, o papel humano permanece central na construção de ambientes de trabalho mais eficientes e sustentáveis (DAPPER *et al*., 2025).

Portanto, o desenvolvimento de exoesqueletos e outras tecnologias vestíveis, relacionado à sofisticação tecnológica, políticas organizacionais inclusivas e adaptação humana, está intrinsecamente ligado à busca por inovação, qualidade de vida e valorização do trabalhador. Esses avanços vão além de uma simples evolução técnica, representando uma transformação sistêmica que harmoniza produtividade e bem-estar laboral, ao posicionar a tecnologia como mediadora entre as capacidades humanas e as demandas industriais.

CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo evidenciam os efeitos positivos proporcionados pelo exoesqueleto passivo desenvolvido, comprovados pela análise dos sinais vitais dos voluntários. A redução da frequência cardíaca durante a execução das atividades manuais indica uma diminuição do esforço físico, sem apresentar riscos à saúde dos usuários. Esses dados reforçam a eficácia do exoesqueleto na mitigação da sobrecarga corporal em atividades repetitivas, destacando seu potencial como ferramenta ergonômica.

Além de responder ao objetivo principal da pesquisa, os resultados também contribuem para preencher lacunas relacionadas ao uso da manufatura aditiva combinada com elementos móveis e flexíveis no desenvolvimento de exoesqueletos passivos. O conhecimento gerado servirá de base para otimizações futuras, visando aprimorar o desempenho, a eficiência e a segurança do dispositivo em aplicações práticas.

A implementação do exoesqueleto possibilitou a identificação de aspectos relevantes para a melhoria da interação entre tecnologias vestíveis e o corpo humano, como a adaptabilidade do modelo a diferentes biotipos e a importância de pontos de ajuste estratégicos. Para estudos futuros, recomenda-se o uso da técnica de eletromiografia, que permitirá uma análise mais detalhada da atividade elétrica muscular durante o uso do equipamento, proporcionando subsídios para validações funcionais.

Em termos de configuração estrutural, pesquisas adicionais poderão explorar o balanceamento ideal entre elementos rígidos e flexíveis, bem como o aprimoramento do *design* para atender a funções específicas em distintos ambientes de trabalho. Esse contínuo processo de aperfeiçoamento contribuirá para o desenvolvimento de exoesqueletos mais ergonômicos, eficientes e acessíveis, ampliando suas aplicações e fortalecendo seu papel como ferramenta de suporte físico em atividades manuais e repetitivas.

Como limitações deste estudo, destaca-se o número reduzido de voluntários avaliados e a ausência de uma análise mais ampla da atividade muscular específica durante as tarefas, o que restringe a generalização dos resultados obtidos. Além disso, o protocolo experimental concentrou-se em um conjunto restrito de atividades, limitando a extrapolação dos achados para diferentes cenários de trabalho e tipos de tarefas manuais.

Conclui-se, portanto, que o exoesqueleto passivo desenvolvido neste estudo mostrou-se eficiente na redução do esforço físico em atividades manuais e repetitivas envolvendo flexão do corpo, sem comprometer a saúde dos usuários. O dispositivo se apresenta como uma solução promissora para aplicações ergonômicas, e seu contínuo aprimoramento poderá fortalecer ainda mais sua utilidade prática em ambientes industriais e de serviços que exigem alta demanda das capacidades física humana.

REFERÊNCIAS

ALEMI, M. M. *et al*. “A passive exoskeleton reduces peak and mean EMG during symmetric and asymmetric lifting”. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, vol. 47, 2019.

BÄR, M. *et al*. “Using a passive back exoskeleton during a simulated sorting task: influence on muscle activity, posture, and heart rate”. **Human Factors**, vol. 66, n. 1, 2024.

DALBØGE, A. *et al*. "Effects of a passive shoulder exoskeleton on muscle activity among Danish slaughterhouse workers". **Applied Ergonomics**, vol. 114, 2024.

DAPPER, S. N. *et al*. "Análise do Comportamento Inovador no Contexto da Indústria 4.0". **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, vol. 21, n. 63, 2025.

BALTRUSCH, S. *et al*. "The effect of a passive trunk exoskeleton on functional performance in healthy individuals". **Applied Ergonomics**, vol. 72, 2018.

BOSCH, T. *et al*. "The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work". **Applied Ergonomics**, vol. 54, 2016.

CESARELLI, G. *et al*. "Gait analysis to quantitatively classify Ataxia and Parkinson's disease patients: a pilot study using tree-based Machine Learning algorithms". **Gait and Posture**, vol. 97, 2022.

CHENG, D. *et al*. "Industrial exoskeletons for secure human–robot interaction: a review". **International Journal of Intelligent Robotics and Applications**, vol. 28, 2024.

CHITTAR, O. A.; BARVE, S. B. "Waist-supportive exoskeleton: Systems and materials". **Materials Today: Proceedings**, vol. 57, 2022.

CHITTAR, O. A.; BARVE, S. B.; KANTHALE, V. "Experimental investigations on waist supportive passive exoskeleton to improve human comfort". **Materials Today: Proceedings**, vol. 72, 2023.

SILVA, B. S. F. *et al*. **Medidor da Saturação de Oxigênio no Sangue, Frequência Cardíaca e Temperatura Corporal - COVID-OSTI** (Relatório de Pesquisa). Palmas: IFTO, 2021.

BOCK, S. *et al*. "Passive shoulder exoskeleton support partially mitigates fatigue-induced effects in overhead work". **Applied Ergonomics**, vol. 106, 2023.

TEJERA, J. A. *et al*. "Systematic review of exoskeletons towards a general categorization model proposal". **Applied Sciences**, vol. 11, n. 1, 2020.

DU PLESSIS, T.; DJOUANI, K.; OOSTHUIZEN, C. "A review of active hand exoskeletons for rehabilitation and assistance". **Robotics**, vol. 10, n. 1, 2021.

FERNANDES, T.; SALGUEIRO, A. C. F. "Dores musculoesqueléticas e ergonomia em tempos de home office". **Research, Society and Development**, vol. 11, n. 13, 2022.

GARCIA, G. *et al*. "Impact of a passive upper-body exoskeleton on muscle activity, heart rate and discomfort during a carrying task". **Plos One**, vol. 18, n. 6, 2023.

GAROSI, E. *et al*. "Design and ergonomic assessment of a passive head/neck supporting exoskeleton for overhead work use". **Applied Ergonomics**, vol. 101, 2022.

HOFFMANN, N.; PROKOP, G.; WEIDNER, R. "Methodologies for evaluating exoskeletons with industrial applications". **Ergonomics**, vol. 65, n. 2, 2022.

HUAMANCHAHUA, D. *et al*. "Mechatronic Exoskeletons for Hip Rehabilitation: A Schematic Review". **Anais do 4th International Conference on Robotics, Control and Automation Engineering**. Cham: IEEE, 2021.

HUYSAMEN, K. *et al*. "Evaluation of a passive exoskeleton for static upper limb activities". **Applied Ergonomics**, vol. 70, 2018.

IMTIAZ, M. *et al*. "Design of portable exoskeleton forearm for rehabilitation of monoparesis patients using tendon flexion sensing mechanism for health care applications". **Electronics**, vol. 10, n. 11, 2021.

JORGENSEN, M. J.; HAKANSSON, N. A.; DESAI, J. "Influence of different passive shoulder exoskeletons on shoulder and torso muscle activation during simulated horizontal and vertical aircraft squeeze riveting tasks". **Applied Ergonomics**, vol. 104, 2022.

KIM, E. *et al*. "A wearable hip exoskeleton for anaerobic exercise in healthy adults". **Scientific Reports**, vol. 14, n. 1, 2024.

KO, H. *et al*. "Waist-assistive exoskeleton powered by a singular actuation mechanism for prevention of back-injury". **Robotics and Autonomous Systems**, vol. 107, 2018.

KOOPMAN, A. S. *et al*. "Effects of a passive exoskeleton on the mechanical loading of the low back in static holding tasks". **Journal of Biomechanics**, vol. 83, 2019.

LECTURER, S. "Exoskeletons in Nursing and Healthcare: A Bionic Future". **Clinical Nursing Research**, vol. 30, n. 8, 2021.

MACEDO, Y. M.; FERLINI, N. P.; BAMBIRRA, A. P. F. "Tecnologia e inovação na saúde: pensamentos contemporâneos ou utopia?". **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, vol. 9, n. 26, 2022.

MAN, S. S. *et al*. "Effects of passive exoskeleton on trunk and gluteal muscle activity, spinal and hip kinematics and perceived exertion for physiotherapists in a simulated chair transfer task: A feasibility study". **International Journal of Industrial Ergonomics**, vol. 90, 2022.

MANZOORI, A. R. *et al*. "Adaptive hip exoskeleton control using heart rate feedback reduces oxygen cost during ecological locomotion". **Scientific Reports**, vol. 15, n. 1, 2025.

MOREIRA, L. F. *et al*. "A Percepção do Estresse dos Trabalhadores da Indústria de Ferramentarias". **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, vol. 18, n. 53, 2024.

NARDI, J. C. *et al*. "Colaboração Indústria-Academia: Desenvolvimento e Implantação de um Sistema de Controle e Monitoramento na Indústria de Confecção". **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, vol. 16, n. 46, 2023.

PANG, M. *et al*. "Estimation of the interaction force between human and passive lower limb exoskeleton device during level ground walking". **Biomimetic Intelligence and Robotics**, vol. 2, n. 3, 2022.

SIMON, A.; ALEMI, M.; ASBECK, A. "Kinematic effects of a passive lift assistive exoskeleton". **Journal of Biomechanics**, vol. 120, 2021.

SCHALK, M. *et al*. "Investigation of possible effects of wearing exoskeletons during welding on heart rate". **Physiologia**, vol. 2, n. 3, 2022.

SO, B. C. L. *et al*. "The effects of a passive exoskeleton on trunk muscle activity and perceived exertion for experienced auxiliary medical service providers in cardiopulmonary resuscitation chest compression". **International Journal of Industrial Ergonomics**, vol. 76, 2020.

TETTEH, E.; HALLBECK, M. S.; MIRKA, G.A. "Effects of passive exoskeleton support on EMG measures of the neck, shoulder and trunk muscles while holding simulated surgical postures and performing a simulated surgical procedure". **Applied Ergonomics**, vol. 100, 2022.

ULREY, B.; FATHALLAH, F. "Effect of a personal weight transfer device on muscle activities and joint flexions in the stooped posture". **Journal of Electromyography and Kinesiology**, vol. 23, n. 1, 2013.

VAN SILFHOUT, L. *et al*. "Design recommendations for exoskeletons: Perspectives of individuals with spinal cord injury". **The Journal of Spinal Cord Medicine**, vol. 46, n. 10, 2021.

ZHENG, L. *et al*. "Evaluation of a passive back-support exoskeleton during in-bed patient handling tasks". **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, vol. 30, n. 4, 2024.

ZIAEI, M. *et al*. "Evaluation of a passive low-back support exoskeleton (Ergo-Vest) for manual waste collection". **Ergonomics**, vol. 64, n. 10, 2021.



BOLETIM DE CONJUNTURA (BOCA)

Ano VII | Volume 21 | Nº 63 | Boa Vista|2025

http://www.ioles.com.br/boca

Editor chefe:

Elói Martins Senhoras

Conselho Editorial

Antonio Ozai da Silva, Universidade Estadual de Maringá

Vitor Stuart Gabriel de Pieri, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Charles Pennaforte, Universidade Federal de Pelotas

Elói Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima

Julio Burdman, Universidad de Buenos Aires, Argentina

Patrícia Nasser de Carvalho, Universidade Federal de Minas Gerais

Conselho Científico

Claudete de Castro Silva Vitte, Universidade Estadual de Campinas

Fabiano de Araújo Moreira, Universidade de São Paulo

Flávia Carolina de Resende Fagundes, Universidade Feevale

Hudson do Vale de Oliveira, Instituto Federal de Roraima

Laodicéia Amorim Weersma, Universidade de Fortaleza

Marcos Antônio Fávaro Martins, Universidade Paulista

Marcos Leandro Mondardo, Universidade Federal da Grande Dourados

Reinaldo Miranda de Sá Teles, Universidade de São Paulo

Rozane Pereira Ignácio, Universidade Estadual de Roraima