

**Impacto da aplicação do exoesqueleto para redução do risco ergonômico no processo produtivo.**

**Impact of applying exoskeleton to reduce ergonomic risk in the production process**

**Impacto de la aplicación del exoesqueleto para reducir el riesgo ergonómico en el proceso productivo**

Como citar:

Libanore, Michel A.; Santiago, Sandro B. & Oliveira Junior, Manoel C. de. (2024). Impacto da aplicação do exoesqueleto para redução do risco ergonômico no processo produtivo. Revista Gestão & Tecnologia. v. 25. n° 1. p. 223-242

Michel Afredi Libanore, mestrando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Amazonas UFAM. CEO e proprietário da Libanore Investments

<https://orcid.org/0009-0004-3401-044X>

Sandro Breval Santiago, Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina.

<https://orcid.org/0000-0002-0184-9845>

Manoel Carlos de Oliveira Junior, Professor na Universidade Federal do Amazonas.

<https://orcid.org/0000-0003-4630-0810>

"Os autores declaram não haver plágio ou qualquer conflito de interesse de natureza pessoal ou corporativa, em relação ao tema, processo e resultado da pesquisa".

Editor Científico: José Edson Lara  
Organização Comitê Científico  
Double Blind Review pelo SEER/OJS  
Recebido em 23/08/2024  
Aprovado em 21/02/2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution – Non-Commercial 3.0 Brazil

## Resumo

**Objetivo:** analisar a implantação de um exoesqueleto para alívio de carga dos membros superiores em postos de trabalho de uma indústria, visando contribuir para a redução do risco ergonômico e aumento da produtividade nestes postos.

**Metodologia:** o estudo se classifica como uma pesquisa de abordagem mista, reunindo dados quantitativos e qualitativos por meio de pesquisa bibliográfica e entrevistas estruturadas com usuários reais

**Originalidade/relevância:** o artigo pressupõe grande relevância acadêmica, pois a indústria 4.0 caracterizada pela integração de objetos físicos, fatores humanos, máquinas, processos e linhas de produção, resultam em uma cadeia produtiva inteligente, conectada e ágil. Para tanto, faz-se necessário intervenções em trabalhos com risco elevado, por meio de máquinas, robôs auxiliares ou dispositivos ergonômicos, capazes de substituir o homem ou trabalhar em conjunto com este na realização de tarefas que exigem esforço físico elevado.

**Principais resultados:** foi possível constatar melhoras nos sintomas psicológicos como cansaço, nervosismo e concentração. Obteve-se melhoras também nos sintomas físicos como pescoço, ombros e lombar.

**Contribuições teóricas e metodológicas:** como contribuição metodológica foi definido um protocolo de validação feita a partir de entrevistas, por meio das quais foram coletadas as opiniões dos usuários acerca da sua percepção antes e depois do uso do exoesqueleto em seus respectivos postos de trabalho, com pontuações dadas a perguntas relacionadas a sintomas psicológicos, sintomas físicos e percepção do posto de trabalho.

**Contribuições para a gestão:** Esse tema tem sido um tópico de crescente interesse, visto que a ergonomia desempenha um papel fundamental na saúde e desempenho dos trabalhadores. Os gestores poderão se orientar nos achados desta pesquisa, para dirigir atividades em suas organizações, notadamente as industriais.

**Palavras-chave:** Ergonomia, Indústria 4.0, Exoesqueleto. Tecnologia.

## Abstract

**Objective:** to analyze the implementation of an exoskeleton to relieve the load on the upper limbs in industrial workstations, aiming to contribute to reducing ergonomic risk and increasing productivity in these positions.

**Methodology:** the study is classified as a mixed-approach study, gathering quantitative and qualitative data through bibliographic research and structured interviews with real users.

**Originality/relevance:** the article assumes great academic relevance, since Industry 4.0, characterized by the integration of physical objects, human factors, machines, processes and production lines, results in an intelligent, connected and agile production chain. To this end, interventions are necessary in high-risk jobs, using machines, auxiliary robots or ergonomic devices, capable of replacing humans or working together with them in carrying out tasks that require high physical effort.

**Main results:** it was possible to observe improvements in psychological symptoms such as fatigue, nervousness and concentration. Improvements were also obtained in physical symptoms such as neck, shoulders and lower back.

**Theoretical and methodological contributions:** a validation protocol was defined as a methodological contribution, based on interviews, through which users' opinions were collected about their perception before and after using the exoskeleton in their respective workstations, with scores given to questions related to psychological symptoms, physical symptoms and perception of the workstation.

**Contributions for management:** This topic has been a topic of growing interest, since ergonomics plays a fundamental role in the health and performance of workers. Managers will be able to use the findings of this research to guide activities in their organizations, especially industrial ones.

**Keywords:** Ergonomics, Industry 4.0, Exoskeleton. Technology.

### Resumen

**Objetivo:** analizar la implementación de un exoesqueleto para aliviar la carga de los miembros superiores en puestos de trabajo industriales, buscando contribuir a la reducción del riesgo ergonómico y al aumento de la productividad en estas posiciones.

**Metodología:** el estudio se clasifica como una investigación de enfoque mixto, recolectando datos cuantitativos y cualitativos a través de investigación bibliográfica y entrevistas estructuradas a usuarios reales.

**Originalidad/relevancia:** el artículo asume gran relevancia académica, pues la Industria 4.0, caracterizada por la integración de objetos físicos, factores humanos, máquinas, procesos y líneas de producción, da como resultado una cadena de producción inteligente, conectada y ágil. Para ello son necesarias intervenciones en puestos de trabajo de alto riesgo, utilizando máquinas, robots auxiliares o dispositivos ergonómicos, capaces de sustituir a los humanos o trabajar conjuntamente con ellos en la realización de tareas que requieran un elevado esfuerzo físico.

**Resultados principales:** se pudieron observar mejoras en síntomas psicológicos como cansancio, nerviosismo y concentración. También se observaron mejoras en síntomas físicos como el cuello, los hombros y la espalda baja.

**Aportes teóricos y metodológicos:** como aporte metodológico se definió un protocolo de validación basado en entrevistas, a través del cual se recogieron las opiniones de los usuarios sobre su percepción antes y después de utilizar el exoesqueleto en sus respectivas estaciones de trabajo, asignándose puntajes a preguntas relacionadas con síntomas psicológicos, síntomas físicos y percepción de la estación de trabajo.

**Aportes a la gestión:** Este tema ha sido un tópico de creciente interés, ya que la ergonomía juega un papel fundamental en la salud y el desempeño de los trabajadores. Los gerentes podrán utilizar los resultados de esta investigación para orientar las actividades de sus organizaciones, particularmente las industriales.

**Palabras clave:** Ergonomía, Industria 4.0, Exoesqueleto. Tecnología.

## 1. Introdução

O estudo em questão apresenta como temática o impacto da aplicação do exoesqueleto para a redução do risco ergonômico no processo produtivo. Onde se entende que a Indústria 4.0, marcada pela integração de tecnologias digitais avançadas na produção industrial, está transformando radicalmente a maneira como as empresas operam. Esse avanço tecnológico não deve ser encarado apenas como uma revolução na eficiência e produtividade, mas também como uma oportunidade para aprimorar a ergonomia no ambiente de trabalho. Neste contexto, a relação entre a Indústria 4.0 e a ergonomia desempenha um papel crucial na promoção do bem-estar dos trabalhadores. A indústria 4.0 se caracteriza pela integração de objetos físicos, fatores humanos, máquinas, inteligência artificial, processos e linhas de produção, resultando em uma cadeia de produção inteligente, conectada e ágil (Schumacher, Erol & Sihm, 2016). Para tanto, faz-se necessário intervenções para ajustes dos métodos de produção, o que possibilita a intervenção em trabalhos com risco elevado, por meio de máquinas, robôs auxiliares ou dispositivos ergonômicos, capazes de substituir o homem ou trabalhar em conjunto com este para auxiliá-lo na realização de tarefas que exigem esforço físico elevado (Bing, 2019). As atividades que envolvem levantar, puxar ou empurrar cargas têm sido uma preocupação crescente daqueles que procuram prevenir lesões e doenças do trabalho. Em termos gerais, a carga provoca dois tipos de reações corporais: a sobrecarga fisiológica nos músculos da coluna e dos membros e o estresse postural provocado pelo contato entre a carga e o corpo humano. Como resposta para estes riscos, vem sendo desenvolvidos exoesqueletos, definidos como estruturas robóticas bio-inspiradas, vestidas no corpo humano para produzir funcionalidades específicas, tais como o aumento da força, seja para expandir a capacidade de carga suportada pelo usuário ou para aliviar a força em uma determinada articulação que apresente alguma limitação, com o objetivo de diminuir a fadiga muscular em trabalhos pesados nas indústrias (Calabrez & Oliveira, 2018). O estudo apresenta como questão norteadora: Baseando-se nos princípios da indústria 4.0, torna-se viável a aplicação de um exoesqueleto que proporcione uma redução do risco ergonômico em um posto de trabalho? Aponta-se como objetivo geral: analisar a potencial aplicabilidade de um modelo de exoesqueleto em postos de trabalho de uma fábrica. E como objetivos específicos: revisar os conceitos relacionados à

Ergonomia, Indústria 4.0 e exoesqueleto, análise do modelo de exoesqueleto proposto, teste do exoesqueleto com possíveis usuários para validação. A ergonomia é um campo que se concentra no design e organização de sistemas, tarefas e produtos, com o objetivo de otimizar a interação entre os seres humanos e seu ambiente de trabalho. Em ambientes industriais, a falta de ergonomia adequada pode levar a uma série de problemas de saúde ocupacional, incluindo lesões musculoesqueléticas, fadiga e desconforto. No entanto, a introdução de exoesqueletos tem o potencial de aliviar esses problemas de maneira significativa. Os exoesqueletos são dispositivos vestíveis projetados para fornecer suporte mecânico aos trabalhadores, ajudando-os a executar tarefas que envolvem levantamento, flexão, torção e outros movimentos repetitivos. Eles são particularmente benéficos em setores industriais onde os trabalhadores estão sujeitos a cargas pesadas e movimentos repetitivos, como na construção, logística e manufatura. De acordo com as afirmações de Nascimento (2021), o impacto positivo da aplicação do exoesqueleto na redução do risco ergonômico é evidente. Primeiramente, esses dispositivos podem reduzir a carga física imposta aos trabalhadores, aliviando a tensão nos músculos e articulações. Isso, por sua vez, diminui a probabilidade de lesões musculoesqueléticas, como dores nas costas e nas articulações. Além disso, os exoesqueletos podem melhorar a eficiência e a produtividade, uma vez que os trabalhadores podem executar suas tarefas de forma mais rápida e com menor esforço. Outro aspecto importante é o impacto positivo na qualidade de vida dos trabalhadores. Nascimento (2021) defende que a redução da fadiga e do desconforto físico pode aumentar o bem-estar dos funcionários, tornando o ambiente de trabalho mais saudável e agradável. Isso, por sua vez, pode levar a uma maior satisfação no trabalho e à redução do absenteísmo. No entanto, é importante ressaltar que a aplicação dos exoesqueletos deve ser cuidadosamente planejada e integrada no ambiente de trabalho. Os custos, treinamento adequado e a aceitação dos trabalhadores são fatores a serem considerados. Além disso, é essencial realizar pesquisas contínuas para avaliar a eficácia e a segurança desses dispositivos. A aplicação de exoesqueletos para a redução do risco ergonômico no processo produtivo oferece benefícios significativos em termos de prevenção de lesões, melhoria da eficiência e qualidade de vida dos trabalhadores. Essa tecnologia promissora tem o potencial de

revolucionar a forma como as empresas abordam a ergonomia em ambientes industriais, promovendo um ambiente de trabalho mais saudável e produtivo.

## **2. Referencial teórico**

### **2.1 Indústria 4.0**

Na atualidade, a Indústria 4.0 está emergindo como um fenômeno transformador no mundo da fabricação e produção industrial. Este conceito, também conhecido como a Quarta Revolução Industrial, representa um avanço tecnológico de grande envergadura que promete mudar a forma como concebemos e levamos a cabo a produção em todo o mundo. A convergência de tecnologias avançadas de informação, comunicação e automação está impulsionando uma mudança profunda na forma como operam empresas e economias. Um dos pilares fundamentais da Indústria 4.0 é a Internet. Segundo Sakurai (2018), a Indústria 4.0 oferece uma série de ferramentas e tecnologias que podem ser aproveitadas para aprimorar a ergonomia no ambiente de trabalho. Essa abordagem não apenas aumenta o bem-estar dos trabalhadores, reduzindo lesões e desconforto, mas também contribui para a eficiência e produtividade nas operações industriais. A integração bem planejada da tecnologia e dos princípios da ergonomia é essencial para garantir que a Indústria 4.0 beneficie tanto as empresas quanto seus trabalhadores, promovendo um ambiente de trabalho mais seguro e saudável.

Dos Santos (2021, p. 5) explica que “a Indústria 4.0 objetiva uma maior eficiência em diferentes tipos de processos industriais. Esta nova revolução engloba uma ampla inserção digital e busca aliar o processo de fabricação com a Inteligência Artificial”.

Mediante a interconexão de máquinas, sensores e dispositivos através da rede, as fábricas podem coletar dados em tempo real e tomar decisões mais informadas. Esta coleta de dados massivos é combinada com o poder da análise de dados e da inteligência artificial, permitindo que as empresas compreendam e otimizem seus processos de produção de maneira mais eficiente. Desde que as falhas na maquinaria tenham que ser ajustadas à produção de acordo com a demanda em tempo real, a Indústria 4.0 está oferecendo maior flexibilidade e eficiência.

Para Dos Santos (2021, p. 5), “a Indústria 4.0 é caracterizada pelo vínculo completamente íntegro entre as tecnologias de informação e comunicação, possibilitando atingir novos patamares de produtividade, flexibilidade, qualidade e gerenciamento”.

A computação na nuvem também desempenha um papel essencial para permitir o acesso a dados e aplicativos de qualquer lugar, fomentando a colaboração e a tomada de decisões com base em dados em tempo real. Além disso, a inteligência artificial e a aprendizagem automática estão automatizando tarefas que antes exigiam intervenção humana, para reduzir erros e custos, e melhorar a qualidade dos produtos.

Para Sakurai (2018), a realidade aumentada e virtual está modificando a capacitação dos trabalhadores e a forma como se realiza a manutenção. Os trabalhadores podem receber capacitação imersiva, o que resulta em maior eficácia e segurança no local de trabalho. A impressão 3D, ou fabricação aditiva, permite a produção de peças personalizadas de maneira eficiente, o que pode revolucionar a forma como se fabricam produtos.

No entanto, à medida que avançamos na Indústria 4.0, a cibersegurança se converte em um aspecto crucial para proteger os sistemas de produção de ameaças cibernéticas e garantir a integridade dos dados. A conectividade avançada é outra desvantagem, pois garantir uma comunicação estável e segura entre todos os elementos da cadeia de produção é essencial.

A Indústria 4.0 não tem impacto apenas na forma como as empresas produzem e compõem, mas também tem um efeito profundo na economia em geral. As empresas que adotam essas tecnologias podem aumentar sua competitividade e eficiência, o que se traduz em um crescimento econômico. No nível global, a Indústria 4.0 pode mudar a dinâmica da economia mundial, criando novas oportunidades e desafios para países e regiões.

Sakurai (2018) afirma ainda que a Indústria 4.0 está redefinindo a produção e a economia em uma escala global. As tecnologias avançadas que compõem o componente estão melhorando a eficiência, a flexibilidade e a personalização da produção, e espera-se que continuem transformando a forma como operam as empresas e a economia em seu conjunto. A adoção dessas tecnologias se converte em uma necessidade para as empresas que desejam manter a competitividade no século XXI, e seu impacto na sociedade é inegável. A Quarta Revolução Industrial está em marcha, e seus efeitos são sentidos em todos os rincões do mundo.

## 2.2 Conceitos de Ergonomia

A ergonomia é um campo de estudo que desempenha um papel fundamental em nossa vida cotidiana, embora muitas vezes passe despercebida. Esse termo deriva do grego “ergon”, que significa trabalho, e “nomos”, que significa leis ou regras. Portanto, a ergonomia é a ciência que busca estabelecer regras e princípios para tornar o trabalho mais eficiente, seguro e confortável para o ser humano. Trata-se de uma disciplina multidisciplinar que envolve aspectos de engenharia, psicologia, fisiologia, design industrial e medicina.

A ergonomia pode ser definida como a área do conhecimento que “estuda as interações entre seres humanos e outros elementos do sistema de trabalho, aplicando os princípios teóricos, dados e métodos, a fim de realizar projetos para otimizar o bem-estar humano” (Abergo, 2015).

O objetivo primordial da ergonomia é adaptar o ambiente, as ferramentas, os sistemas e os processos de trabalho às capacidades e limitações do ser humano. Isso implica em minimizar os riscos de lesões, desconforto e fadiga, promovendo, assim, a saúde, a segurança e o bem-estar do trabalhador. Além disso, a ergonomia visa aumentar a eficiência e a produtividade, uma vez que trabalhadores confortáveis e saudáveis tendem a ser mais produtivos e menos propensos a erros.

Deste modo, é possível compreender a relevância do aspecto ergonômico para o processo de produção. A Ergonomia pode ser entendida de maneira sistemática considerando o trabalho e a tecnologia, assim, trata-se de um conjunto de conhecimento científico inerente ao homem de modo que as concepções das ferramentas, máquinas e dispositivos possam ser utilizadas pelo homem com o máximo de conforto, segurança e eficácia. Portanto, intervir ergonomicamente é construir viabilidades de mudanças necessárias visando o resultado positivo das organizações que demandam qualidade produtiva (Júnior, 2022, p. 7).

Um dos principais princípios da ergonomia é a adaptação do trabalho ao ser humano, e não o contrário. Isso significa que os ambientes de trabalho, as ferramentas e os processos devem ser direcionados em consideração às características físicas, cognitivas e emocionais dos trabalhadores.

É uma matéria que busca adaptar as situações de trabalho às características humanas, respeitando as capacidades e limites do corpo humano, visando o bem-estar, a segurança no ambiente de trabalho, a produtividade e a qualidade (Abrahão et al., 2009).

A ergonomia também desempenha um papel importante em diversos setores, incluindo a indústria, a saúde, o transporte, a tecnologia da informação e muitos outros. No setor da saúde, por exemplo, a ergonomia é fundamental para garantir que os profissionais da área possam realizar suas tarefas com segurança e eficiência, reduzindo o risco de lesões por esforço repetitivo. Na indústria automobilística, a ergonomia é essencial para o design de painéis de controle e assentos que proporcionem conforto ao motorista e minimizem a fadiga durante viagens longas.

A ergonomia pode também ser entendida como uma tecnologia de interfaces, onde qualquer forma de interação entre o componente humano e os demais componentes do sistema de trabalho representam uma interface, e que, portanto, o principal objetivo desta tecnologia é que as interfaces sejam capazes de atender de forma conjunta, integrada e coerente os critérios de conforto, eficiência e segurança (Vidal, 2000).

Nas indústrias, a aplicação sistemática da ergonomia é feita identificando onde ocorrem os problemas ergonômicos que podem ser reconhecidos através de sintomas como acidentes, doenças, absenteísmo e alto índice de erros (Iida & Buarque, 2021). Para diminuição destes problemas ergonômicos, visando atender às queixas musculoesqueléticas relacionadas ao trabalho no uso de ferramentas manuais e manuseio de materiais, são realizadas diversas intervenções nos postos de trabalho, como o uso de manipuladores, talhas e outros dispositivos (Karvouniari et al., 2018).

Ressalta-se que a ergonomia adota como premissa que ações como as citadas no parágrafo anterior, necessárias para assegurar um mínimo de conforto nas operações, garantem a prevenção primária tanto a nível de saúde ocupacional como de eficiência produtiva (Vidal, 2000).

Assim, a ergonomia é uma disciplina que visa tornar o ambiente de trabalho mais seguro, eficiente e confortável para o ser humano. Ela desempenha um papel fundamental na promoção da saúde e no bem-estar dos trabalhadores, bem como na melhoria da produtividade e da

qualidade de vida. Portanto, compreender e aplicar os princípios da ergonomia é essencial em qualquer contexto em que as pessoas interajam com o ambiente de trabalho, as ferramentas e os sistemas, promovendo um melhor equilíbrio entre a eficiência e o conforto.

### **2.3 Exoesqueletos aplicados a ergonomia**

Em um mundo em constante evolução, a tecnologia demonstrou sua capacidade de melhorar e enriquecer nossas vidas de diversas formas. Um dos desenvolvimentos mais emocionantes é o campo dos exoesqueletos, dispositivos que, como seu nome sugere, se tornam uma estrutura externa que se ajusta ao corpo humano para melhorar a mobilidade. Esses dispositivos engenhosos percorreram um longo caminho desde seus inícios e, na atualidade, estão revolucionando a forma como enfrentamos e superamos as limitações físicas.

Os robôs autônomos tendem a fornecer grandes vantagens no contexto ergonômico, auxiliando os colaboradores em seu ambiente de trabalho e diminuindo os esforços físicos dos trabalhadores, facilitando tanto o manuseio de peças pesadas quanto em ambientes sem espaço adequado para a execução de uma determinada tarefa (Dos Santos, 2021).

Os exoesqueletos foram emblemáticos da convergência entre a engenharia e a medicina e demonstraram ser especialmente úteis na reabilitação de pessoas com deficiências físicas. Esses dispositivos proporcionam apoio e assistência a quem perdeu a capacidade de caminhar devido a lesões na medula espinhal, acidentes cerebrovasculares e outras afecções. Com sensores e motores precisos, os exoesqueletos podem permitir aos usuários recuperar uma parte significativa de sua mobilidade e, em seguida, melhorar sua qualidade de vida. De acordo com Munoz (2018), o robô tem como objetivo fazer com que o colaborador exerça o mínimo de esforço possível. Aponta-se uma nova abordagem tecnológica que tem sido implementada nas indústrias automotivas, sendo conhecida como exoesqueletos, que são aplicados como meio de proteção ao colaborador, proporcionando mais força para a execução de uma determinada atividade.

No entanto, os exoesqueletos não se limitam à reabilitação. Seu potencial se estende a diversas áreas, como a indústria e o âmbito militar. No ambiente laboral, os exoesqueletos apresentam novas possibilidades para melhorar a eficiência e a segurança dos trabalhadores.

Esses dispositivos podem reduzir a fadiga e prevenir lesões relacionadas à carga física em trabalhos que exigem levantamento pesado ou longas horas de trabalho. A indústria da construção, a logística e a atenção médica são apenas alguns exemplos de setores que se beneficiam desta tecnologia. Silva (2019) relata que a indústria automotiva já utiliza a tecnologia dos exoesqueletos com o intuito de minimizar os movimentos repetitivos, corrigindo assim a postura das costas além de reduzir esforços excessivos e exagerados sobre o colaborador, apontando os esforços nas articulações.

No ambiente militar, os exoesqueletos oferecem uma venda significativa para aumentar a resistência dos soldados e reduzir a carga do equipamento que deve ser levado. Isso não apenas melhora a capacidade dos soldados para operar em terrenos difíceis, mas também pode aumentar a probabilidade de sobrevivência em situações de combate.

No entanto, apesar de seu potencial transformador, os exoesqueletos hoje enfrentam desafios técnicos e econômicos. A miniaturização dos dispositivos, a duração da bateria e o custo são preocupações que devem ser abordadas para uma adoção generalizada.

Para Nascimento (2021, p. 8), “a utilização de exoesqueletos pela indústria deve ser cada vez mais ampla conforme esta tecnologia for evoluindo e os custos diminuindo, as empresas estão cada vez mais focadas na ergonomia dos trabalhadores e redução de acidentes”.

Os exoesqueletos são um exemplo fascinante de como a tecnologia pode capacitar as pessoas a superar limitações físicas e melhorar a qualidade de vida. Seja na reabilitação médica, na indústria ou no ambiente militar, esses dispositivos estão demonstrando ser uma ferramenta versátil que abre novas oportunidades. À medida que a tecnologia continua avançando e abordando os desafios remanescentes, é provável que os exoesqueletos desempenhem um papel cada vez mais importante em nossa sociedade, contribuindo para a superação de barreiras e a promoção da independência e da mobilidade das pessoas.

O exoesqueleto é uma estrutura mecânica externa que pode ser vestida, projetada para funcionar em harmonia com o ser humano, a fim de fornecer suporte ou melhorar sua capacidade. Há dois tipos de exoesqueleto: passivo, quando fornece suporte, ou ativo, quando proporciona força adicional (Karvouniari et al., 2018).

### 3. Metodologia

Foram avaliados dois processos, o processo de retirada de decalque e processo de gravação do chassi, ambos no setor de linha de montagem pois. Foram considerados os dois postos mais críticos, com maior ausência de espaço físico para a instalação de outros equipamentos de movimentação de cargas como talhas e manipuladores.



**Figura 1** – Processo produtivo com ausência de espaço (quantidade enorme de equipamentos, cabos e mangueiras)

Fonte: Honda divulgação

O colaborador do processo de retirada de decalque, possui 26 anos de idade e 6 anos e 6 meses de experiência no departamento, o colaborador do processo de gravação do chassi, possui 34 anos de idade e 4 anos e 5 meses de experiência no departamento, ambos com grande experiência nos processos avaliados, bem avaliados por sua gestão e, não possuem históricos de afastamentos, doenças ocupacionais ou acidentes de trabalho. Antes do início dos testes foi realizado um exame cinesiológico funcional para a confirmação se estavam aptos.

Durante os quatro dias de coleta de dados, o protocolo de implantação seguiu duas etapas distintas, cada uma desempenhando um papel crucial no processo de pesquisa.

Na primeira etapa, denominada como Introdutória, todos os colaboradores foram introduzidos aos objetivos da pesquisa. Além disso, foi apresentado o equipamento, incluindo uma sequência detalhada de vestimenta e pontos de ajustes necessários. Buscamos no mercado

um equipamento nacional de melhor custo-benefício. Foi definido a utilização do tipo exoesqueleto industrial mecânico ativo de membros superiores, que não necessita de baterias ou eletricidade para funcionar. Conforme especificação do fabricante o equipamento possui 3,55kg de peso, força de sustentação regulável em 4 níveis, capacidade de aumentar o poder do usuário em até 8 kg em cada braço, atuando no complexo do ombro, braços e costas para manuseio de cargas de peso limite que a ergonomia estipula em seus estudos de até 23kg.

### Figura 2

Ilustrativa do equipamento exoesqueleto de membros superiores



Fonte: Exy divulgação

O protocolo de implantação, compreendendo o cronograma e os formulários pertinentes, também foi explicado em detalhes. Um treinamento adicional foi fornecido para instruir os colaboradores sobre o procedimento de retirada rápida do equipamento em caso de evacuação de emergência, garantindo assim a segurança no ambiente de trabalho.

Na segunda etapa, denominada de Coleta dos Dados, o foco se voltou para a obtenção das informações necessárias de maneira aprofundada. O instrumento de pesquisa utilizado foi o formulário, apresentado aos colaboradores em formato de entrevista. Este formulário consistia em um total de 24 perguntas, cada uma acompanhada de uma escala de 0 a 8 para avaliação. Foi explicado detalhadamente o significado das escalas "quanto maior melhor" e "quanto menor melhor" para cada categoria de perguntas. O formulário abordou três categorias principais: sintomas psicológicos, sintomas físicos e percepção do posto de trabalho.

As entrevistas foram conduzidas em um ambiente neutro e silencioso, sempre ao final de cada expediente, respeitando a jornada de trabalho de oito horas. No primeiro dia de entrevistas, os dados foram coletados sem a utilização do equipamento em questão, enquanto nos três dias subsequentes, os colaboradores responderam ao formulário utilizando o equipamento, permitindo assim uma comparação significativa entre os dois cenários.

O estudo em questão foi meticulosamente direcionado através das perguntas de pesquisa e dos objetivos específicos estabelecidos. Este direcionamento foi fundamentado na busca por informações na literatura existente e na análise de estudos de caso, visando preencher lacunas identificadas em relação ao protocolo de implantação e aos resultados dos testes de uso de exoesqueletos na indústria.

As perguntas de pesquisa foram cuidadosamente elaboradas e categorizadas em duas classificações distintas: o Check-list de Couto e o Check-list de Percepção do Posto de Trabalho. O Check-list de Couto, por sua vez, foi subdividido em duas categorias principais: Sintomas Psicológicos e Sintomas Físicos, contendo respectivamente 5 e 9 perguntas. Já o Check-list de Percepção do Posto de Trabalho incluiu 10 perguntas.

Dentro da categoria de Sintomas Psicológicos, o foco do estudo foi direcionado para a avaliação de aspectos relacionados ao estado de espírito dos colaboradores, abrangendo temas como cansaço, concentração, nervosismo e produtividade. Enquanto isso, na categoria de Sintomas Físicos, o objetivo foi investigar a presença de dores corporais em áreas específicas, como pescoço, ombros, costas, região lombar, coxas, pernas, pés, cabeça, braços, punhos e mãos.

Por fim, o Check-list de Percepção do Posto de Trabalho desempenhou um papel igualmente significativo, visando identificar a relação dos colaboradores com diversos aspectos do ambiente de trabalho, incluindo interações com colegas, chefias, subordinados e a empresa em si. Dentre os pontos avaliados neste contexto estiveram à disposição dos colaboradores, a satisfação com o trabalho, os relacionamentos interpessoais, o ambiente de trabalho e a prática de ginástica laboral. Cada aspecto foi considerado fundamental para compreender a experiência do colaborador no ambiente industrial em que atua.

**Tabela 1**  
Resultados das notas atribuídas sem (S/ Equip.) e com (C/ Equip.) a utilização do exoesqueleto

		S/ Equip.	C/ Equip.	Diferença	%		
RETIRADA DE DECALQUE	Check-list Couto	Sintomas Psicologico	5,4	3,8	1,6	29,6	Menor Melhor
		Sintomas fisicos	6,2	6,4	-0,1	-2,4	Menor Melhor
	Check-list Percepção do Posto	Percepção Posto de Trabalho	2,7	2,7	0,0	0,0	Maior Melhor
		S/ Equip.	C/ Equip.	Diferença	%		
GRAVAÇÃO CHASSI	Check-list Couto	Sintomas Psicologico	3,8	3,6	0,2	5,3	Menor Melhor
		Sintomas fisicos	5,8	4,4	1,3	23,1	Menor Melhor
	Check-list Percepção do Posto	Percepção Posto de Trabalho	2,5	2,2	0,3	13,3	Maior Melhor
		S/ Equip.	C/ Equip.	Diferença	%		
	Check-list Couto	MEDIA DOS RESULTADOS	4,6	3,7	0,9	19,6	Menor Melhor
			6,0	5,4	0,6	9,9	Menor Melhor
			2,6	2,4	0,2	6,4	Maior Melhor

Legenda: ■ Verde indica melhora ■ Vermelho indica piora

Fonte: dados da pesquisa

Como principais resultados foram nos sintomas psicológicos como O propósito inicial deste estudo foi implementar um roteiro de entrevistas dentro da empresa ao longo de um período de três meses. A intenção era capturar uma ampla gama de informações que poderiam enriquecer os dados quantitativos disponíveis para análises estatísticas. No entanto, enfrentamos obstáculos significativos devido à falta de aprovações e/ou homologações do produto exoesqueleto por parte dos órgãos regulatórios oficiais brasileiros. Esta falta de abertura em relação à coleta de dados em um período mais longo impossibilitou a realização do plano inicial.

Apesar das limitações existentes, os dados coletados durante o período disponível ainda foram valiosos e forneceram uma base sólida para análises científicas confiáveis. Ainda que não tenhamos conseguido estender o período de coleta como inicialmente planejado, os resultados obtidos ainda oferecem insights significativos que contribuem para o avanço do conhecimento nessa área específica.

Tais descobertas podem servir como ponto de partida para futuras pesquisas e para orientar estratégias de implementação de tecnologias como o exoesqueleto em ambientes industriais.

#### 4. Discussões dos resultados

Nos ambientes de trabalho industriais e em muitos setores produtivos, a ergonomia desempenha um papel crucial na saúde e no bem-estar dos trabalhadores. Problemas de ergonomia, como lesões musculoesqueléticas e fadiga, são comuns em tarefas que envolvem movimentos repetitivos e levantamento de cargas pesadas. Nesse contexto, a aplicação de exoesqueletos, dispositivos que auxiliam a movimentação e suportam a carga, tornou-se uma alternativa promissora para mitigar o risco ergonômico no processo produtivo.

Após a análise dos dados coletados ao longo de três dias de utilização do equipamento exoesqueleto em dois postos da linha de produção, foi possível extrair informações relevantes que lançam luz sobre os efeitos dessa tecnologia.

Em relação aos Sintomas Psicológicos, observou-se que ambos os colaboradores relataram melhorias nos quesitos de cansaço, concentração e nervosismo nos dois postos avaliados. No entanto, houve uma queda na avaliação da produtividade. A média total de pontos sem o uso do equipamento foi de 4,6, enquanto com o equipamento foi de 3,7, considerando um coeficiente de "quanto menor, melhor". Isso representa uma melhoria de 0,9 pontos, equivalente a 19,6%.

Na categoria Sintomas Físicos, verificou-se uma redução na sensação de dor no pescoço, ombros e região lombar para ambos os entrevistados. Apesar de uma maior incidência de dor nas costas, pés, cabeça, braços e punhos, a média total dessa categoria apresentou uma melhoria de 0,6 pontos, representando 9,9% de avanço. É importante destacar que os maiores relatos de desconforto antes dos testes estavam relacionados ao pescoço, ombros e lombar, indicando que o uso do exoesqueleto proporciona melhorias para esses problemas específicos. Entretanto, ao analisar os gráficos das pontuações para costas, pés, cabeça, braços e punhos, observa-se que, após o primeiro dia de uso, houve uma sensação de melhoria, seguida por uma deterioração das pontuações após o segundo dia de utilização.

Na categoria Percepção de Posto de Trabalho, houve uma leve queda na média geral de 0,2 pontos, representando 6,4% de deterioração. Ao analisar os gráficos, observa-se que muitos dos requisitos receberam pontuações semelhantes ao comparar os resultados sem e com o uso do exoesqueleto. O requisito "calma" foi identificado como o item com piora para ambos os colaboradores, juntamente com o requisito "disposição para o trabalho" para o colaborador responsável pela gravação do chassi.

Esses resultados destacam a complexidade dos efeitos do exoesqueleto sobre os colaboradores e ressaltam a importância de considerar não apenas os aspectos físicos, mas também os psicológicos e perceptivos ao avaliar o impacto dessa tecnologia no ambiente de trabalho.

A aplicação de exoesqueletos tem demonstrado resultados significativos na redução do risco ergonômico no processo produtivo. Esses dispositivos oferecem suporte mecânico, prejudicando a carga sobre os músculos e músculos dos trabalhadores. Como resultado, os trabalhadores experimentam menos fadiga e estresse físico, o que contribui para a prevenção de lesões musculares e ósseas.

Além disso, a utilização de exoesqueletos pode melhorar a eficiência e a produtividade dos trabalhadores, uma vez que eles podem realizar tarefas que anteriormente eram desgastantes por mais tempo e com menos risco de erro devido à fadiga. Essa melhoria na qualidade do trabalho tem implicações positivas tanto para a saúde dos funcionários quanto para os resultados econômicos das empresas.

A aplicação de exoesqueletos para a redução do risco ergonômico no processo produtivo tem mostrado resultados promissórios. A redução da fadiga, a prevenção de lesões musculoesqueléticas e a melhoria da eficiência são benefícios que podem melhorar a qualidade de vida dos trabalhadores e a produtividade das empresas. No entanto, ao discutir a adoção desses dispositivos devem ser consideradas questões como custo, treinamento e facilidades para os trabalhadores.

A busca por soluções ergonômicas práticas deve ser equilibrada com a compreensão das complexidades envolvidas na implementação dos exoesqueletos. É necessário um esforço

conjunto de trabalhadores, funcionários e reguladores para garantir que os exoesqueletos sejam uma ferramenta valiosa na promoção de ambientes de trabalho mais seguros e saudáveis.

Apesar das promessas, existem estudos em curso sobre a eficácia dos exoesqueletos em diferentes cenários industriais e tarefas específicas. Algumas perguntas se esses dispositivos são igualmente eficazes para todos os tipos de trabalhadores, considerando variações individuais. Além disso, a liberdade por parte dos trabalhadores e o treinamento adequado para o uso dos exoesqueletos são questões que precisam ser abordadas. A ergonomia não é apenas uma questão de dispositivos, mas também de cultura e ambiente de trabalho.

Outro ponto de discussão é o custo e a manutenção dos exoesqueletos. Embora possa trazer benefícios a longo prazo, o investimento inicial e os custos de manutenção podem ser consideráveis, isso levanta questões sobre a acessibilidade para pequenas empresas e a necessidade de equilibrar os benefícios ergonômicos com os custos envolvidos.

## 5. Considerações finais

A aplicação de exoesqueletos no ambiente de trabalho tem mostrado uma estratégia promissora para reduzir o risco ergonômico no processo produtivo. Ao longo deste texto, exploramos como esses dispositivos podem melhorar a saúde e o bem-estar dos trabalhadores, aumentar a eficiência e a produtividade, além de minimizar o risco de lesões relacionadas ao trabalho. Neste momento, é de segurança realizar algumas considerações importantes sobre o impacto da aplicação do exoesqueleto nesse contexto.

Primeiramente, é evidente que os exoesqueletos têm o potencial de aliviar as demandas físicas e reduzir o cansaço dos trabalhadores em tarefas que envolvem movimentos repetitivos, levantamento de cargas pesadas e posturas específicas. Isso não apenas contribui para a saúde dos colaboradores, afetando a incidência de lesões musculoesqueléticas, mas também aumenta a qualidade de vida no trabalho. Trabalhadores que se sentem mais confortáveis e menos sujeitos a lesões tendem a ser mais produtivos e satisfeitos com suas funções, o que podem impactar positivamente a retenção de talentos nas empresas.

Além disso, uma introdução de exoesqueletos pode levar a melhorias significativas na eficiência operacional. Tarefas que anteriormente foram realizadas de forma mais lenta devido

a limitações humanas podem ser realizadas de maneira mais rápida e consistente, o que beneficia tanto os trabalhadores quanto os clientes. A automação parcial das atividades, graças aos exoesqueletos, pode permitir que os trabalhadores se concentrem em tarefas de maior valor agregado, melhorando assim o desempenho geral do processo produtivo.

No entanto, é importante destacar que a implementação de exoesqueletos não é isenta de desafios. Questões relacionadas ao custo, treinamento dos trabalhadores, manutenção dos dispositivos e adaptação do ambiente de trabalho são elementos que devem ser cuidadosamente considerados. Além disso, é fundamental garantir que a tecnologia seja usada de maneira ética e que os direitos dos trabalhadores sejam respeitados.

Em conclusão, o impacto da aplicação do exoesqueleto para a redução do risco ergonômico no processo produtivo é significativo. Essa tecnologia tem o potencial de melhorar a qualidade de vida dos trabalhadores, aumentar a produtividade e a eficiência, e reduzir as lesões relacionadas ao trabalho. No entanto, é crucial abordar cuidadosamente todos os aspectos envolvidos na implementação desses dispositivos, garantindo que eles sejam uma solução eficaz e sustentável para a melhoria das condições de trabalho. Portanto, a pesquisa contínua, a regulamentação adequada e o compromisso com o bem-estar dos trabalhadores são fundamentais para maximizar os benefícios dos exoesqueletos no ambiente de trabalho.

## Referências

- Abergo, A. B. De E. (2023). O que é Ergonomia? Disponível em: <<https://www.abergo.org.br/o-que-%C3%A9-ergonomia>>.
- Abrahão, J. et al. (2009). Introdução à ergonomia: da prática à teoria. Editora Blucher
- Bing, W. X. Design of Top Members of an Industrial Exoskeleton. [s.l.: s.n.].
- Dos Santos, A. C.; Vieira, D. R.; Amaral, T.; Franco, D. (2021). Potenciais impactos das tecnologias da indústria 4.0 na ergonomia. Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação (EIGEDIN), v. 5, n. 1, 29 set.
- Iida, I. & Buarque, L. I. A. (2021). Ergonomia: projeto e produção. [s.l.] Editora Blucher,
- Junior, M. dos S. B., de Jesus, A. F. S., da Cunha, A. P., & Amarante, M. dos S. (2022). O Sistema Produtivo da Indústria 4.0 e o Fator Ergonômico. *Revista Pesquisa E Ação*, 8(1), 203-222. <https://revistas.brazcubas.edu.br/index.php/pesquisa/article/view/1239>
- Karvouniari, A. et al. (2018). An approach for exoskeleton integration in manufacturing lines using Virtual Reality techniques. *Procedia CIRP*, v. 78, p. 103–108.

- Munoz, L. M. (2021). Ergonomics in the Industry 4.0: Exoskeletons. *Journal of Ergonomics*, v.8, n. 1,. <<https://www.longdom.org/open-access/ergonomics-in-the-industry-40-exoskeletons-2165-7556-1000e176.pdf>>.
- Nascimento, D., Silva, D. A. O. da, Vieira, V. T. de B., Silva, L. A. da, Silva, D. A. O. da, & Camargo, J. R. de. (2021). Uniformes Modernos (Armaduras e Exoesqueleto) / Modern Uniforms (Armor and Exoskeleton). *Brazilian Journal of Development*, 7(4), 36935–36950. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-248>.
- Sakurai, R.; Zuchi, J. D. (2018). As revoluções industriais até a indústria 4.0. *Revista Interface Tecnológica*, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 480–491, 2018. DOI: 10.31510/infa.v15i2.386. <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/386>.
- Silva, M. de M.; Onofrio, L. G.B. & Barros, G. D. (2019). O futuro da ergonomia na Indústria 4.0, in: Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), XXXIX, 2019, Santos. Anais...Santos: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2019 p. 1-14. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN\\_STP\\_297\\_1677\\_37186.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_297_1677_37186.pdf)>
- Schumacher, A.; Erol, S. & Sihn, W. (2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, v. 52, p. 161–166, 1 jan. 2016.
- Vidal, M. C. (2000). Introdução à ergonomia. Curso de Especialização em Ergonomia Contemporânea/CESERG. Rio de Janeiro: COPPE/GENTE/UFRJ.