

## PROJETO DE MEMBROS SUPERIORES DE UM EXOESQUELETO INDUSTRIAL

Ismael Anildo Kaiser (UPF) – [141982@upf.br](mailto:141982@upf.br)

Wu Xiao Bing (UPF) - [wu@upf.br](mailto:wu@upf.br)

**Resumo:** Exoesqueletos são dispositivos ergonômicos que copiam os movimentos do corpo humano, com o objetivo de recuperar ou melhorar as capacidades físicas humanas. Neste projeto, estuda-se o desenvolvimento de um exoesqueleto para membros superiores. O objetivo do exoesqueleto é copiar o mais próximo possível da realidade os movimentos humanos, sem que haja atrito nas juntas, garantindo o livre movimento por parte do operador e ao mesmo tempo garantindo a rigidez necessária para suportar os pesos que podem ser carregados pelo usuário. No final do projeto, concluímos que o exoesqueleto supre as necessidades impostas para o dispositivo.

**Palavras chave:** Exoesqueleto Industrial, Ergonomia, Indústria 4.0.

## DESIGN OF TOP MEMBERS OF AN INDUSTRIAL EXOSKELET

**Abstract:** Exoskeletons are ergonomic devices that copy the movements of the human body in order to restore or improve human physical capabilities. In this project, we study the development of an exoskeleton for upper limbs. The goal of the exoskeleton is to copy human movements as close as possible to reality, without any friction in the joints, ensuring free movement on the part of the operator while ensuring the rigidity required to support the weights that can be carried by the user. At the end of the project, we concluded that the exoskeleton meets the needs imposed on the device.

**Key-words:** Industrial Exoskeleton, Ergonomics, Industry 4.0.

### 1. Introdução

A indústria 4.0 ou a quarta revolução industrial se resume na integração de objetos físicos, interações humanas, máquinas inteligentes, processos e linhas de produção tendo como resultado uma nova cadeia de valores, inteligente, conectada e ágil (SCHUMACHER et al., 2016, p. 2), porém, como consequência permite a descentralização no método de produção atual e a necessidade de um ajuste na demanda para a otimização dos processos. Em contrapartida, temos a possibilidade de intervir em trabalhos com alto risco por meio de máquinas sofisticadas, robôs auxiliares e ainda dispositivos ergonômicos evoluídos tecnologicamente para que possam respectivamente, substituir o homem ou trabalhar em conjunto para auxiliar o trabalhador nas suas tarefas. Tendo como consequência uma maior produtividade e um menor índice de lesões relacionadas as atividades do trabalho.

Mesmo com todos os esforços que veem sendo desenvolvidos para melhorar a qualidade de vida dos trabalhadores industriais, ainda há muitas coisas que precisam ser corrigidas. Um ponto em que deve-se olhar com mais atenção é com relação a ergonomia, a qual é a maior responsável por problemas relacionadas ao ombro.

De acordo com (MENDONÇA & ASSUNÇÃO, 2005, p. 175), pode-se afirmar que os distúrbios do ombro são influenciados por fatores biomecânicos relacionados ao trabalho, como flexão

ou abdução dos ombros por tempo prolongado, vibrações, postura estática ou com carga no membro superior.

Levando em consideração que a quarta revolução industrial necessite de mão de obra qualificada e assim possui um alto custo de implantação nas empresas, talvez o sistema demore para alcançar o setor industrial brasileiro (SILVEIRA, 2017, p. 2) e ao mesmo tempo o sistema exija que postos de trabalho que não são ergonômicos e que ofereça alto risco a saúde do trabalhador, propõem-se então o uso de meios alternativos para suprir essa necessidade como, dispositivos ergonômicos de uso externo chamados de exoesqueletos.

De acordo com (MIRANDA, 2014, p. 1), exoesqueletos são mecanismos artificiais que aumentam ou restauram as capacidades físicas humanas, o maior desafio é a união ao corpo humano sem que haja forças hiperestáticas, manter na posição relativa desejada e a implementação de controle de cooperação com os movimentos humanos.

O intuito deste trabalho foi desenvolver um exoesqueleto de membros superiores, projetado em ambiente virtual, que copie e valide os movimentos do braço humano e que suporte cargas maiores que um humano possa aguentar, por tempo ininterrupto de maneira continua sem que haja esforço físico por parte do usuário. Desta forma, evita-se lesões físicas e o desgaste prematuro nas juntas dos ombros ou cotovelos.

## 2. Metodologia

Iniciou-se o estudo do projeto organizando as idéias pelo método de Pahl e Beitz, seguindo o fluxograma (ver, por exemplo, Figura 1) um método clássico na área de projeto de produtos industriais e que vem sendo utilizado para várias pesquisas (BORGES & RODRIGUES, 2010, p. 272).

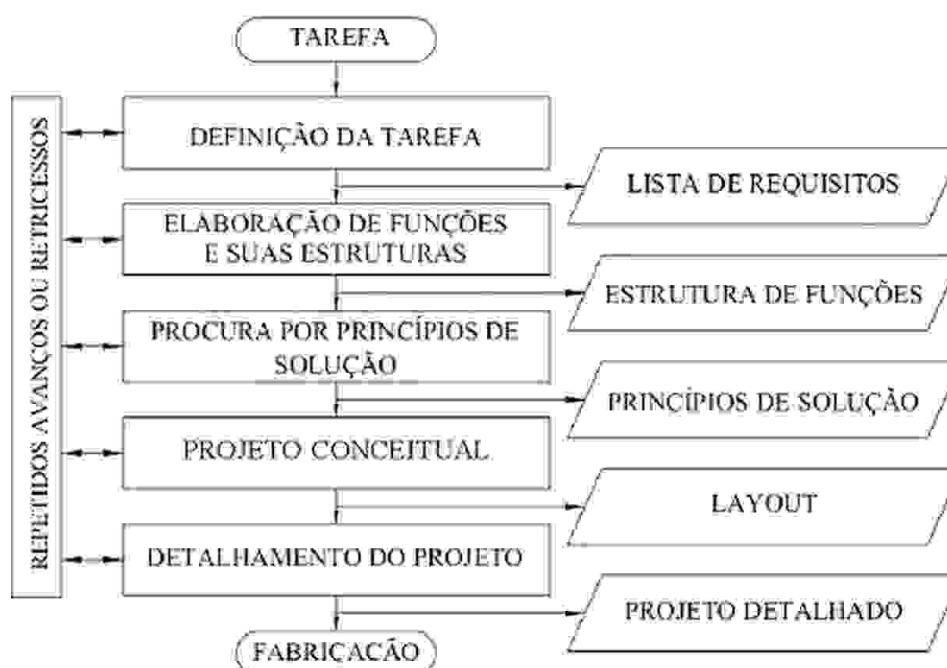


Figura 1 – Fluxograma para desenvolvimento de projeto Pahl e Beitz.

A análise deu-se início com a definição da tarefa, após estudou-se quais os requisitos de projeto que o exoesqueleto deveria cumprir, onde verificou-se que é necessário que o exoesqueleto copie os movimentos dos braços humanos o mais próximo possível da realidade (ver, por exemplo, Figura 2).

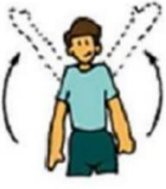



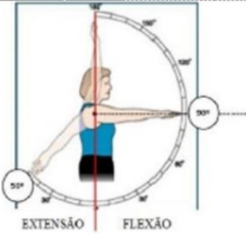




Em torno do plano	Movimentos Obtidos Ombros	
Frontal	Abdução	Adução
		
Longitudinal	Flexão	Extensão
		
		
Transversal	Rotação Interna	Rotação Externa
		
Em torno do plano	Movimentos Obtidos Cotovelo	
Flexão/Extensão	 Flexão	 Extensão

Figura 2 – Movimentos possíveis dos braços em torno do plano.

Com a tarefa definida e os requisitos que o exoesqueleto deveria atender, consideramos quais as restrições que esses requisitos causariam e buscamos soluções que atenderiam os mesmos.

Concluiu-se então que o exoesqueleto precisaria de uma estrutura com 4 graus de liberdade (GDL's) para que todos esses movimentos impostos fossem atendidos. Para isso as rotações nas juntas que farão os ligamentos de cada peça devem ser perfeitamente livres, sem atrito, para que não haja nenhuma força contrária ao movimento que esta sendo feito, assim garantindo o conforto para o usuário durante a jornada de trabalho.

O resultado dessa fase foi o conceito básico do exoesqueleto, ou seja, a definição dos princípios de funcionamento das juntas do dispositivo. Partindo do conceito do exoesqueleto, definiram-se o seu layout do protótipo e forma dos seus componentes no *software SolidWorks 2018*. Nessa fase preparou-se o desenho detalhado da peça, definindo todas as suas dimensões, selecionando qual o material para uma possível fabricação.

### 3. Projeto dos Membros Superiores

Considerando que a estatura média da população brasileira é de 1,76 m para homens e 1,63 m para mulheres (FIGUEIROA et al., 2012, p. 1290), criou-se um suporte com dimensões normais adaptada a media dessas estaturas, contando com regulagem de altura para o encosto do lombar tanto para cima quanto para baixo, isso garante uma alta compatibilidade do dispositivo com vários usuários, além de priorizar o conforto principalmente quando houver cargas de peso atuando no suporte e também a correta postura da coluna. O suporte conta com um ponto de fixação para outro dispositivo, uma coluna que fará a transferência das forças para os membros inferiores, caracterizando o exoesqueleto como uma estrutura modular que pode trabalhar independente ou conectada a outros dispositivos, além de vários pontos de apoio para amarrar o suporte ao corpo por meio de fivelas (ver, por exemplo, Figura 3).

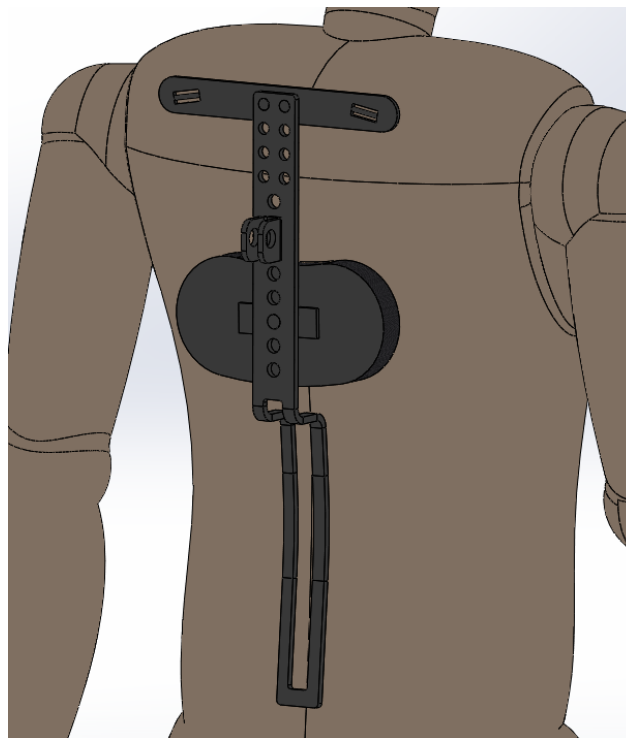


Figura 3 - Suporte da coluna com regulagem de altura.

No ponto superior do suporte encaixa-se uma treliça responsável em fazer a ligação dos braços em relação aos ombros, também com vários pontos de regulagem tendo em vista que as dimensões de ombro a ombro variam de pessoa para pessoa. Nesta peça, correm os suportes que farão a sustentação das dobradiças do braço, onde essas serão presas por um parafuso de fácil remoção (ver, por exemplo, Figura 4)

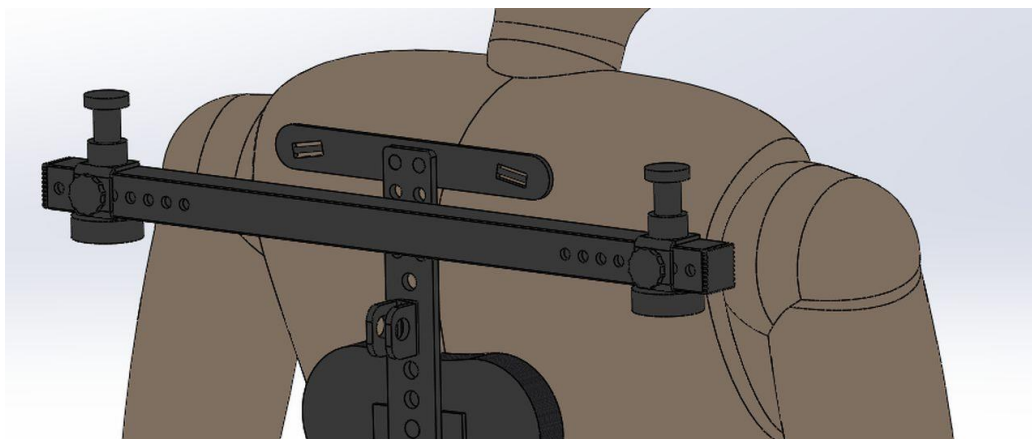


Figura 4 - Treliça com regulagem.

Para que o movimento de flexão e extensão do braço seja possível, desenvolveu-se duas dobradiças que permitirão o livre movimento. As dobradiças possuem duas junções que permitirá a execução de dois momentos ( $M_o$ ) e que utilizarão fusos de esferas devido ao fato que nesse local deve ser uma conexão livre de folgas, extremamente precisa e sem atrito, assim o peso que virá proveniente da conexão com os braços serão transferidos para o suporte sem que aconteça o travamento das junções, conseqüentemente o travamento da movimentação dos braços (ver, por exemplo, Figura 5).

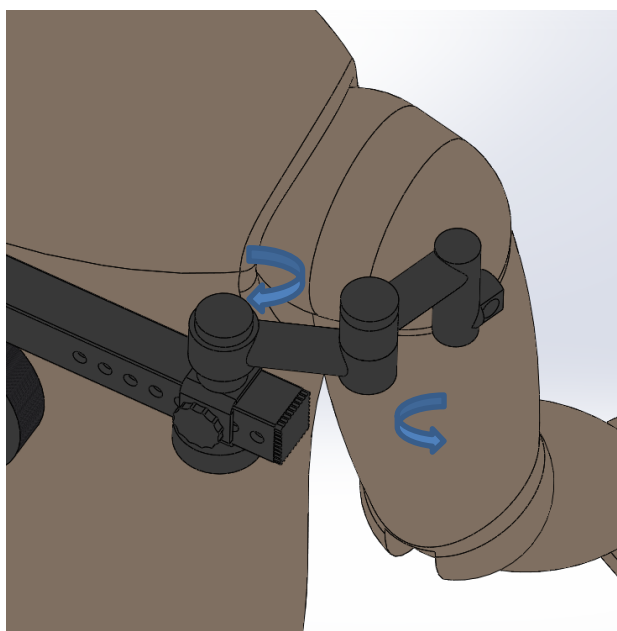


Figura 5 - Dobradiças, conexão por fusos esféricos com a indicação dos momentos ( $M_o$ ) possíveis.

Para a rotação interna e externa e os movimentos laterais de abdução e adução dos ombros, elaborou-se um uma conexão do tipo trizeta que também utilizará um fuso esférico, permitindo o livre movimento dos braços, esse tipo de conexão tem como característica suportar grandes quantidades de pesos, garantindo também a movimentação livre de atrito (ver, por exemplo, Figura 6).

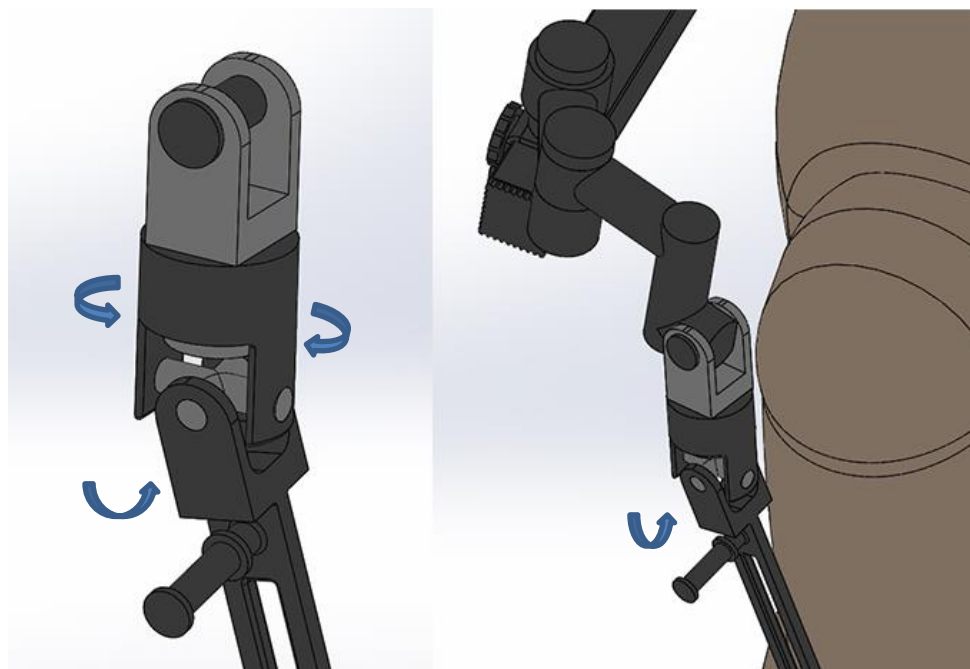


Figura 6 - Conexão do tipo trizeta com a indicação dos momentos ( $M_o$ ) possíveis.

Para o antebraço, desenvolveu-se uma peça com um suporte preparado para a instalação de um pistão linear elástico, o qual será usado para fazer o levantamento e a sustentação do peso, essa peça possui um comprimento linear de 280 mm. Para uma boa fixação, garantindo que o exoesqueleto mantenha a posição relativa ao corpo desejada o componente esta preparado para utilizar fivelas de aperto rápido como velcros (ver, por exemplo, Figura 7).



Figura 7 – Antebraço com suporte preparado para receber pistão linear e fivela de amarração.

Para o braço, criou-se uma peça também com um suporte preparado para receber a conexão do pistão linear, essa fará o movimento da alavanca oriundo da força do pistão para suspender a carga, essa peça possui um comprimento de 250 mm. Conseqüentemente, para uma boa fixação, garantindo que o exoesqueleto mantenha a posição relativa ao corpo desejada o componente também está preparado para utilizar fivelas de aperto rápido como velcros (ver, por exemplo, Figura 8).

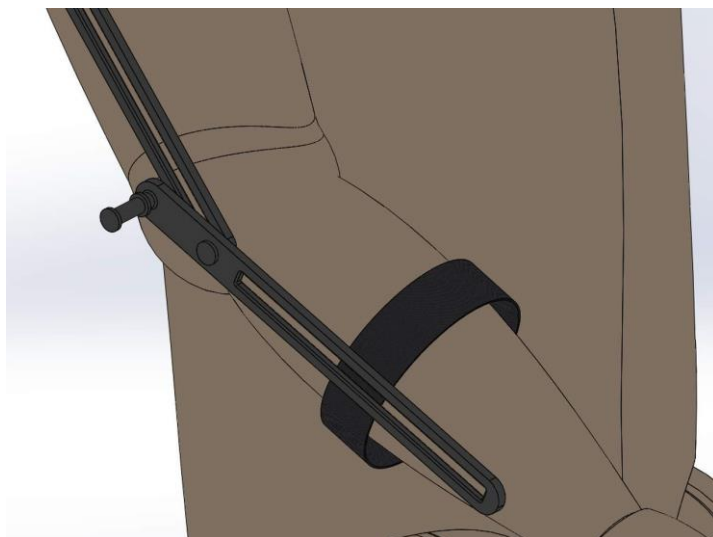


Figura 8 – Braço com suporte preparado para receber pistão linear e fivela de amarração.

O dispositivo que fará o levantamento e a suspensão dos pesos é denominado de pistão linear elástico, o componente contará com 1 motor DC, um sistema de molas que armazenarão energia e liberarão quando tiver peso nos braços e uma rosca sem fim que fará o movimento de rotação e passará a energia para as molas, comprimindo e descomprimindo o pistão. A peça tem um tamanho de 200 mm quando recolhido e de 375 mm quando aberto até o seu fim de curso (ver, por exemplo, Figura 9 e 10).

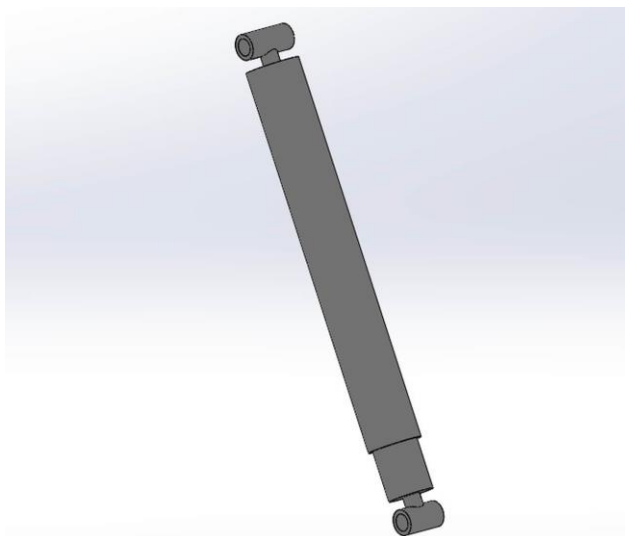


Figura 9 – Pistão elástico linear recolhido.

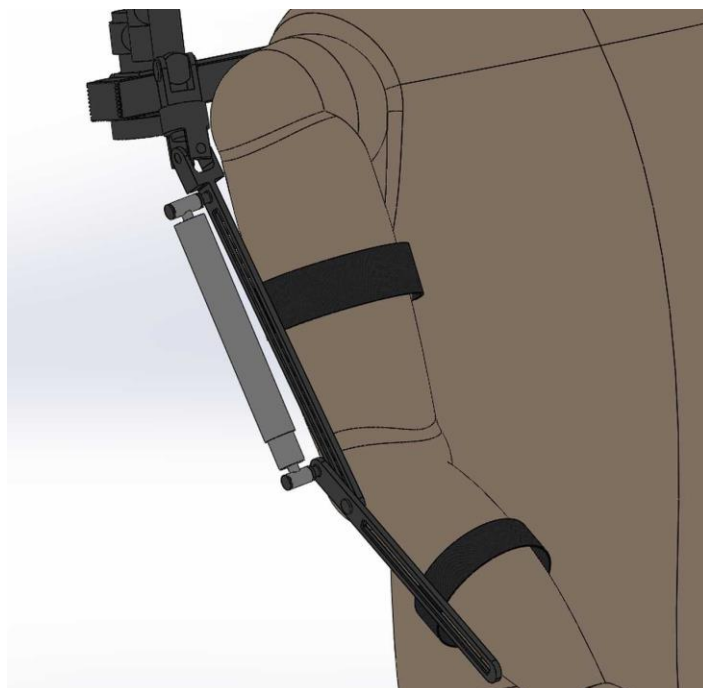


Figura 10 – Pistão elástico linear montado no exoesqueleto.

Criou-se um suporte de fixação para o peitoral com engates rápidos de (velcro) onde se conecta no suporte da coluna na parte superior e inferior, assim o exoesqueleto permanece na posição relativa desejada tendo uma distribuição de forças por igual em toda a estrutura sem que as mesmas passem para o operador (ver por exemplo, Figura 11).



Figura 11 – Suporte peitoral.



Por fim, temos o projeto detalhado com todas as peças montadas em seus devidos lugares, dando a ideia de como será a estrutura (ver, por exemplo, Figura 12).



Figura 12 – Projeto detalhado montado.

#### 4. Conclusão

Neste trabalho foi desenvolvido um protótipo virtual de um exoesqueleto industrial de membros superiores no software SolidWorks 2018. O objetivo do projeto foi desenvolver um exoesqueleto que copie os movimentos humanos, deixando o usuário livre, com o maior número de graus de liberdades possíveis.

A estrutura foi preparada para receber um pistão linear elástico que suporte e realize o levantamento de pesos sem que haja nenhum esforço físico por parte do operador, além de sua estrutura ser modular, ou seja, pode trabalhar independentemente ou conectado a outro dispositivo como, uma coluna que transfira as forças para os membros inferiores.

Para a execução do projeto, utilizamos a metodologia de desenvolvimento de produto de Pahl e Beitz, desde a definição da tarefa até o projeto conceitual.

O resultado que obtivemos foi um exoesqueleto em ambiente virtual que copia perfeitamente os movimentos dos braços humanos e ao mesmo tempo possui a rigidez necessária para o carregamento e sustentação de pesos.

## Referências

BORGES, F.; RODRIGUES, C. **Pontos passíveis de melhoria no método de projeto de produto de Pahl e Beitz**. Gest. Prod., São Carlos, v. 17, n. 2, p. 271-281, 2010.

MENDONÇA, H. P. Jr. **Associação entre distúrbios do ombro e trabalho: breve revisão da literatura**. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbepid/v8n2/09.pdf>>

MIRANDA, A.B.W. **Exoesqueleto robótico de membro superior com três graus de liberdade ativos (2014)**. Disponível em: < <https://bdpi.usp.br/item/002876607>>

MOURA, G. C. de M. **Citação de referências e documentos eletrônicos**. Disponível em: <<http://www.elogica.com.br/users/gmoura/refere.html>>

SCHUMACHER, A. **A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises**. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116307909>>

SILVEIRA, C. B. **O Que é Indústria 4.0 e Como Ela Vai Impactar o Mundo**. Disponível em: < <https://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>>