

AValiação e teste do exoesqueleto em uma linha de montagem

Maria Victoria Cabrera Aguilera: DSc. mvca85@gmail.com Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ

Bernardo Bastos da Fonseca: DSc. bernardo.fonseca@uerj.br Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ

Paula Carvalho Monetto: Esp. paulamonetto@gmail.com

João Marcos Viana de Quadros Bittencourt: DSc. joaombittencourt@gmail.com Universidade Federal Fluminense – UFF

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo inicial para avaliar e testar um exoesqueleto passivo para membros superiores em uma linha de produção automotiva. Os testes foram realizados na área da pintura e de montagem durante um dia de produção e nos dois turnos de trabalho com a participação de diferentes setores da empresa. Ao todo, sete operadores participaram dos testes e seis postos de trabalho foram avaliados. Observou-se que em ambas as áreas, o uso do exoesqueleto não apresentou alteração no tempo ciclo das atividades executadas pelos operadores. Nas atividades que exigem sustentação dos membros superiores, o exoesqueleto se mostra mais favorável. Porém, nas atividades nas quais o operador necessita abaixar e elevar os braços diversas vezes ao longo do ciclo de trabalho, o equipamento se mostra desfavorável, pois o operador encontra resistência para abaixar o braço. É necessário aprofundar os estudos com outros modelos de exoesqueleto existentes no mercado e realizar testes com maior tempo de duração.

PALAVRAS-CHAVE: exoesqueleto; ergonomia; linha de montagem; membros superiores.

ABSTRACT

This work presents an initial study to evaluate and test a passive exoskeleton for upper limbs in an automotive production line. The tests were carried out at the painting area and at the assembly area during a day of production compound of two work shifts with the participation of different sectors of the company. A total of seven operators participated in the test and six workstations were evaluated. It was observed that in both areas, the use of the exoskeleton did not change the cycle time of the activities performed by the operators. In activities where the

operator needs to maintain the arms raised, the exoskeleton is more favorable. However, in activities where the operator needs to lower and raise the arms several times during the work cycle, the equipment is unfavorable, because the operator finds resistance to lower the arms. It is necessary to deepen the studies with other exoskeleton models available on the market and carry out tests with a longer duration.

KEYWORDS: exoskeleton; ergonomics; assembly line; upper limbs

1. INTRODUÇÃO

A indústria automotiva busca obter uma melhor robustez e precisão dos dispositivos automatizados em suas instalações. Neste contexto, alguns postos de trabalho demandam do operador movimentos corporais complexos, raciocínio e habilidades precisas, enquanto que as tecnologias atuais de robótica apresentam algumas limitações em relação à viabilidade, percepção, velocidade ou flexibilidade para serem implementadas nas estações de trabalho.

No Brasil, há uma prevalência das indústrias automotivas que apresentam postos de trabalho manuais na montagem do veículo, os quais demandam cargas posturais, movimentos repetitivos e duração de tarefas reduzidas.

A ergonomia na indústria automotiva possui como um dos seus principais objetivos a redução ou a eliminação dos postos de trabalho onde o operador tenha que adotar posturas inadequadas, cargas pesadas para transporte manual ou esforços excessivos (SYLLA; BONNET; COLLEDANI; FRAISSE, 2014), sempre para que o resultado seja a redução da exposição aos fatores de riscos ocupacionais agudos e acumulativos (SPADA; GHIBAUDO; GILOTTA; GASTALDI; CAVATORTA, 2017).

A redução destes riscos é tratada como um tema prioritário no planejamento de gerentes de produção de plantas de linha de montagem (KARVOUNIARI; MICHALOS; DIMITROPOULOS; MAKRIS, 2018).

Tarefas com elevação de ombro ou mãos acima da cabeça são consideradas fator de risco para o surgimento de distúrbios musculoesqueléticos nos ombros (NORDANDER; HANSSON; OHLSSON; ARVIDSSON; BALOGH; STRÖMBERG; RITTNER; SKERFVING, 2016). Estes distúrbios são considerados uma preocupação de saúde ocupacional nos locais de trabalho, pois podem exigir um longo período de recuperação dos

operadores. Trabalhos realizados com membros superiores acima da cabeça ainda são necessários em algumas tarefas, e em determinadas situações não são facilmente eliminados de alguns postos de trabalho devido ao custo e à própria característica da tarefa (KIM; NUSSBAUM; ESFAHANI; ALEMI; ALABDULKARIM; RASHEDI, 2018). A elevação de ombro ou mãos acima da cabeça impõe solicitações fisiológicas e biomecânicas no ombro do trabalhador (GRIEVE; DICKERSON, 2018).

Diferentes intervenções, como o uso de manipuladores, talhas e outros dispositivos são introduzidos nos locais de trabalho com o objetivo de atender às queixas musculoesqueléticas relacionadas ao trabalho no uso de ferramentas manuais e manuseio de materiais (KARVOUNIARI; MICHALOS; DIMITROPOULOS; MAKRIS, 2018).

Dentre as intervenções aplicadas nos locais de trabalho, o exoesqueleto se apresenta como uma alternativa para controlar as demandas físicas, principalmente aquelas relacionadas ao manuseio de material (LOOZE; BOSCH; KRAUSE; STADLER; O'SULLIVAN, 2015).

O exoesqueleto é utilizado em diferentes áreas, como na medicina para a reabilitação de pacientes (LO; XIE, 2012), na área militar com aplicação em soldados (LEE; WANSON; HAN; CHANGSOO, 2012) e na indústria (LOOZE; BOSCH; KRAUSE; STADLER; O'SULLIVAN, 2015).

Exoesqueletos são exemplos de colaboração entre humanos e robôs. O robô colaborativo é projetado para auxiliar o trabalhador na execução de uma tarefa. Exoesqueletos são um tipo particular de robô colaborativo que apresentam funcionalidades que podem atender às necessidades da ergonomia nas indústrias, como compensação de carga postural e solicitação de membros superiores (SYLLA; BONNET; COLLEDANI; FRAISSE, 2014).

O exoesqueleto é uma estrutura mecânica externa que pode ser vestida, e é projetada para funcionar em harmonia com o ser humano, a fim de fornecer suporte ou melhorar sua capacidade. Há dois tipos de exoesqueleto. Ele pode ser passivo, quando ele fornece suporte ou proteção, ou pode ser ativo, através do fornecimento de força adicional (KARVOUNIARI; MICHALOS; DIMITROPOULOS; MAKRIS, 2018).

Este trabalho apresenta um estudo inicial para avaliar e testar um exoesqueleto passivo para membros superiores em uma linha de produção automotiva. O objetivo é descrever a sistemática adotada pelo Setor de Ergonomia da empresa no primeiro contato com o equipamento, e compreender o seu funcionamento em determinados postos de trabalho nas operações de pintura e de montagem de veículos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. DEFINIÇÃO DO EQUIPAMENTO

O modelo de exoesqueleto utilizado para realizar os testes na linha de produção se caracteriza por ser uma assistência passiva direcionada aos membros superiores. O modelo eleva e apoia os braços do operador para auxiliá-lo nas atividades que implicam em movimentos e/ou sustentação dos braços erguidos e estendidos desde o nível do tórax até acima da cabeça. Além disso, o modelo utilizado permite a utilização de ferramentas de trabalho durante a execução das tarefas de montagem.

O equipamento testado possui colete de vestimenta regulável, peso total de 4,3 quilogramas com assistência de elevação ajustável em quatro níveis (1 a 4), entre 2,2 e 6,8 quilogramas, respectivamente, por braço e altura de trabalho entre 152 e 193 centímetros.

2.2. DEFINIÇÃO DOS POSTOS DE TRABALHO

A definição dos postos de trabalho onde o exoesqueleto foi testado seguiu os seguintes critérios: operações realizadas debaixo do carro que implicam na adoção e ou sustentação de posturas com elevação de ombros acima de 45° e postos de trabalho que possuem queixas atreladas à solicitação musculoesquelética dos membros superiores. A partir destes critérios, foram selecionados três postos de trabalho em dois setores distintos da planta fabril, onde a carroceria dos veículos percorre os postos de trabalhos de forma suspensa, acima dos operadores, nos setores de pintura e de montagem.

Os postos de trabalho selecionados no setor de pintura se encontram em uma área fechada e refrigerada. Cada posto de trabalho abrange uma região do carro, onde o operador realiza as suas tarefas. O piso é de grade metálica e possui dois níveis delimitados por guarda-corpos, onde os operadores executam as suas atividades vestindo macacão impermeável, além dos outros equipamentos de proteção individual. Os operadores utilizam como ferramentas de trabalho pincel, pistola de aplicação extrusada de massa de vedação e pistola de aplicação pulverizada de PVC com peso aproximado de 1,11 quilogramas a 2,15 quilogramas, respectivamente. As operações dos postos avaliados implicam na aplicação e pincelamento do cordão de massa de vedação e na aplicação de PVC no assoalho e na caixa de rodas, onde o operador se desloca ao longo do posto de trabalho e realiza movimentos

lineares e de dedos em gatilho com sustentação dos membros superiores durante 90% do tempo ciclo (Ver figura 1).

Figura 1. Postos de trabalho da área de pintura e montagem.



Os postos de trabalho selecionados na área da montagem se caracterizam por estarem localizados em área aberta refrigerada por ventiladores direcionados onde cada operador realiza as suas tarefas. Os operadores ficam sobre uma plataforma deslizante que acompanha a carroceria, delimitando a área do posto de trabalho. As ferramentas de trabalho utilizadas são parafusadeiras dos tipos pistola e angular, com peso aproximado de 2,7 quilogramas e 3,15 quilogramas. Durante a execução das tarefas, os operadores pegam diversas peças e parafusos dispostos próximos das áreas de atuação a fim de realizar a montagem e fixação das mesmas, o que implica em movimentos de abdução e adução de ombros por mais de 30% do tempo ciclo.

2.3. SELEÇÃO DOS OPERADORES

Os operadores que participaram do teste do exoesqueleto são do sexo masculino, com aproximadamente um ano na função e idade entre 20 e 35 anos. Ao todo, sete operadores participaram do teste, sendo três da pintura e quatro do setor de montagem.

O teste no setor da pintura ocorreu no meio do primeiro turno de trabalho. O teste no setor de montagem ocorreu em dois momentos: no final do primeiro turno de trabalho e no início do segundo turno de trabalho.

2.4. ÁREAS ENVOLVIDAS

Os setores envolvidos que participaram do teste na linha de produção foram o setor de manufatura, engenharia industrial, engenharia de processo, ergonomia e o representante do exoesqueleto.

A manufatura determinou os operadores participantes do teste de acordo com o grau de experiência no posto. O operador realizou todas as tarefas do posto vestindo o exoesqueleto sem qualquer mudança no procedimento operacional.

A engenharia industrial analisou o tempo por operação durante a execução das operações *in loco* a fim de identificar qualquer mudança no tempo ciclo do posto de trabalho.

O estudo relacionado ao funcionamento e manutenção do equipamento ficou sob responsabilidade do setor de engenharia de processo.

O setor de ergonomia foi responsável pelo teste, avaliação e restituição do uso do exoesqueleto na linha de produção. Este setor realizou o contato com representante do equipamento, alinhou as informações com os setores envolvidos, agendou o teste e estabeleceu as etapas do teste. Ao final, o setor de ergonomia realizou a restituição através da compilação de dados e a apresentação dos resultados obtidos a direção da empresa.

O representante do exoesqueleto realizou os ajustes necessários do equipamento ao longo do teste de acordo com a solicitação dos operadores.

2.5. ETAPAS DO TESTE

Antes de iniciar o teste, cada operador participante recebeu esclarecimentos da ergonomista sobre o estudo do exoesqueleto na linha de produção e sobre a importância de realizar as tarefas normalmente. Em seguida, o representante do equipamento explicou o funcionamento do exoesqueleto e auxiliou o operador a vesti-lo. Imediatamente o operador se dirigiu ao seu posto de trabalho e iniciou as tarefas. Nos primeiros minutos de uso do equipamento, o representante realizou ajustes nos parâmetros do exoesqueleto de acordo com a solicitação dos operadores. O tempo de duração dos testes em cada posto de trabalho foi de aproximadamente trinta minutos, os quais foram registrados em áudio e vídeo.

Durante este tempo, todos os setores envolvidos participaram do teste próximo do posto de trabalho, entretanto, somente a ergonomista e o supervisor do posto de trabalho acompanharam de perto todas as operações realizadas pelo operador e questionaram em alguns momentos as percepções do uso do exoesqueleto.

Foram utilizadas técnicas de observação (KIRWAN; AINSWORTH, 1992 e JONASSEN; TESSMER; HANNUM, 1999) para coletar dados sobre como as tarefas foram realizadas com o uso do exoesqueleto. As técnicas observacionais deste estudo foram

utilizadas para registrar a sequência completa de ações, para capturar eventos visuais presentes nas ações dos operadores e nas interações entre o operador e o exoesqueleto.

Ao finalizar o teste, o operador avaliou o equipamento em uma escala de 0 a 10, onde 0 era o menor índice de satisfação e 10 o maior. Além disso, foi relatada a experiência e sensação do uso do equipamento durante a execução da atividade laboral na linha de montagem.

A última etapa consistiu na compilação dos dados dos diferentes setores participantes e na apresentação dos resultados a partir da visão de cada setor envolvido para a direção da empresa.

Os testes realizados na pintura e na montagem ocorreram ao longo de um dia de produção, devido à disponibilidade do representante para ceder e acompanhar o teste do equipamento. É importante destacar que, durante os testes, a linha de montagem e os processos produtivos não foram interrompidos. O funcionamento e ritmo da produção permaneceram inalterados.

3. RESULTADOS

O teste teve início no setor de pintura no período da manhã, na metade do expediente de trabalho dos operadores. A regulagem dos parâmetros do exoesqueleto para sustentação de carga em cada posto de trabalho começou com o ajuste mais baixo (nível 1). Ao longo do teste, o nível de ajuste foi gradativamente aumentado para captar a percepção do operador em cada um dos parâmetros do equipamento.

Dois postos de trabalho do setor de pintura exigem que o operador realize sua atividade com movimentos de elevação dos membros superiores, na qual os cotovelos ficam na altura dos ombros (figura 2). Nestes postos, os operadores relataram a necessidade de maior atenção quanto ao uso do exoesqueleto para que eles não esbarrem nos equipamentos e mobiliários existentes na linha de produção. Em relação à regulagem do exoesqueleto, os operadores preferiram o segundo nível. No terceiro posto de trabalho, onde o operador realiza suas atividades com elevação dos membros superiores e o cotovelo acima do ombro com os braços estendidos, o operador preferiu a terceira regulagem do exoesqueleto, que fornece maior capacidade de sustentação de carga. Foi observado que, neste posto, a atividade exige que o operador sustente os membros superiores elevados por longo período.

Figura 2. Teste do exoesqueleto na área da pintura e da montagem.



Apesar das regulagens de cada operação serem diferentes de acordo com a exigência do operador, a pontuação atribuída por cada um deles em relação a satisfação e uso do equipamento foi oito.

No setor de montagem, o teste foi iniciado no período da tarde, no final do primeiro turno de trabalho e no início do segundo turno de trabalho. O ajuste do equipamento foi invertido em relação aos testes realizados na área da pintura, iniciado com o ajuste mais elevado (nível 4) e reduzido gradativamente até o nível apontado como ótimo por todos os operadores em todos os postos de trabalho (nível 2). Segundo os operadores, o nível de ajuste mais elevado exige deles um maior esforço para descer os braços, pois, devido às características das atividades, os operadores precisam abaixar os braços para pegar peças e ferramentas, para depois sustentar os membros superiores durante a montagem. Em dois postos de trabalho, os operadores relataram a necessidade de maior atenção quanto ao uso do exoesqueleto para que eles não esbarrem nos equipamentos e mobiliários existentes na linha de produção. Um dos postos de trabalho onde foi testado o exoesqueleto possui área livre de atuação do operador, o que não despertou no operador a preocupação durante o seu deslocamento no posto de trabalho. Em relação à satisfação e uso do exoesqueleto, um operador avaliou o equipamento com nota dez, o maior índice. O outro operador avaliou com nota nove.

O terceiro posto de trabalho da montagem apresenta a particularidade de que o teste foi realizado com dois operadores em momentos distintos. Um teste no final do primeiro turno de trabalho, e o outro no início do segundo turno de trabalho. Isto foi importante para identificar o comportamento e a percepção de fadiga após a jornada de trabalho e no início da jornada. Apesar dos momentos distintos, a pontuação atribuída por ambos os operadores foi nove e o parâmetro da regulagem foi nível 2.

Observou-se que, em todos os postos de trabalho, tanto no setor de pintura quanto de montagem onde o exoesqueleto foi testado, não houve alteração no tempo ciclo das atividades

executadas pelos operadores. Todavia, houve uma redução no retrabalho e, conseqüentemente, no tempo de execução da operação no posto de trabalho da área da montagem onde o operador utiliza ferramenta de torque para fixar parafusos e requer de precisão para posicionar a ferramenta, a fim de garantir o rosqueamento do parafuso.

Cada operador relatou a sua experiência e sensação do uso do equipamento durante sua atividade laboral na linha de montagem. Do total de operadores participantes, 71% relataram a necessidade de empregar força para abaixar o braço durante a atividade, o que destaca a importância do ajuste do exoesqueleto às características da atividade. Em relação ao volume que o equipamento possui, 43% relatou preocupação ao lembrar que estavam vestindo o exoesqueleto. Outros 14% apontaram que sentiram incômodo do contato do exoesqueleto com o corpo, principalmente na região da cintura e 57% descreveu que o equipamento auxiliou na precisão do uso de ferramentas de trabalho acima da cabeça, o que facilitou as suas operações.

4. CONCLUSÃO

A existência de estações de trabalho manual que demandam dos operadores agilidade e precisão é uma realidade na indústria automotiva. Algumas dessas tarefas exigem elevação dos membros superiores ao longo do turno laboral, o que pode gerar sobrecarga osteomioarticular e fadiga. Neste contexto, a ergonomia possui o papel de estudar soluções para minimizar ou eliminar possíveis riscos que possam impactar de forma negativa a saúde do operador. O exoesqueleto é apontado como uma possível solução para lidar com estes riscos.

Os testes realizados na linha de produção descrita acima foram essenciais para analisar a viabilidade quanto à aceitação do operador e funcionalidade do equipamento nas tarefas com elevação dos membros superiores.

A realização dos testes em três momentos distintos, no início, meio e final do turno de trabalho foi importante para captar a voz do operador com níveis de fadiga diferentes. Apesar disso, todos os operadores participantes pontuaram o exoesqueleto com nota acima de oito em relação a satisfação e uso do equipamento, o que mostra uma boa aceitação em um primeiro momento.

Observou-se que, nas atividades que exigem sustentação dos membros superiores, o exoesqueleto se mostrou mais favorável. Nas atividades nas quais o operador necessita abaixar e elevar os membros superiores diversas vezes ao longo do ciclo de trabalho, o exoesqueleto se mostrou desfavorável uma vez que o operador tem que realizar força para abaixar o braço. Por um lado, o exoesqueleto proporcionou uma sustentação dos braços, por outro, ele adicionou uma nova exigência muscular. Este é um aspecto que precisa ser aperfeiçoado no projeto de exoesqueletos passivos para linhas de produção.

A participação dos diversos setores envolvidos nos testes *in loco* foi importante para o engajamento e alinhamento de todos para uma possível implementação do exoesqueleto na linha de produção. A engenharia industrial destacou o impacto do equipamento no tempo ciclo de forma positiva, pois não houve mudança; a engenharia de processos apontou que não houve alterações no processo operacional, porém, identificou a necessidade de estudos técnicos relacionados à manutenção do equipamento.

A participação e opinião dos operadores, possíveis futuros usuários do exoesqueleto, foi essencial para ter uma análise da situação do trabalho real na linha de produção com o uso do equipamento e identificar as reais necessidades, dificuldades e possíveis ganhos.

Cabe salientar a importância de aprofundar os estudos com outros modelos de exoesqueleto existentes no mercado, realizar testes com maior tempo de duração e realizar testes com eletromiógrafo a fim de verificar o impacto do exoesqueleto nos membros superiores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SYLLA, N.; BONNET, V.; COLLEDANI, F.; FRAISSE, P. Ergonomic contribution of ABLE exoskeleton in automotive industry. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 44, p. 475-481, 2014.

SPADA, S.; GHIBAUDO, L.; GILOTTA, S.; GASTALDI, L.; CAVATORTA, M. P. Investigation into the applicability of a passive upper-limb exoskeleton in automotive industry. **27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 1255-1262, June, Italy, 2017.

KARVOUNIARI, A.; MICHALOS, G.; DIMITROPOULOS, N.; MAKRIS, S. An approach for exoskeleton integration in manufacturing lines using Virtual Reality techniques. **6th CIRP Global Web Conference, Procedia CIRP**, v. 78, p. 103-108, 2018.

NORDANDER, C.; HANSSON, G.; OHLSSON, K.; ARVIDSSON, I.; BALOGH, I.; STRÖMBERG, U.; RITTNER, R.; SKERFVING, S. Exposure - response relationships for work-related neck and shoulder musculoskeletal disorders - Analyses of pooled uniform data sets. **Applied Ergonomics**, v.55, p. 70-84, 2016.

KIM, S.; NUSSBAUM, M.; ESFAHANI, M. I. M.; ALEMI, M. M.; ALABDULKARIM, S.; RASHEDI, E. Assessing the influence of a passive, upper extremity exoskeletal vest for tasks requiring arm elevation: Part I –“Expected” effects on discomfort, shoulder muscle activity, and work task performance. **Applied Ergonomics**, v. 70, p. 315-322, 2018.

GRIEVE, J. R.; DICKERSON, C. R. Overhead work: Identification of evidence-based exposure guidelines. **Occupational Ergonomics**, v. 8, n. 1, p. 53-66, 2018.

LOOZE, M. P.; BOSCH, T.; KRAUSE, F.; STADLER, K. S.; O’SULLIVAN, L. W. Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. **Ergonomics**, v. 59, n. 5, p. 671-671, 2015.

LO, H. S.; XIE, S. Q. Exoskeleton robots for upper-limb rehabilitation: state of the art and future prospects. **Medical Engineering & Physics**, v. 34, n. 3, p. 261-268, 2012.

LEE, H.; WANSON, K.; HAN, J.; CHANGSOO, H. The technical trend of the exoskeleton robot system for human power assistance. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing**, v. 12, n. 8, p. 1491-1497, 2012.

KIRWAN, B., AINSWORTH, L.K. **A Guide to Task Analysis**. Taylor & Francis, London, 1992.

JONASSEN, D. H., TESSMER, M., HANNUM, W. H. **Task Analysis Methods for Instructional Design**, Routledge, 1999.