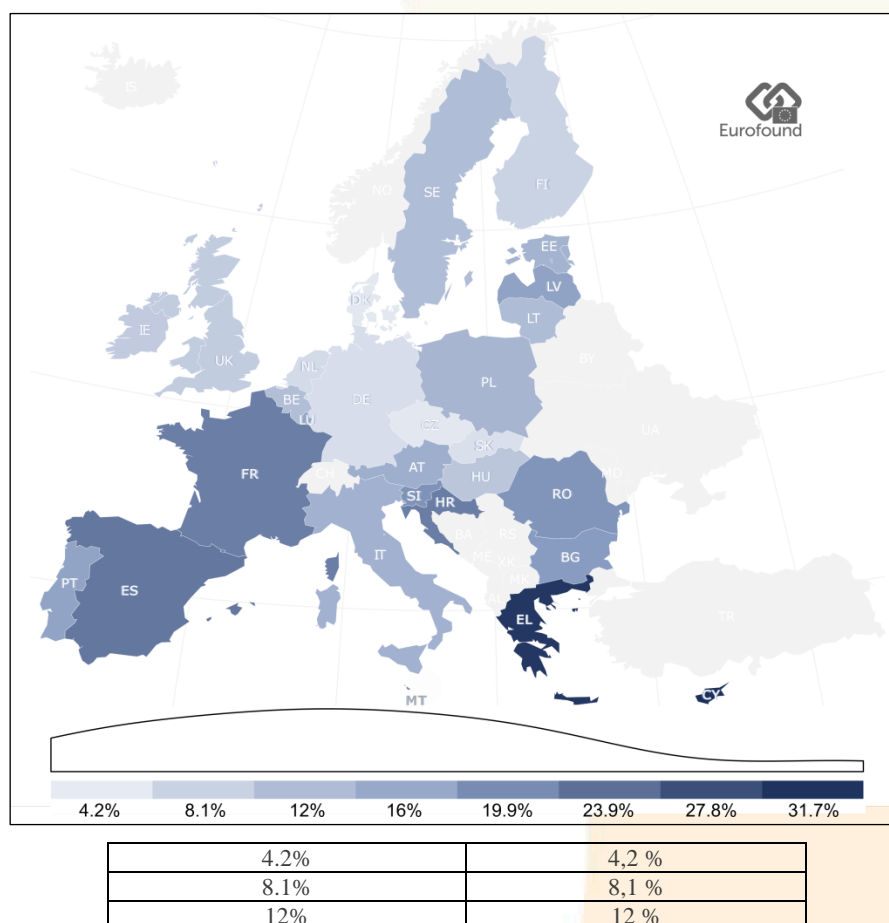


## O IMPACTO DA UTILIZAÇÃO DE EXOESQUELETOS NA SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO

### Introdução

Nos últimos anos, foram introduzidos nos locais de trabalho novos dispositivos corporais de assistência — os chamados exoesqueletos. A sua utilização deverá tornar-se mais comum no futuro, já que protótipos de exoesqueletos comprovaram os seus benefícios em áreas como a assistência médica. Em particular, os exoesqueletos parecem proporcionar uma nova abordagem para lidar com a questão das lesões musculoesqueléticas relacionadas com o trabalho (LMERT). As LMERT constituem um dos problemas mais desafiadores nos locais de trabalho na Europa<sup>1</sup>. A figura 1 apresenta a percentagem de trabalhadores que trabalham em posições cansativas e dolorosas, as quais podem estar associadas a uma conceção deficiente do local de trabalho, uma vez que as condições de trabalho continuam a ser um grande problema em toda a Europa. Os exoesqueletos foram desenvolvidos para resolver este problema.

**Figura 1 Percentagem do total de trabalhadores na Europa que trabalham em posições cansativas ou dolorosas (adaptado de dados da Eurofound de 2019)**



<sup>1</sup> Mais de 40 % dos trabalhadores na Europa sofrem de dores lombares ou nos ombros. Além disso, 63 % dos trabalhadores desempenham tarefas repetitivas ou trabalham frequentemente (46 %) em posições potencialmente perigosas (Eurofound, 2012). Os custos anuais dos problemas de saúde resultantes destas condições de trabalho ascendem a cerca de 2 % do produto interno bruto da União Europeia (UE) (Bevan, 2015). Muitos destes problemas são causados por tarefas que envolvem a movimentação manual de cargas (MMC), que implicam levantar, baixar, segurar ou transportar cargas (Zurada, 2012; Collins e O'Sullivan, 2015). Os trabalhos que obrigam a torções, flexões ou a manter os braços acima da altura dos ombros também aumentam o risco de lesão profissional. Por conseguinte, as LMERT não são apenas um problema de saúde, são igualmente uma questão de importante relevância económica.

|       |        |
|-------|--------|
| 16%   | 16 %   |
| 19,9% | 19,9 % |
| 23,9% | 23,9 % |
| 27,8% | 27,8 % |
| 31,7% | 31,7 % |

Os exoesqueletos são dispositivos corporais que auxiliam o sistema musculoesquelético utilizando vários princípios mecânicos. No que se refere às LMERT, estes dispositivos podem reduzir a tensão muscular nas partes do corpo frequentemente solicitadas, tais como a região lombar ou os ombros. Embora o potencial benefício dos exoesqueletos na prevenção das LMERT possa ser significativo, é também necessário ter em conta que estes dispositivos de assistência levantam novas questões no que diz respeito à segurança e saúde no trabalho (SST). A este respeito, o Instituto Nacional de Investigação e Segurança para a Prevenção de Acidentes e Doenças Profissionais (INRS) de França publicou uma análise dos novos fatores de risco presentes em locais de trabalho onde são utilizados exoesqueletos (INRS, 2019). Por um lado, os exoesqueletos podem ser vistos como uma oportunidade de reduzir a tensão muscular no trabalho, prestando assistência física aos trabalhadores e prevenindo, potencialmente, a ocorrência de LMERT ou auxiliando os trabalhadores com incapacidade física. Por outro lado, poderão surgir novos riscos potenciais para a saúde devido a uma redistribuição da tensão para outras partes do corpo. São igualmente afetados a motricidade, a estabilidade das articulações e a cinemática (INRS, 2018). O uso destes dispositivos poderá, além disso, contribuir para negligenciar a conceção ergonómica dos locais de trabalho, que assenta numa configuração centrada no ser humano. No entanto, há muitos trabalhos que não estão associados a um local de trabalho fixo, como, por exemplo, os serviços de entrega de mobiliário ou os serviços de emergência, em que não é possível implementar medidas de conceção ergonómica devido à variabilidade do ambiente e das suas exigências (Schick, 2018). Além disso, nestas profissões, os esforços musculares excessivos, o levantamento frequente de cargas, as posturas incorretas ou o uso de equipamentos de proteção individual (EPI) pesados podem aumentar o risco de sobrecarga física. Neste contexto, os exoesqueletos podem oferecer uma série de possibilidades para melhorar as condições de trabalho.



A preocupação reside nas precauções que devem ser tomadas quando se utiliza tecnologia tão próximo do corpo humano. Antes de equipar os trabalhadores com exoesqueletos, devem ser tidas em conta medidas técnicas e organizacionais a nível da conceção dos locais de trabalho. De um modo geral, sempre que se pretende melhorar a conceção ergonómica dos locais de trabalho, o uso de exoesqueletos deverá ser sempre o último recurso. Atualmente, existem muito poucos dados científicos de ergonomia e ciência do trabalho no que diz respeito aos exoesqueletos. A avaliação dos efeitos a longo prazo dos exoesqueletos na biomecânica e na fisiologia humana representa um desafio, difícil de levar a cabo na prática (Liedtke e Glitsch, 2018), já que devem ser considerados o tipo de exoesqueleto, as tarefas profissionais e os períodos de aplicação. Além disso, a investigação sobre os efeitos para a saúde relacionados com aspetos fisiológicos ou biomecânicos é demasiado recente,

tendo em conta que a análise da interação humana com exoesqueletos é um processo complexo e moroso. No entanto, é necessário desenvolver novas abordagens que demonstrem a eficácia dos exoesqueletos, a fim de avaliar melhor as vantagens e desvantagens desta tecnologia. Este artigo fornece uma panorâmica da reflexão atual sobre a utilização e avaliação de exoesqueletos do ponto de vista da SST.

## Exoesqueletos

### Definição

Um exoesqueleto pode ser definido como um sistema de assistência pessoal que age sobre o corpo de forma mecânica (Liedtke e Glitsch, 2018). Num sentido mais estrito, os exoesqueletos são tecnologias robóticas portáteis que modificam as forças internas ou externas que atuam sobre o corpo. Resumindo, os exoesqueletos são dispositivos corporais que aumentam ou auxiliam a força do utilizador. Devido ao grande número de aplicações e às diferentes funcionalidades, ainda não existe uma definição comum. Na literatura, existe um consenso geral quanto ao facto de os exoesqueletos poderem ser definidos como estruturas mecânicas externas utilizadas no corpo (Herr, 2009; De Looze et al., 2016). Podem ser classificados como sistemas ativos ou passivos.

Os exoesqueletos ativos utilizam atuadores (componentes de acionamento mecânico) para auxiliar os movimentos humanos. Estes componentes mecânicos são compostos por motores elétricos, mas podem também ser hidráulicos ou pneumáticos (Gopura e Kiguchi, 2009). Graças a esse auxílio, proporcionam uma força adicional, aumentando deste modo o desempenho de um trabalhador. Os exoesqueletos passivos usam, por seu lado, as forças de retorno de molas, amortecedores ou outros materiais para auxiliar o movimento humano. A energia armazenada num exoesqueleto passivo é gerada exclusivamente pelo movimento do utilizador (De Looze et al., 2016). Além disso, as forças são redistribuídas para proteger determinadas partes do corpo. A melhoria do desempenho do utilizador resulta não de uma força física adicional, mas sim da capacidade de manter posições cansativas por um período mais longo, como é o caso, por exemplo, dos trabalhos executados acima da altura dos ombros.

Os exoesqueletos híbridos, que podem ser sistemas ativos ou passivos, são ainda raros. Estes dispositivos utilizam a atividade de ondas cerebrais (sinais EEG) ou a ativação muscular para acionar os movimentos. No entanto, a sua utilização na indústria é atualmente pouco provável, pelo que não será discutida neste documento.

### Tipos de exoesqueletos

Os exoesqueletos podem ser classificados em três grupos: exoesqueletos para a parte superior do corpo, para a parte inferior e de corpo inteiro. A literatura menciona exoesqueletos para interagir com uma só articulação (Gams et al., 2013), mas estes não serão aprofundados neste artigo devido aos seus aspetos fortemente individuais e às suas aplicações limitadas a casos únicos. Os exoesqueletos destinados à parte superior do corpo utilizam geralmente estruturas mecânicas robustas para redistribuir a força aplicada nas extremidades superiores e no tronco (por exemplo, braços, antebraços, ombros ou região lombar). Neste caso, a redistribuição de forças implica que outras partes do corpo, como a anca ou as pernas, sejam sujeitas a cargas adicionais. Os exoesqueletos destinados à parte inferior do corpo conseguem transferir forças para o solo e, assim, reduzir a carga no sistema musculoesquelético. No entanto, importa notar que estes princípios dependem fortemente da conceção e da funcionalidade do exoesqueleto. Os sistemas de assistência que oferecem suporte simultaneamente à parte superior e inferior do corpo podem ser definidos como exoesqueletos de corpo inteiro.

### Campos de aplicação em locais de trabalho

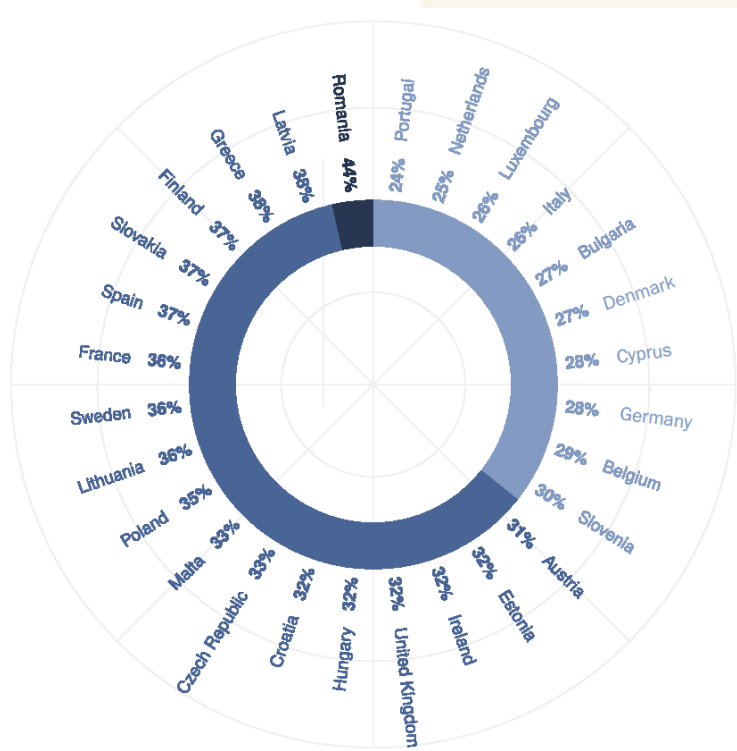
A ideia de auxiliar os movimentos humanos com dispositivos técnicos não é uma inovação recente. Há já bastante tempo que são utilizados dispositivos portáteis de assistência semelhantes aos exoesqueletos nos cuidados médicos, como, por exemplo, ortóteses fisioterapêuticas para ajudar pacientes lesionados na sua reabilitação física (Viteckova et al., 2013). No entanto, as ortóteses



diferenciam-se dos exoesqueletos por servirem para auxiliar pessoas com doenças musculoesqueléticas. Foram igualmente desenvolvidos exoesqueletos para aplicações militares (De Looze et al., 2016). Contudo, a utilização de exoesqueletos para preservar ou proteger a saúde física dos trabalhadores é uma prática recente. Embora a utilização de dispositivos de assistência como os exoesqueletos para melhorar a ergonomia das condições de trabalho seja atualmente objeto de controvérsia, estes dispositivos oferecem novas possibilidades para melhorar a segurança e a saúde dos trabalhadores (Schick, 2018). Além disso, as exigências em matéria de ergonomia dos locais de trabalho desempenharão, no futuro, um papel importante na garantia da saúde física de uma mão-de-obra envelhecida em consequência da evolução demográfica. Nesta perspetiva, é essencial desenvolver novas ferramentas ergonómicas, uma vez que as opções são atualmente limitadas (Hensel et al., 2018; Schick, 2018).

As áreas de aplicação dos exoesqueletos para reduzir as LMERT são numerosas. Em toda a Europa, mais de 30 % das tarefas profissionais envolvem a movimentação manual de cargas (MMC) (Eurofound, 2012), que representa um importante risco para a saúde. Os trabalhos que envolvem tarefas repetitivas, a movimentação de cargas pesadas, o manuseamento de objetos ou ferramentas acima do nível dos ombros ou posições perigosas são propícios à utilização de exoesqueletos. A figura 2 mostra que, nos países europeus, a movimentação e o transporte de cargas pesadas representam uma parte significativa das tarefas de trabalho. Na Roménia, em particular, quase metade dos trabalhadores (44 %) manuseiam ocasionalmente cargas pesadas. Neste contexto, os locais de trabalho industriais, os serviços de entrega de mobiliário, os serviços de emergência e os hospitais são particularmente relevantes. No entanto, é importante ter em conta a conceção ergonómica, nomeadamente em locais de trabalho fixos. Enquanto for possível melhorar a conceção ergonómica através de medidas técnicas ou organizacionais, a utilização de exoesqueletos não deve ser considerada como opção prioritária (Schick, 2018). No entanto, parece haver mais interesse em centrar os esforços no desenvolvimento de exoesqueletos para melhorar o desempenho dos trabalhadores do que em privilegiar a conceção de locais de trabalho com base numa abordagem centrada no trabalhador (Baltrusch et al., 2018).

**Figura 2 Percentagem de trabalhadores de todas as idades na Europa que passam um quarto do seu tempo a transportar ou manusear cargas pesadas (Eurofound, 2019)**



|     |             |      |               |
|-----|-------------|------|---------------|
| 24% | Portugal    | 24 % | Portugal      |
| 25% | Netherlands | 25 % | Países Baixos |
| 26% | Luxembourg  | 26 % | Luxemburgo    |
| 26% | Italy       | 26 % | Itália        |

|     |                |      |                 |
|-----|----------------|------|-----------------|
| 27% | Bulgaria       | 27 % | Bulgária        |
| 27% | Denmark        | 27 % | Dinamarca       |
| 28% | Cyprus         | 28 % | Chipre          |
| 28% | Germany        | 28 % | Alemanha        |
| 29% | Belgium        | 29 % | Bélgica         |
| 30% | Slovenia       | 30 % | Eslovénia       |
| 31% | Austria        | 31 % | Áustria         |
| 32% | Estonia        | 32 % | Estónia         |
| 32% | Ireland        | 32 % | Irlanda         |
| 32% | United Kingdom | 32 % | Reino Unido     |
| 32% | Hungary        | 32 % | Hungria         |
| 32% | Croatia        | 32 % | Croácia         |
| 33% | Czech Republic | 33 % | República Checa |
| 33% | Malta          | 33 % | Malta           |
| 35% | Poland         | 35 % | Polónia         |
| 36% | Lithuania      | 36 % | Lituânia        |
| 36% | Sweden         | 36 % | Suécia          |
| 36% | France         | 36 % | França          |
| 37% | Spain          | 37 % | Espanha         |
| 37% | Slovakia       | 37 % | Eslováquia      |
| 37% | Finland        | 37 % | Finlândia       |
| 38% | Greece         | 38 % | Grécia          |
| 38% | Latvia         | 38 % | Letónia         |
| 44% | Romania        | 44 % | Roménia         |

Devido a questões técnicas, os exoesqueletos ativos têm pouca relevância a nível prático: vários relatórios referem aspetos relacionados com o peso, a estrutura mecânica, o suporte de baterias e a conceção do funcionamento mecânico (Yang et al., 2008; Herr, 2009; De Looze et al., 2016). Em contrapartida, já existem no mercado alguns exoesqueletos passivos. No entanto, o auxílio proporcionado por estes sistemas passivos é limitado, uma vez que, à partida, apenas algumas partes do corpo podem ser aliviadas com este auxílio. A assistência durante tarefas de elevação de cargas pesadas continua a ser limitada.

A utilização prevista de exoesqueletos depende fortemente do seu campo de aplicação. Além da sua utilização enquanto meio técnico, os exoesqueletos também podem ser usados como equipamentos de proteção individual ou produtos médicos. Em função das aplicações previstas, devem ser obtidas diferentes certificações. Estas certificações estão fortemente relacionadas com questões de SST.

## Certificações de exoesqueletos

Dada a sua vasta gama de aplicações em domínios tão variados como a reabilitação, a indústria e as forças militares, bem como os seus diferentes tipos de construção, ainda não existe regulamentação nem ou certificação uniformes para os exoesqueletos. A fim de preencher esta lacuna, é necessário considerar, em primeiro lugar, a sua conceção funcional e a sua utilização prevista. A este respeito, um exoesqueleto pode ser classificado como um dispositivo técnico que auxilia um trabalhador na execução da sua tarefa profissional. Além disso, pode ser definido como um EPI. Neste caso, o exoesqueleto destina-se a proteger o trabalhador de cargas físicas suscetíveis de dar origem a doenças profissionais, como as lesões por esforços excessivos. Atualmente, não há consenso quanto à utilidade dos exoesqueletos enquanto meio de proteção eficaz contra as LMERT, o que torna a sua classificação mais difícil.

A aplicação prática dos exoesqueletos está fortemente relacionada com a certificação específica. Como já foi referido, um exoesqueleto pode ser definido como uma ajuda técnica à luz da Diretiva Máquinas da União Europeia (2006/42/CE). Os sistemas ativos podem ser definidos de forma mais precisa com a regulamentação internacional relativa aos robôs e dispositivos robóticos (ISO 10218-1:2011) e com os requisitos de segurança para os robôs de assistência pessoal (ISO 13482:2014).

Se um exoesqueleto for certificado como um EPI, com base na Diretiva 89/686/CEE, pode ser utilizado para fins de prevenção, a fim de evitar lesões relacionadas com o trabalho ou resultantes de esforços excessivos. Importa referir que a Diretiva 89/686/CEE está a ser gradualmente substituída pelo novo Regulamento (UE) 2016/425 relativo aos equipamentos de proteção individual.

Por último, um exoesqueleto pode ser considerado um dispositivo médico na aceção da legislação europeia aplicável (Diretiva 93/42/CEE). Os produtos médicos devem cumprir normas muito exigentes em matéria de segurança e desempenho. A avaliação clínica da eficácia médica, que ainda é difícil de provar, representa um desafio. No entanto, todas essas exigências são necessárias para que os exoesqueletos possam ser utilizados para fins de reabilitação ou aplicações médicas, ou ainda no âmbito de programas de inclusão (Schick, 2018).

## Avaliação do risco no local de trabalho com exoesqueletos

Os empregadores devem, por obrigação geral, proporcionar um ambiente de trabalho seguro e saudável e limitar os potenciais riscos durante o trabalho. As avaliações dos riscos no local de trabalho, que têm em conta todos os riscos profissionais possíveis, são obrigatórias e devem ser efetuadas por todos os empregadores na Europa. A orientação europeia que tem por objetivo abordar as obrigações estabelecidas pela Diretiva-Quadro (89/391/CEE) em matéria de avaliação dos riscos apresenta medidas específicas. Estas medidas incluem a prevenção dos riscos profissionais, a informação e formação dos trabalhadores e das organizações e a disponibilização de meios para aplicar as medidas necessárias. Com base nestas regulamentações, devem ser considerados os possíveis riscos associados aos exoesqueletos em locais de trabalho específicos.

Os riscos potenciais dos exoesqueletos em ambientes de trabalho são numerosos e estão relacionados com a sua conceção e funcionalidade. Os sistemas ativos podem ter defeitos mecânicos e técnicos. Neste caso, um mau funcionamento pode provocar lesões, uma vez que o mecanismo de acionamento dos exoesqueletos ativos pode exercer forças adicionais sobre o corpo do trabalhador. Atualmente, é difícil classificar as forças dos dispositivos utilizados no corpo e o seunexo com as lesões. Como referência geral, podemos utilizar os valores-limite biomecânicos aplicados aos robôs colaborativos (ISO/TS 15066:2016) (Schick, 2018). A possibilidade de os exoesqueletos aumentarem o risco de ferimentos durante um tropeção, uma escorregadela ou uma queda é uma probabilidade real. No entanto, o aumento desse risco é atualmente considerado baixo quando se trata de exoesqueletos usados na parte superior do corpo e utilizados em tarefas que envolvem caminhar em pisos planos (Kim et al., 2018). Ainda assim, dependendo da construção e do peso do exoesqueleto, os trabalhadores podem ficar limitados na sua liberdade natural de movimentos. Essa limitação dificulta a recuperação do equilíbrio através de movimentos compensatórios em caso de queda. Nestas circunstâncias, as consequências podem ser mais graves do que o seriam caso não se usasse um exoesqueleto. Além disso, devem ser consideradas as probabilidades de colisão entre o exoesqueleto e equipamentos de trabalho, robôs ou máquinas de construção. Nesse contexto, foram realizadas simulações em computador para investigar as aplicações práticas de exoesqueletos em ambientes fabris virtuais (Constantinescu et al., 2016). Em conclusão, foram mencionadas diversas limitações ao nível da reconfiguração dos locais de trabalho onde são utilizados exoesqueletos. Numa situação de emergência, os edifícios devem ser evacuados rapidamente para garantir a segurança e a saúde de todos os trabalhadores. A possibilidade de remover rapidamente um exoesqueleto é, portanto, essencial. Os projetistas devem também considerar situações em que os trabalhadores possam estar sozinhos.

Em resumo, os riscos para a segurança e a saúde decorrentes da utilização de exoesqueletos podem ser estimados através de cenários, mas não podem ainda ser especificados. Uma das razões para essa dificuldade reside no facto de não haver dados científicos suficientes (Schick, 2018) e de a experiência prática ser limitada nesse domínio. Desconhecem-se, em particular, os efeitos a longo prazo dos exoesqueletos sobre o sistema musculoesquelético. Consequentemente, ainda é necessário realizar estudos abrangentes que tenham em conta aspetos pessoais, fisiológicos, médicos e biomecânicos.

## Avaliação dos exoesqueletos

As vantagens e desvantagens dos exoesqueletos são atualmente objeto de controvérsia na literatura. Em geral, representam uma área de investigação promissora para melhorar as condições ergonómicas do trabalho e reduzir as LMERT que estão frequentemente associadas à MMC (Hensel et al., 2018). No entanto, as exigências físicas associadas ao sistema musculoesquelético não são os únicos aspetos que devem ser considerados. Os exoesqueletos também podem afetar os ambientes sociais



ou influenciar outros parâmetros fisiológicos, como a tensão arterial, o consumo de oxigénio e a frequência cardíaca.

## Aspetos fisiológicos

A colocação de uma estrutura externa como um exoesqueleto no corpo de um trabalhador pode ter efeitos fisiológicos negativos. De acordo com a literatura, foi demonstrado que o peso adicional de um exoesqueleto pode aumentar o esforço a nível cardiovascular (Theurel et al., 2018), embora os efeitos ainda sejam pouco conhecidos. Um estudo anterior revelou o impacto do peso nas necessidades energéticas do trabalhador durante o movimento: foi demonstrado um consumo de oxigénio mais elevado, devido ao peso adicional a transportar. No entanto, a energia despendida depende em grande medida do género, da velocidade de marcha e do peso corporal (Holewijn et al., 1992). Em contrapartida, Whitfield et al. (2014) conseguiram provar que um auxílio ergonómico ao esforço de levantamento não aumenta o consumo de oxigénio durante tarefas repetitivas, apesar do peso adicional que o dispositivo de elevação representa para o trabalhador. Além disso, estes resultados estão em linha com as conclusões de diferentes grupos de investigação, que mostraram a inexistência de alterações na frequência cardíaca nos indivíduos que usam um dispositivo de elevação individual (Godwin et al., 2009; Lotz et al., 2009). Como conclusão sobre as aplicações industriais, Whitfield et al. (2014) sugeriram que os dispositivos de elevação individuais não deveriam ser utilizados para alargar o âmbito das tarefas de trabalho. Estas diferentes conclusões podem refletir a diversidade de exoesqueletos que foram objeto de estudo. Além da própria estrutura mecânica e função dos exoesqueletos, as tarefas de trabalho (por exemplo, as condições dinâmicas ou estáticas) também têm impacto nos custos metabólicos, sendo por esse motivo mais difícil ainda estabelecer conclusões gerais. No entanto, em condições específicas, os exoesqueletos podem reduzir a fadiga muscular e, por conseguinte, contribuir de forma significativa para melhorar a saúde dos trabalhadores, uma vez que se assume que a fadiga muscular aumenta o risco de lesões (Godwin et al., 2009; Lotz et al., 2009). O uso permanente de um meio de auxílio pode também ter efeitos negativos a longo prazo no sistema musculoesquelético. Existe a probabilidade de ocorrer uma redução da massa muscular e, consequentemente, uma redução da força corporal, mas estes efeitos estão fortemente relacionados com o nível de auxílio muscular fornecido pelo exoesqueleto.

Além disso, podem existir pontos de pressão nas zonas onde o exoesqueleto está fixado no corpo, o que pode, por sua vez, originar desconforto ao longo do tempo. A pressão externa exercida nos vasos sanguíneos por fitas ou correias pode reduzir o fluxo sanguíneo na zona correspondente do corpo. Do mesmo modo, a frequência cardíaca e a tensão arterial também podem ficar alteradas com a utilização de um exoesqueleto em condições de trabalho repetitivas. Por último, poderão surgir irritações cutâneas devido a fricções ou reações alérgicas. No entanto, estes fatores são especulativos e devem ser encarados com alguma cautela.

## Aceitação do utilizador e efeitos psicossociais

Deve ser tido em conta que, além das influências que os efeitos físicos dos exoesqueletos poderão ter no trabalhador, a aceitação deste em utilizar tal dispositivo pode igualmente ter um papel importante no ambiente de trabalho. A aceitabilidade do exoesqueleto é essencial caso estes dispositivos se destinarem a ser utilizados durante um longo período. Já foram realizados alguns estudos para avaliar a aceitação da tecnologia, em que foram tidas em conta apreciações subjetivas sobre exoesqueletos (Gilotta et al., 2018; Hensel et al., 2018). Apesar de muitos utilizadores terem uma apreciação positiva dos exoesqueletos rígidos, Hensel et al. (2018) demonstraram que o seu nível de aceitação pode diminuir ao longo do tempo e está intimamente associado ao desconforto e à facilidade (ou dificuldade) de utilização. O desconforto é um dos aspetos mais desafiadores e pode impedir uma aplicação generalizada de exoesqueletos em locais de trabalho industriais (Bosch et al., 2016). Mais uma vez, é preciso referir que estas avaliações estão fortemente relacionadas com tarefas e exoesqueletos específicos, pelo que não podem ser generalizadas. No entanto, os resultados indicam que a funcionalidade e o peso dos exoesqueletos, assim como a sua conceção ergonómica, são aspetos que devem ser considerados pelos projetistas. Além disso, os trabalhadores podem sentir-se inferiorizados ao utilizar um exoesqueleto para cumprir as suas tarefas diárias, já que o aspeto físico do desempenho também está ligado ao dispositivo. Gilotta et al. (2018) mencionaram os aspetos sociais como fatores suscetíveis de reduzir a aceitabilidade. O uso de exoesqueletos pode igualmente conduzir a um

fenómeno de estigmatização no local de trabalho, pois pode contribuir para se criar a ideia de que os trabalhadores estão dependentes desse meio auxiliar.

## Aspetos biomecânicos

Atualmente, existem numerosos estudos que demonstram que os exoesqueletos podem reduzir o stresse físico em certas partes do corpo, como as articulações do ombro ou a coluna lombar (Abdoli-E et al., 2006; Graham et al., 2009; Bosch et al., 2016; De Looze et al., 2016; Theurel et al., 2018; Weston et al., 2018). No entanto, a redistribuição do stresse físico por outras partes do corpo pode, por outro lado, submeter estas últimas a uma maior tensão se as forças não forem transferidas para o solo (Theurel et al., 2018; Weston et al., 2018). Neste contexto, Weston et al. (2018) constataram que um exoesqueleto para a parte superior do corpo aumenta a carga exercida ao nível da coluna lombar. Theurel et al. (2018) demonstraram que um exoesqueleto destinado a ser usado na parte superior do corpo pode reduzir a atividade muscular nas articulações dos ombros. No entanto, foram reportadas consequências físicas, incluindo maiores níveis de atividade muscular noutras partes do corpo ou padrões de movimento diferentes. Além disso, o peso adicional de um exoesqueleto não afeta apenas as exigências cardiovasculares, mas também desloca o centro da massa corporal, influenciando a atividade muscular do utilizador. É importante referir que os efeitos dos exoesqueletos sobre o corpo humano não podem ser generalizados. As questões levantadas pelos estudos de investigação biomecânica estão muitas vezes relacionadas com movimentos e atividades musculares muito específicos e não têm em conta todos os casos possíveis de utilização e tipos de exoesqueletos. No entanto, podem apontar para uma falta de funcionalidade devido a efeitos mecânicos de exoesqueletos específicos e as suas consequências ao nível do stresse e da tensão corporal.

## Desafios para a segurança e a saúde no trabalho

A implementação de novas tecnologias no local de trabalho envolve sempre uma avaliação crítica da SST para as partes interessadas. Regra geral, uma conceção centrada nas pessoas, tal como preconizado pela Diretiva-Quadro (89/391/CEE), é uma condição prévia fundamental. Num sentido mais estrito, tal significa que os locais de trabalho convencionais não exigem medidas adicionais. No entanto, devido à situação atual do trabalho na Europa e à relação existente entre as novas tecnologias e as doenças musculoesqueléticas, as condições ergonómicas não são óbvias. A fim de assegurar ambientes de trabalho saudáveis e eficientes, seria importante considerar a aplicação de medidas técnicas, organizacionais e individuais, conforme preconizado pela Diretiva-Quadro (89/391/CEE). Em termos de impacto ao nível da SST, a aplicação deste tipo de medidas deveria imperativamente obedecer a uma ordem hierárquica. Uma vez esgotadas todas as medidas técnicas, como a utilização de dispositivos de auxílio para levantamento de cargas ou a reconfiguração de um local de trabalho, por exemplo, devem ser tidos em conta aspetos organizacionais, como a reformulação dos processos de trabalho. Por último, podem considerar-se medidas individuais para proteger os trabalhadores.

Tal como referido anteriormente, os exoesqueletos podem ser considerados dispositivos técnicos ou médicos e podem também ser definidos como equipamentos de proteção. A sua classificação depende fortemente da sua aplicação, conceção e utilização prevista. Assim, atualmente os exoesqueletos só podem ser avaliados caso a caso. Na prática, é possível conceber que os exoesqueletos sejam utilizados como dispositivos técnicos para facilitar processos de trabalho. No entanto, se forem utilizados para melhorar a conceção de um local de trabalho em que é necessário introduzir medidas ergonómicas para proteger os trabalhadores contra lesões resultantes de esforços excessivos, os exoesqueletos devem ser considerados como EPI.

No futuro, a avaliação dos exoesqueletos deverá ser integrada na abordagem ergonómica tradicional (conceção centrada no ser humano), uma vez que têm impacto nas situações de trabalho e nos aspetos organizacionais.

## Os trabalhadores

Os requisitos funcionais para os trabalhadores dependem da classificação específica do exoesqueleto em questão. Se forem certificados como dispositivos técnicos, os exoesqueletos estão intimamente associados aos locais de trabalho e não podem ser usados em todas as situações de trabalho



possíveis, a menos que tenham sido validados para esse efeito. Contudo, os dispositivos técnicos não são medidas individuais e a sua utilização é voluntária. Se um exoesqueleto for certificado como um EPI, a sua utilização é exigida por lei. Neste caso, o trabalhador deve estar equipado com um exoesqueleto enquanto estiver exposto a um maior volume de trabalho.

## Os empregadores

Durante e após a fase de implementação de exoesqueletos, os empregadores devem ter em conta diferentes aspetos. Em comparação com os dispositivos de auxílio técnicos, os requisitos de higiene aplicáveis aos EPI são mais abrangentes. Neste caso, a utilização de um exoesqueleto torna-se obrigatória. Para satisfazer estas exigências, todos os trabalhadores que desempenhem as suas tarefas num local que requeira o uso de um exoesqueleto sob a forma de EPI devem estar equipados com um exoesqueleto, o que pode causar problemas em termos de logística de armazenamento. Além disso, existem outros aspetos a considerar, como as adaptações necessárias, as LMERT, o impacto ao nível da capacidade cardiovascular e o desempenho. Além disso, é preciso prever meios de limpeza ou máquinas de lavar em número suficiente para cumprir as normas de higiene. Os exoesqueletos definidos como auxílio técnico são opcionais e não têm de ser disponibilizados a todos os trabalhadores no local de trabalho. No entanto, quando utilizados, devem ser vistos como um auxílio (apoio) e não como um meio destinado a melhorar o desempenho ou a eficiência dos trabalhadores.

## Decisores políticos

No futuro, na regulamentação relativa aos exoesqueletos, os decisores políticos deverão ter em conta os seus aspetos técnicos e a sua aplicação, a fim de facilitar o processo de certificação de novas tecnologias nesse domínio. Isso permitirá aos fabricantes classificar de forma mais clara os seus produtos e os empregadores poderão utilizar os exoesqueletos para o fim a que se destinam. No entanto, importa referir que a utilização prevista do produto e a correspondente certificação são sempre da responsabilidade do fabricante.

## Síntese

O tema dos exoesqueletos suscita atualmente um interesse considerável. No entanto, apesar do seu potencial aparentemente promissor, a aplicação de exoesqueletos em domínios tão vastos e diversos deve ser questionada. Está por esclarecer se os exoesqueletos serão, ou não, extensivamente utilizados no futuro para proteger os trabalhadores de lesões resultantes de sobrecargas ou como forma de poupar recursos nos processos de trabalho. Dependendo da evolução técnica, os exoesqueletos poderão tornar-se uma ferramenta generalizada em processos de trabalho manuais ou permanecer um produto de nicho para aplicações muito específicas. No entanto, o atual interesse comercial nos exoesqueletos pode, por outro lado, desvirtuar o desenvolvimento futuro nesse domínio, uma vez que se corre o risco de privilegiar abordagens mais orientadas para o desempenho ou para a rentabilidade económica, em detrimento da segurança no trabalho. Não obstante, os exoesqueletos podem ser aplicados como dispositivos técnicos, médicos ou de proteção individual, dependendo da sua utilização prevista no local de trabalho. Contudo, devido à variedade na funcionalidade, na conceção e na aplicação, não existe uma definição uniforme, o que dificulta a sua aplicação prática no que respeita à certificação. Apesar de existirem numerosos estudos sobre os exoesqueletos que têm em conta diferentes aspetos de facilidade de utilização e funcionalidade, os efeitos na saúde dos trabalhadores são atualmente pouco conhecidos. Em particular, desconhecem-se os efeitos a longo prazo dos exoesqueletos nos parâmetros fisiológico, psicossocial e biomecânico. Os estudos futuros destas questões deveriam abordar os efeitos a longo prazo e numa ótica prática que os exoesqueletos exercem no local de trabalho, a fim de obter resultados mais fiáveis. É importante referir que não é possível recomendar a utilização de exoesqueletos para melhorar a ergonomia de locais de trabalho fixos, mas que existem também numerosos postos de trabalho não fixos ou móveis em que não é possível introduzir medidas ergonómicas. Neste contexto, os exoesqueletos podem oferecer uma abordagem promissora para reduzir as LMERT no futuro.

*Autores: Peters, M. e Wischniewski, S. (2019). Federal Institute for Occupational Safety and Health, Friedrich-Henkel-Weg 1-25, 44149 Dortmund, Alemanha.*

*Gestão do projeto: Annick Starren, Emmanuelle Brun, Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho (EU-OSHA), 2019*

*Agradecemos ao Dr. Lars Adolph, ao Professor Dr. Ute Latza e aos pontos focais da EU-OSHA as suas análises críticas e sugestões úteis. Gostaríamos também de agradecer à EUROFOUND pela utilização das ilustrações contidas neste documento.*

*Este artigo foi encomendado pela Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho (EU-OSHA). O seu conteúdo, incluindo quaisquer opiniões e/ou conclusões expressas, são da responsabilidade exclusiva dos seus autores e não refletem necessariamente os pontos de vista da EU-OSHA.*

## Referências

- 89/391/CEE. Diretiva 89/391/CEE do Conselho, de 12 de junho de 1989, relativa à aplicação de medidas destinadas a promover a melhoria da segurança e da saúde dos trabalhadores no trabalho. Conselho das Comunidades Europeias.
- 89/686/CEE. Diretiva 89/686/CEE do Conselho, de 21 de dezembro de 1989, relativa à aproximação das legislações dos Estados-Membros respeitantes aos equipamentos de proteção individual. Conselho das Comunidades Europeias.
- 93/42/CEE. Diretiva 93/42/CEE do Conselho, de 14 de junho de 1993, relativa aos dispositivos médicos. Conselho das Comunidades Europeias.
- 2006/42/CE. Diretiva 2006/42/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 17 de maio de 2006, relativa às máquinas e que altera a Diretiva 95/16/CE (reformulação). Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia.
- 2016/425. Regulamento (UE) 2016/425 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 9 de março de 2016, relativo aos equipamentos de proteção individual e que revoga a Diretiva 89/686/CEE do Conselho. Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia.
- Abdoli-E, M., Agnew, M. J. e Stevenson, J. M. (2006). An on-body personal lift augmentation device (PLAD) reduces EMG amplitude of erector spinae during lifting tasks. *Clinical Biomechanics*, 21 (5), 456-465.
- Baltrusch, S. J., van Dieën, J. H., van Bennekom, C. A. M. e Houdijk, H. (2018). The effect of a passive trunk exoskeleton on functional performance in healthy individuals. *Applied Ergonomics*, 72, 94-106.
- Bevan, S. (2015). Economic impact of musculoskeletal disorders (MSDs) on work in Europe. *Best Practice & Research in Clinical Rheumatology*, 29 (3), 356-373.
- Bosch, T., van Eck, J., Knitel, K. e de Looze, M. (2016). The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work. *Applied Ergonomics*, 54, 212-217.
- Collins, J. D. and O'Sullivan, L. W. (2015). Musculoskeletal disorder prevalence and psychosocial risk exposures by age and gender in a cohort of office based employees in two academic institutions. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 46, 85-97.
- Constantinescu, C., Muresan, P.-C. e Simon, G.-M. (2016). JackEx: the new digital manufacturing resource for optimization of exoskeleton-based factory environments. *Procedia CIRP*, 50, 508-511.
- De Looze, M. P., Bosch, T., Krause, F., Stadler, K. S. e O'Sullivan, L. W. (2016). Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics*, 59 (5), 671-681.
- INRS. (2018). Exosquelettes au travail: impact sur la santé et la sécurité des opérateurs - état des connaissances. Paris: Institut National de Recherche et de Sécurité. Acedido no sítio Web do INRS: <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206311>
- INRS. (2019). Acquisition et integration d'un exosquelette en entreprise: Guide pour les préventeurs. Paris: Institut National de Recherche et de Sécurité. Acedido no sítio Web do INRS: <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206315>
- Eurofound. (2012). *Quinto Inquérito Europeu sobre as Condições de Trabalho*. Luxemburgo: Serviço das Publicações da União Europeia.
- Eurofound. (2019). *Inquérito Europeu sobre as Condições de Trabalho 2015*. Bruxelas: Eurofound. Acedido no sítio Web da Eurofound: <https://www.eurofound.europa.eu/pt/data/european-working-conditions-survey>.
- Gams, A., Petrič, T., Debevec, T. e Babič, J. (2013). Effects of robotic knee exoskeleton on human energy expenditure. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 60 (6), 1636-1644.
- Gilotta, S., Spada, S., Ghibaud, L., Isoardi, M. e Mosso, C. (2018). *Acceptability beyond Usability: A Manufacturing Case Study*. Documento apresentado no Congresso da Associação Internacional de Ergonomia.



- Godwin, A. A., Stevenson, J. M., Agnew, M. J., Twiddy, A. L., Abdoli-Eramaki, M. e Lotz, C. A. (2009). Testing the efficacy of an ergonomic lifting aid at diminishing muscular fatigue in women over a prolonged period of lifting. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39 (1), 121-126.
- Gopura, R. A. R. C. e Kiguchi, K. (2009). *Mechanical Designs of Active Upper-limb Exoskeleton Robots: State-of-the-art and Design Difficulties*. Documento apresentado na ICORR 2009: 11.<sup>a</sup> Conferência Internacional da IEEE sobre Robótica de Reabilitação.
- Graham, R. B., Agnew, M. J. e Stevenson, J. M. (2009). Effectiveness of an on-body lifting aid at reducing low back physical demands during an automotive assembly task: assessment of EMG response and user acceptability. *Applied Ergonomics*, 40 (5), 936-942.
- Hensel, R., Keil, M., Mücke, B. e Weiler, S. (2018). Chancen und Risiken für den Betrieblichen Einsatz von Exoskeletten in der betrieblichen Praxis. *ASU Zeitschrift für medizinische Prävention*, 53, 654-661.
- Herr, H. (2009). Exoskeletons and orthoses: classification, design challenges and future directions. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 6 (21).
- Holewijn, M., Hens, R. e Wammes, L. (1992). Physiological strain due to load carrying in heavy footwear. *European Journal of Applied Physiology Occupational Physiology*, 65 (2), 129-134.
- ISO 10218-1:2011. Robôs e dispositivos robóticos — Requisitos de segurança — Parte 1: Robôs industriais. Genebra: Organização Internacional de Normalização.
- ISO 13482:2014. Robôs e dispositivos robóticos — Requisitos de segurança para robôs de assistência pessoal. Genebra: Organização Internacional de Normalização.
- ISO/TS 15066:2016. Robôs e dispositivos robóticos — Robôs colaborativos. Genebra: Organização Internacional de Normalização.
- Kim, S., Nussbaum, M. A., Mokhlespour Esfahani, M. I., Alemi, M. M., Jia, B. e Rashedi, E. (2018). Assessing the influence of a passive, upper extremity exoskeletal vest for tasks requiring arm elevation: part II — ‘unexpected’ effects on shoulder motion, balance, and spine loading. *Applied Ergonomics*, 70, 323-330.
- Liedtke, M. e Glitsch, U. (2018). Exoskelette — Verordnung für persönliche Schutzausrüstung. *sicher ist sicher*, 3, 110-113.
- Lotz, C. A., Agnew, M. J., Godwin, A. A. e Stevenson, J. M. (2009). The effect of an on-body personal lift assist device (PLAD) on fatigue during a repetitive lifting task. *Journal of Electromyography Kinesiology*, 19 (2), 331-340.
- Schick, R. (2018). Einsatz von Exoskeletten in der Arbeitswelt. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, 68 (5), 266-269.
- Theurel, J., Desbrosses, K., Roux, T. e Savescu, A. (2018). Physiological consequences of using an upper limb exoskeleton during manual handling tasks. *Applied Ergonomics*, 67, 211-217.
- Viteckova, S., Kutilek, P. e Jirina, M. (2013). Wearable lower limb robotics: a review. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 33 (2), 96-105.
- Weston, E. B., Alizadeh, M., Knapik, G. G., Wang, X. e Marras, W. S. (2018). Biomechanical evaluation of exoskeleton use on loading of the lumbar spine. *Applied Ergonomics*, 68, 101-108.
- Whitfield, B. H., Costigan, P. A., Stevenson, J. M. e Smallman, C. L. (2014). Effect of an on-body ergonomic aid on oxygen consumption during a repetitive lifting task. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44 (1), 39-44.
- Yang, C., Zhang, J., Chen, Y., Dong, Y. e Zhang, Y. (2008). A review of exoskeleton-type systems and their key technologies. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 222 (8), 1599-1612.
- Zurada, J. (2012). Classifying the risk of work related low back disorders due to manual material handling tasks. *Expert Systems with Applications*, 39 (12), 11125-11134.