

## **EXOESQUELETOS DE MEMBROS INFERIORES E AS DIFICULDADES DE SUA UTILIZAÇÃO NA LINHA DE MONTAGEM AUTOMOTIVA: A VISÃO DA ERGONOMIA**

Almir Paribello <sup>1\*</sup>

Ana Carolina Parise Diniz <sup>2</sup>

Douglas Rodrigo Sérgio <sup>3</sup>

Edgard de Oliveira Neto<sup>4</sup>

Lucas Alves de Andrade Volpe<sup>5</sup>

Luiz Marcelo Marcondes Coelho de Oliveira<sup>6</sup>

Vilson Paulo Tauffer<sup>7</sup>

Reinaldo Rodrigues de Oliveira<sup>8</sup>

Thiago Alves Oliveira<sup>9</sup>

### **Resumo**

---

Inserido na indústria 4.0, o exoesqueleto é uma estrutura eletromecânica ou mecânica que combina a forma e as funções do corpo humano, trabalhando em paralelo com ele. Segundo Chen et al. (2016), os exoesqueletos podem ser classificados de acordo com os segmentos do corpo humano suportados pela estrutura. Os autores classificam como exoesqueletos de membros superiores, membros inferiores, corpo inteiro e exoesqueletos específicos de suporte articular. O presente artigo foca a utilização dos exoesqueletos de membros inferiores, que segundo Chen et al. (2016), podem eliminar cargas em trabalhos manuais, diminuir a probabilidade de lesões e melhorar a eficiência no trabalho. Objetivos: Os exoesqueletos de membros inferiores permitem o repouso de coluna e a alternância postural desses segmentos corporais, contudo poucos testes são realizados no ambiente de trabalho para levantar as dificuldades de adaptação. Desta forma o objetivo deste estudo foi de apresentar os testes realizados e levantar as dificuldades de sua utilização pelos operadores da linha de montagem da empresa Hyundai Motor Brasil. Método: O estudo de caso foi dividido em três etapas: a primeira foi pesquisa de fornecedores, seleção do tipo de produto e seleção do tamanho dos exoesqueletos. A escolha do exoesqueleto de membros inferiores foi devido à observação de processos que possibilitavam a alternância de posturas em pé e sentada. A segunda etapa foi estudar e entender as características do produto para que pudesse ser implementado na linha e iniciar a terceira etapa, os testes com os exoesqueletos. Resultados: Após a utilização, os

---

<sup>1</sup> Chefe do Departamento de Meio Ambiente, Saúde e Segurança Hyundai Motor Brasil.

\*almir.paribello@hyundai-brasil.com.

<sup>2</sup> Ergonomista

<sup>3</sup> Técnico de Enfermagem do Trabalho

<sup>4</sup> Médico do Trabalho

<sup>5</sup> Analista de Processos de Montagem

<sup>6</sup> Médico do Trabalho

<sup>7</sup> Médico do Trabalho

<sup>8</sup> Técnico de Enfermagem do Trabalho

<sup>9</sup> Coordenador e Médico do Trabalho



funcionários foram entrevistados e levantaram as principais dificuldades, as quais foram separadas em duas classificações: quanto ao uso do exoesqueleto e quanto à adaptação dele nos postos de trabalho. Conclusão: Apesar de existirem estudos que apresentam os benefícios na utilização dos exoesqueletos na reabilitação, a adaptação do seu uso nos processos produtivos na linha de montagem automobilística não é simples, pois as características intrínsecas da produção devem ser consideradas e influenciam na implementação dos dispositivos. Conclui-se que são necessários testes em ambientes de trabalho com os exoesqueletos para que as dificuldades de adaptação sejam levantadas, para uma posterior implementação definitiva dos dispositivos, de modo que a satisfação dos trabalhadores seja positiva e aumente o conforto.

**Palavras-chave:** indústria 4.0; exoesqueleto; ergonomia.

## LOWER LIMB EXOSKELETONS AND THE DIFFICULTIES OF THEIR USE IN THE AUTOMOTIVE ASSEMBLY LINE: THE VIEW OF ERGONOMICS

### Abstract

---

Inserted in Industry 4.0, the exoskeleton is an electromechanical or mechanical structure that combines the shape and functions of the human body, working in parallel with it. According to Chen et al. (2016), exoskeletons can be classified according to the segments of the human body supported by the structure. The authors classify exoskeletons of upper limbs, lower limbs, whole body and exoskeletons of joint support. This article focuses on the use of lower limb exoskeletons, which according to Chen et al. (2016), can eliminate loads in manual work, decrease the likelihood of injuries and improve work efficiency. Objectives: exoskeletons of lower limbs allow spine rest and postural alternation of body segments; however few tests are performed in the work environment to raise the difficulties of adaptation. Thus, the objective of this study was to present the tests carried out and to raise the difficulties of their use by the assembly line operators of the company Hyundai Motor Brasil. Method: The case study was divided into three stages: the first was researching suppliers, selecting the type of product and selecting the size of the exoskeletons. The choice of the lower limb exoskeleton was due to the observation of processes that made it possible to alternate standing and sitting postures. The second stage was to study and understand the characteristics of the product so that it could be implemented in the line and start the third stage, tests with exoskeletons. Results: After use, employees were interviewed and raised the main difficulties, which were separated into two classifications: regarding the use of the exoskeleton and how to adapt it in the work stations. Conclusion: Although there are studies that present the benefits in the use of exoskeletons in rehabilitation, the adaptation of their use in the production processes in the automobile assembly line is not simple, since the intrinsic characteristics of the production must be considered and influence the implementation of the devices. It is concluded that tests in work environments with exoskeletons are necessary for the adaptation difficulties to be raised, for a later definitive implementation of the devices, so that the workers' satisfaction is positive and increases the comfort.

**Keywords:** industry 4.0; exoskeleton; ergonomics.

### 1. INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0, também chamada de Manufatura Avançada, Indústria do Futuro e Fábrica Inteligente, se caracteriza pela integração dos processos produtivos com o ambiente



virtual, por meio de modernas tecnologias, como Comunicação Máquina-Máquina, Big Data, Internet das Coisas, Inteligência Artificial, Armazenamento em Nuvem, Robótica Avançada e outras (Bortoluci, 2018).

Inserido na indústria 4.0, o exoesqueleto é uma estrutura eletromecânica ou mecânica que combina a forma e as funções do corpo humano, trabalhando em paralelo com ele. Pode exercer função mecânica ou de sistema de controle, com o objetivo de aumentar a potência humana, de reabilitar, ou realizar interações hápticas (Anam e Al-Jumaily, 2012). Segundo Chen et al. (2016), os exoesqueletos podem ser classificados de acordo com os segmentos do corpo humano suportados pela estrutura. Desta forma, os autores classificam como exoesqueletos de membros superiores, exoesqueletos de membros inferiores, exoesqueletos de corpo inteiro e exoesqueletos específicos de suporte articular.

Os exoesqueletos de membros inferiores são chamados comumente no mercado internacional por *wearablechair*, *chairlesschair*, *kneeexoskeleton*, ou cadeira vestível, a qual permite que as pessoas andem, permaneçam em pé ou sentem, utilizando o exoesqueleto. Desta forma, o presente artigo foca a utilização dos exoesqueletos de membros inferiores, que segundo Chen et al. (2016), podem eliminar cargas em trabalhos manuais, diminuir a probabilidade de lesões e melhorar a eficiência no trabalho. O que está de acordo com o Manual de Aplicação da Norma Regulamentadora NR 17, publicado pelo Ministério do Trabalho em 2002, o qual destaca a importância de alternar a postura em pé e sentada. Segundo o manual, a alternância postural permite a alternância de utilização dos músculos, vide que os músculos utilizados para manter a postura em pé são diferentes da musculatura utilizada para manter a postura sentada (MTE, SIT, 2002).

## 2. OBJETIVO

Na etapa de projeto de modificações e alterações das condições do trabalho da Análise Ergonômica do Trabalho, o analista em ergonomia deve propor melhorias que visem tanto a produção, quanto à saúde (MTE, SIT, 2002), levando em consideração a análise das posturas exigidas e as possíveis variações ao longo de determinada atividade no trabalho (Abrahão et al., 2009), desta forma o exoesqueleto pode ser uma opção de melhoria, pois é sabido dos benefícios do seu uso para o corpo humano.

Os exoesqueletos membros inferiores permitem o repouso de coluna e a alternância postural desses segmentos corporais, contudo poucos testes são realizados no ambiente de trabalho para levantar as dificuldades de adaptação (Chen et al., 2016). Desta forma o objetivo deste estudo foi de apresentar os testes realizados e levantar as dificuldades sobre a utilização



do *wearablechair* ou exoesqueleto de membros inferiores pelos operadores da linha de montagem da empresa Hyundai Motor Brasil.

### 3. METODOLOGIA

O presente estudo de caso foi dividido em três etapas, a primeira delas foi a pesquisa de fornecedores, seleção do tipo de produto e seleção do tamanho dos exoesqueletos. A escolha do exoesqueleto de membros inferiores partiu devido à observação de processos que possibilitavam a alternância de posturas em pé e sentadas.

A segunda etapa foi para estudar e entender as características do produto para que pudesse ser implementado na linha e iniciar a terceira etapa, os testes com os exoesqueletos.

### 4. SELEÇÃO DO TAMANHO

O fornecedor selecionado apresentou 5 recomendações, que variavam de acordo com as estaturas corporais, apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Tamanhos disponíveis de exoesqueleto de membros inferiores.

| Tamanho | Medidas (altura) |
|---------|------------------|
| 2 GG    | 183 cm ou mais   |
| GG      | 174 cm a 182 cm  |
| G       | 164 cm a 173 cm  |
| M       | 155 cm a 163 cm  |
| P       | 145 cm a 154 cm  |

Devido à utilização ser realizada exclusivamente pelo gênero masculino, foram adquiridos aleatoriamente dois tamanhos de exoesqueletos:

- 1) G: recomendado para pessoas de 164 cm até 173 cm de altura;
- 2) GG: recomendado para pessoas de 174 cm até 182 cm de altura.



#### 4.1. Características do produto

A estrutura possui 2 hastes metálicas com braços articulados de Alumínio 7075, que permitem a movimentação das articulações de joelhos e quadris. O material do tecido é Poliéster e Cordura, com almofadas em Polietileno, apresenta regulagem com velcro na cintura e panturrilhas e regulagem com presilhas nas coxas (Dados disponibilizados pelo fornecedor). Os pés possuem capa de borracha. Segundo o fornecedor, ambos tamanhos suportam até 120 kg.

#### 4.2. Testes

A fase de testes foi realizada em três etapas, totalizando uma amostra de 30 pessoas. Na primeira etapa, em agosto de 2016, os exoesqueletos foram testados pela equipe de engenharia (5 pessoas), com o intuito de entender o funcionamento, utilização e efetividade e possíveis riscos da utilização do produto. Os testes foram realizados primeiramente na Sala de Materiais, com estudo das instruções de uso e vestimenta.

Após a aprovação da engenharia, entre setembro de 2016 e outubro de 2016, ocorreu o segundo teste, que foi na Linha de Montagem do Motor. Esta linha foi escolhida, porque os operadores trabalhavam de frente com bancadas, na postura em pé. Primeiramente houve um breve treinamento com os líderes de time e líderes de grupo (aproximadamente 20 a 30 minutos), que passaram as informações aos operadores. Também foi elaborada uma instrução interna de uso. O teste foi realizado com 15 pessoas, que vestiram o exoesqueleto de uma até duas horas, não consecutivas, de segunda a sexta-feira.

O segundo teste foi realizado entre os meses de janeiro e março de 2018, com 10 pessoas, 5 que exercem função administrativa, escolhidas aleatoriamente, e 5 trabalhadores experientes da produção. Na produção os testes ocorreram em 3 linhas diferentes: Linha de Montagem de Portas, Linha de Montagem Final 1 e Linha de Montagem Final 2. A utilização do exoesqueleto na terceira etapa de testes foi de 10 a 30 minutos por pessoa.

### 5. RESULTADOS

Após a utilização dos exoesqueletos, os funcionários foram entrevistados e levantaram as principais dificuldades, as quais foram separadas em duas classificações: quanto ao uso do exoesqueleto e quanto à adaptação dele nos postos de trabalho (Tabela 2).

**Tabela 2.** Dificuldades apontadas durante e após o uso do exoesqueleto.



| Classificação                  | Detalhes   |
|--------------------------------|--|
| Quanto ao uso                  | Aprender a vestir e encaixar as cintas.  |
|                                | Sensação de calor.   |
|                                | Sensação de desequilíbrio ao sentar.   |
|                                | Desconforto em relação ao encaixe nos glúteos.   |
|                                | Ao andar, os pés de borracha podiam bater no chão.   |
|                                | Risco de os pés de borracha enroscarem no sapato.  |
|                                | Cansaço em membros inferiores ao permanecer sentado.   |
| Quanto à adaptação no processo | Restrição na movimentação juntamente com a linha, quando na postura sentada.                                   |
|                                | Dificuldade para encaixar os pés de borrachas nos postos de trabalho em que o carro avança em cima da esteira. |
|                                | Risco de enroscar os pés de borracha no vão da esteira.  |
|                                | Restrição no alcance na linha de montagem de portas.   |
|                                | Substituição por bancos.   |

Fonte: entrevista com os trabalhadores (Elaboração própria).

Em relação ao uso do dispositivo, os sete desconfortos relatados de imediato pelas pessoas que utilizaram foi a dificuldade para vestir e encaixar as cintas, quanto ao ajuste, principalmente em panturrilhas e cintura, vide que, nas linhas produtivas, a cada hora ocorre o revezamento entre os postos de trabalho e a troca do exoesqueleto entre os operadores; sensação de calor durante a movimentação na linha de produção, com relato de suor na região abdominal e em panturrilhas; sensação de desequilíbrio ao sentar; sensação de instabilidade e dor na região de glúteos ao sentar; os pés de borracha podem encostar no chão ou enroscar no calçado ao andar; cansaço em membros inferiores ao permanecer sentado no exoesqueleto (região dos quadríceps direito e esquerdo).

Em relação aos processos produtivos de montagem, foram levantadas cinco dificuldades. A primeira foi a restrição que o exoesqueleto gera no acompanhamento do avanço do carro na linha de montagem, principalmente na montagem das portas, vide que as peças avançam em um trilho e a pessoa permanece na postura estática de membros inferiores, quando sentado. A segunda foi em relação ao avanço da esteira na Linha de Montagem da Final 2, o trabalho ocorre nas laterais do carro, e ao sentar com o exoesqueleto, pode ocorrer de um dos pés ficar fora da esteira, ou os dois. Para os trabalhos que ocorrem em cima da esteira, pode ocorrer de pés de borracha encaixarem nos vãos da mesma, o que aumenta a instabilidade na



postura sentada, não há o risco de queda, contudo para as pessoas que não estão adaptadas ao aparelho, pode ser um fator que gera insegurança. Na linha de montagem das portas, a postura sentada não foi viável, devido ao alcance, que condiciona flexão de tronco próximo de 45°. Outro ponto levantado durante os testes foi a opção de substituir a utilização do exoesqueleto por bancos em postos de trabalho em que há a opção de realizar as atividades na postura em pé e sentada e permitam a presença de assentos.

## 6. CONCLUSÃO

O presente artigo apresentou as dificuldades da adaptação do exoesqueleto de membros inferiores no processo de montagem automobilística, através de testes realizados com dois tamanhos diferentes. Apesar de existirem estudos que apresentam os benefícios na utilização dos exoesqueletos na reabilitação (McGibbon et al., 2017; Villa-Parra et al., 2015; Lo e Xie, 2012), a adaptação do seu uso aos processos produtivos na linha de montagem automobilística não é tão simples, pois às características intrínsecas à produção (como avanço automático da linha, avanço automático da esteira, desníveis do piso e revezamento entre processos) devem ser consideradas e influenciam na implementação dos dispositivos.

Igualmente a Chen et al. (2016) conclui-se que são necessários mais testes em ambientes de trabalho com os diversos tipos de exoesqueletos para que as dificuldades de adaptação sejam levantadas, assim como as mostradas no presente estudo, para uma posterior implementação definitiva dos dispositivos, de modo que a satisfação dos trabalhadores seja positiva e haja ganhos de conforto, bem estar no trabalho e, conseqüentemente, ganhos de produtividade.

## REFERÊNCIAS

Abrahão J.; Sznclwar L.; Silvino A.; Sarmet M.; Pinho D. (2009). Introdução à ergonomia: da prática à teoria. São Paulo: Blucher.

Anama K., Al-Jumaily A. A (2012). Active Exoskeleton Control Systems: State of the Art. *Procedia Engineering*, 41, 988–994.

Bortoluci L. Indústria 4.0: Motor do desenvolvimento. In: <https://www.industria40.ind.br/artigo/17390-industria-40-motor-do-desenvolvimento>. Acesso em 05/12/2018.



Chen B., Ma H., Qin L., Gao F., Chan K., Law S., Qin L., LiaW (2016). Recent developments and challenges of lower extremity exoskeletons. *Journal of Orthopedic Translation*, 5, 26-37.

Lo H. S.; Xie S. Q. (2012). Exoskeleton robots for upper-limb rehabilitation: State of the art and future prospects. *Medical Engineering & Physics* (34) 261–268.

McGibbon A. C.; Brandon S. C. E.; Brookshaw M.; Sexton A. (2017). Effects of an over-ground exoskeleton on external knee moments during stance phase of gait in healthy adults. *The Knee*.

Ministério do Trabalho. (2002). Manual de aplicação da Norma Regulamentadora nº 17 – 2 ed. Brasília: MTE, SIT.

Villa-Parra A.C.; Delisle-Rodríguez D.; López-Delisc A.; Bastos-Filho T.; Sagaró R.; Frizera-Neto A. (2015). Towards a robotic knee exoskeleton control based on human motion intention through EEG and EMG signals. *Procedia Manufacturing* (3) 1379-1386.