

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
**Luigi Aleandro Fogaça Calabrez**  
**Talmo Gabriel Durante de Oliveira**

**BIOMECÂNICA**  
**DESENVOLVIMENTO DE UM EXOESQUELETO**  
**ROBÓTICO VISANDO AUXILIAR MEMBROS**  
**SUPERIORES.**

**Taubaté - SP**  
**2018**

**Luigi Aleandro Fogaça Calabrez  
Talmo Gabriel Durante de Oliveira**

**BIOMECÂNICA  
DESENVOLVIMENTO DE UM EXOESQUELETO  
ROBÓTICO VISANDO AUXILIAR MEMBROS  
SUPERIORES.**

Trabalho de Graduação apresentado para  
obtenção do Certificado de Graduação do  
curso de Engenharia mecânica do  
Departamento de Engenharia Mecânica  
da Universidade de Taubaté.

Orientador(a): Prof<sup>a</sup> Maria Regina Hidalgo  
de Oliveira Lindgren

**Taubaté – SP  
2018**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado  
de Bibliotecas / UnitaU - Biblioteca das Engenharias**

O482b Oliveira, Talmo Gabriel Durante de  
Biomecânica: desenvolvimento de um exoesqueleto  
robótico visando auxiliar membros superiores. / Talmo Gabriel  
Durante de Oliveira, Luigi Aleandro Fogaça Calabrez. - 2018.  
36f. : il; 30 cm.  
Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) –  
Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia  
Mecânica e Elétrica, 2018  
Orientador: Profa. Ma. Maria Regina Hidalgo de Oliveira  
Lindgren, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica.  
1. Evolução tecnológica. 2. Biomecânica. 3.  
Exoesqueleto. I. Título.

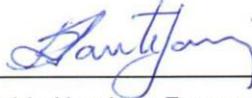
**Luigi Aleandro Fogaça Calabrez  
Talmo Gabriel Durante de Oliveira**

Biomecânica

Desenvolvimento de um exoesqueleto robótico visando auxiliar membros superiores.

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO APROVADO COMO PARTE  
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUADO EM  
**ENGENHARIA MECANICA**"

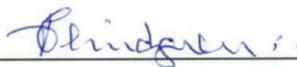
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



---

Prof. Fabio Henrique Fonseca Santejani  
Coordenador de Trabalho de Graduação

**BANCA EXAMINADORA:**



---

Prof. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



---

Prof. Paulo Cesar Corrêa Lindgren  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Taubaté – SP

2018

Dedico este trabalho aos nossos familiares e amigos que  
sempre acreditaram em nós e nos deram total apoio.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradecemos a Deus, nossa fonte da vida e graça.

Agradecemos aos nossos pais e familiares que sempre acreditaram em nós, nos fortalecendo em todos esses anos para nos tornarmos o que somos hoje.

Aos nossos amigos e colegas de graduação que passaram por todos os obstáculos juntos com nós.

A nossa orientadora, Prof.<sup>a</sup>. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren por todo o incentivo e motivação na orientação deste trabalho.

Ao nosso convidado Professor Paulo Cesar Correa Lindgren por aceitar compor a banca examinadora.

À todos os funcionários da universidade pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar.

“Em todas as coisas o sucesso depende de uma  
preparação prévia, e sem tal preparação o falhanço  
é certo.”  
(CONFÚCIO)

## RESUMO

A constante evolução tecnológica vem trazendo diversos benefícios para a vida humana, a qual vem provando ter enorme potencial para sanar inúmeras adversidades na área da biomecânica. Uma dessas evoluções é a aplicação de máquinas que possam promover o aumento da força do ser humano, através de uma combinação entre máquina e homem, esta máquina é denominada como exoesqueleto.

O presente trabalho oportuniza o estudo para desenvolvimento de um exoesqueleto robótico visando auxiliar os membros superiores nos aspectos relacionados ao levantamento, transporte e descarga de materiais. Sempre em conformidade com a legislação de especifica (norma regulamentadora 17) do ministério do trabalho e emprego (MTE), este estudo, se propõem a analisar as condições ergonômica da atividade de transporte manual de cargas em diversas áreas, a partir da análise, sugerir medidas preventivas para melhorar o ambiente de trabalho e a qualidade de vida dos trabalhadores.

Espelhados na metodologia de Itiro Lida mentor do livro Ergonomia Projeto e Produção, e também pelo designer Bernd Lobach especialista em desenvolvimento de produto em grande escala industrial, impactando na sua redução de custos sem que o projeto perca suas principais características funcionais, formais, estética e ergométrica, suprimindo assim as necessidades especificadas de cada usuário e gerando seus devidos benefícios relacionados a cada função do exoesqueleto.

**Palavras-chave:** Evolução tecnológica, biomecânica, exoesqueleto.

## **ABSTRACT**

The constant technological evolution has brought several benefits to human life, which has proven to have enormous potential to cure innumerable adversities in the area of biomechanics. One of these evolutions is the application of machines that can promote the increase of human strength, through a combination between machine and man, this machine is called exoskeleton.

The present work makes possible the study for the development of a robotic exoskeleton in order to assist the upper limbs in the aspects related to the lifting, transport and discharge of materials. Always in accordance with the specific legislation (regulation 17) of the Ministry of Labor and Employment (MTE), this study, propose to analyze the ergonomic conditions of the activity of manual transport of cargo in various areas, from the analysis, suggest preventive measures to improve the working environment and the quality of life of workers.

Mirrored in the methodology of Itiro Lida mentor of the book Ergonomics Design and Production, and also by designer Bernd Lobach specialist in large-scale industrial product development, impacting on its cost reduction without the project losing its main functional, formal, aesthetic and ergonometer, thus supplying the specified needs of each user and generating their due benefits related to each function of the exoskeleton

**KEYWORDS:** technological evolution, biomechanics, exoskeleton.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exoesqueleto com Kit .....	21
Figura 2 – Robo-Mate.....	22
Figura 3 – NeReBot .....	23
Figura 4 – Dispositivos de reabilitação Armeo.....	24
Figura 5 – Exoesqueleto usando atuadores pneumáticos.....	24
Figura 6 – BLEEX.....	25
Figura 7 - Estrutura básica do exoesqueleto e principais forças.....	28
Figura 8 - Foto de um cilindro pneumático CMPC da empresa Metal Work.....	29
Figura 9 - Ilustração do exoesqueleto.....	30
Figura 10 - Foto da estrutura traseira da armação.....	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados do cilindro.....	29
-----------------------------------	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Fext	Força do Peso da Carga Externa
Fc	Força do Cilindro Pneumático
B1	Barra 1
B2	Barra 2
l2	Comprimento da Barra 2

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Cálculo do Torque no ponto E .....	28
Equação 2 – Cálculo do Torque no ponto F.....	28
Equação 3 – Cálculo do Torque Máximo .....	29

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1 OBJETIVOS .....	15
1.1.1 Objetivo Geral .....	15
1.1.2 Objetivo Especifico .....	16
1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO .....	16
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	16
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
2.1 O MANUSEIO DE CARGAS NA INDÚSTRIA .....	17
2.2 DIFICULDADES E LESÕES CAUSADAS PELO MANUSEIO DE CARGAS .....	17
2.3 A ERGONOMIA E OS ESFORÇOS COM OS MEMBROS SUPERIORES .....	18
2.4 A ORIGEM E A EVOLUÇÃO DO EXOESQUELETO .....	19
2.5 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS GERAIS DO EXOESQUELETO .....	20
2.6 PRINCIPAIS EMPREGOS DO EXOESQUELETO .....	20
2.7 AVANÇOS TECNOLÓGICOS E OS EXOESQUELETOS ROBÓTICOS .....	22
2.8 PROTÓTIPO .....	25
<b>3 ESTUDO PARA DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DE CONCEITO</b> .....	<b>27</b>
3.1 SISTEMA PNEUMÁTICO DE ATUAÇÃO .....	27
3.2 ESTRUTURA .....	30
3.3 CILINDRO .....	31
<b>4.0 METODOLOGIA DA PESQUISA</b> .....	<b>33</b>
<b>5.0 CONCLUSÃO</b> .....	<b>34</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>35</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

Nos dias de hoje, em quase todos os setores de atividade econômica, em especial no ramo da civil, existe a necessidade de executar tarefas de movimentação manual de cargas (MMC), seja com frequência ou ocasionalmente. Com a limitação do espaço de trabalho, a variedade da natureza das atividades e a resistência de algumas empresas em fazer investimentos, por vezes significativos, em equipamentos automatizados são algumas das razões para que se recorra a tarefas de movimentação manual de cargas.

As tarefas de movimentação manual de cargas são classificadas de diversos tipos: elevar, baixar, agarrar, virar, segurar, transportar, puxar ou empurrar cargas. De acordo com a Norma Regulamentadora 17 (NR17), implantada pelo órgão da segurança do trabalho, que tem como objetivo estabelecer parâmetros que permitam a adaptação de condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo que proporcione o máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente possível.

Contudo baseando-se na norma NR 17 em conjunto com a relação entre homem e máquina denominado de ergonomia é que iniciou o projeto de pesquisa de desenvolvimento de um exoesqueleto robótico visando auxiliar os membros superiores, para que no futuro próximo se possa diminuir algumas lesões causadas pela movimentação manual incorreta de cargas.

### **1.1 OBJETIVOS**

#### **1.1.1 Objetivo Geral**

Apresentação da Norma Regulamentadora (NR 17) envolvendo e elaborando o protótipo de conceito, assim facilitando o manuseio de cargas.

### 1.1.2 Objetivo Especifico

Apresentação do protótipo de conceito do exoesqueleto com mobilidade rotacional máxima de 90° para o limite máximo de carga de 15 kg.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este trabalho se concentra no estudo da origem e do desenvolvimento do exoesqueleto para fins laboratoriais, propondo um protótipo de conceito e não visando abordar a evolução do protótipo funcional e para produção em série.

## 1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, sendo que no capítulo um encontra-se a Introdução, Objetivos, Delimitação do estudo realizado.

No segundo capítulo, denominado de Revisão Bibliográfica, é retratado num contexto geral do manuseio de cargas nas indústrias e o que ela pode causar de lesões, ergonomia, exoesqueleto com sua história, evolução e.

No capítulo três, o Estudo para o desenvolvimento do protótipo de conceito.

No capítulo quatro tem-se a Metodologia da pesquisa aplicada para o desenvolvimento deste trabalho.

No quinto capítulo é abordado a Conclusão do trabalho.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 O MANUSEIO DE CARGAS NA INDUSTRIA**

O rápido crescimento produtivo do setor da construção civil nos últimos anos, intensificou a produção de cimento no país (VIANA, 2014). O fato fez com que as empresas utilizassem mais trabalhos manuais para o transporte destes insumos, o que pode ser comprovado pelo aumento das autuações executadas pelo próprio Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) que chegou a emitir documento específico para o caso (Nota Técnica nº 05/2012/DSST/SIT), justificando e orientando seus auditores quanto às práticas vivenciadas no âmbito das fiscalizações específicas do carregamento manual de sacos de cimento.

Apesar de existir um esforço dos setores envolvidos, a automação industrial não está sendo utilizada regularmente pelas indústrias brasileiras, em especial na área de construção civil. “O emprego de produtos, métodos e sistemas construtivos inovadores acabam esbarrando na falta de interesse dos próprios empresários da construção civil no Brasil em investir em infraestrutura” [...] (CALÇADA, 2014, p. 34).

A Análise Ergonômica do Trabalho (AET) possibilita a identificação, diagnóstico e elaboração de medidas para a resolução dos problemas ergonômicos que afetam a saúde e o desempenho do trabalho humano. Uma vez que existe um número frequente de trabalhadores que se afastam do trabalho com problemas de saúde provenientes das atividades que exercem, faz-se necessário a implementação de estudos para redução ou eliminação das consequências negativas advindas da relação do homem com sua atividade laboral.

### **2.2 DIFICULDADES E LESÕES CAUSADAS PELO MANUSEIO DE CARGAS**

As atividades que envolvem levantar, puxar ou empurrar cargas têm sido uma preocupação crescente daqueles que procuram prevenir lesões e doenças do trabalho. Em termos gerais, a carga provoca dois tipos de reações corporais. Em primeiro lugar, o aumento de peso provoca uma sobrecarga fisiológica nos músculos

da coluna e dos membros inferiores. Segundo, o contato entre a carga e o corpo pode provocar estresse postural.

De acordo com a NR17, torna-se importante expor alguns conceitos relativos ao manuseio e ao transporte de cargas: a) o transporte manual de cargas designa todo transporte no qual o peso da carga é suportado inteiramente por um só trabalhador, compreendendo o levantamento e a deposição da carga; b) o transporte manual regular de cargas designa toda atividade realizada de maneira contínua ou que inclua, mesmo de forma descontínua, o transporte manual de cargas.

Segundo Monteiro (2014) as principais lesões causadas pelo manuseio incorreto de cargas são:

- Lesões musculoesquelética;
- Rompimento dos tendões;
- Esmagamento do e membros;
- Tendinites;

### **2.3 A ERGONOMIA E OS ESFORÇOS COM OS MEMBROS SUPERIORES**

Conforme ITIRO LIDA, ergonomia é o estudo da adaptação do trabalho ao homem. O trabalho tem uma acepção bastante ampla, pois não abrange somente as maquinas e os equipamentos utilizados para a transformação dos materiais, mas sim a situação em que ocorre o relacionamento entre o homem e o seu trabalho. Não envolvendo somente ambientes físicos, mas também aspectos organizacionais de como este trabalho é desenvolvido para atingir os resultados esperados.

Segundo Itiro Lida, podemos observar nas indústrias atuais que a adaptação do trabalho ocorre em função do colaborador, onde a recíproca nem sempre é verdadeira, pois é muito mais fácil adaptar o colaborador a filosofia do trabalho. Isso significa que a ergonomia parte do conhecimento do homem para elaborar o projeto de trabalho, alinhando às capacidades com as limitações humanas.

Por fim define-se ergonomia como estudo do relacionamento entre o homem e o seu trabalho, ambiente e equipamento, contudo a aplicação de conhecimentos

de anatomia, fisiologia e psicologia para resolução dos problemas sugeridos desse relacionamento.

A ergonomia contribui para melhorar a eficiência, a confiabilidade e a qualidade das operações industriais, dentre eles os esforços com os membros superiores, caso este analisado para o desenvolvimento de um exoesqueleto robótico, visando auxiliar os membros superiores no transporte de cargas.

## **2.4 A ORIGEM E A EVOLUÇÃO DO EXOESQUELETO**

De acordo com Miguel Nicoletis, o exoesqueleto pode ser definido como uma órtese que tem como função ser uma estrutura de sustentação para os membros afetados ou até mesmo para aumentar a capacidade de movimento e força.

O primeiro exoesqueleto visto foi na década de 70 em uma série de televisão dos Estados Unidos, chamado "O Homem de Seis Milhões de Dólares", mas o que era ficção se tornaria realidade anos depois com o avanço da tecnologia e com os estudos realizados em ajudar os paraplégicos, tetraplégicos, ou com qualquer tipo de deficiência, mas existem também os que têm a função apenas de aumentar a força do usuário. (D'ARC, 2017).

Projetados para serem menores e mais leves, os exoesqueletos também chamados de "robôs de vestir", são estruturas robóticas bio-inspiradas, vestidas no corpo humano para produzir funcionalidades específicas, que consistem em substituir funções de um membro perdido; aumentar a força, diminuindo cansaço ou fadiga ao executar trabalhos pesados por longos períodos de tempo; e de reabilitação, executando as tarefas de movimentação passiva (movimento executado pelo robô), Ativo-Assistida (movimentado pelo paciente e auxiliado pelo robô) e Ativo-Resistiva (movimentado pelo paciente, porém há uma resistência fornecida pelo robô). (VESLIN *et al.*, 2011) (ARAÚJO; PINOTTI, 2011) Almeida (2012) discute ainda que a vida pessoal e social é diretamente afetada após o AVE, pois reduz a mobilidade e destreza. A terapia ocupacional em conjunto com a fisioterapia podem restaurar os movimentos funcionais reabilitando o paciente a realizar tarefas cotidianas.

Ao usar robôs para reabilitação, a seção de fisioterapia pode ser estendida por várias horas e com maior quantidade de movimentos de forma automatizada e assistida, o uso de softwares aumenta a participação do paciente e sensores possibilitam ao fisioterapeuta acompanhar o progresso da rotina estipulada. Contudo, o robô para este tipo de aplicação exige vários graus de liberdade e movimentação no espaço tridimensional (NEF; GUIDALI; RIENER, 2009).

## **2.5 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS GERAIS DO EXOESQUELETO**

Os altos custos dos equipamentos de tecnologias torna inacessível às pessoas com deficiência, principalmente nos países subdesenvolvidos os quais não possuem os equipamentos à venda (XAVIER, 2016). Não é conhecido no Brasil, empresa que fabrique ou disponibilize para compra este tipo de tecnologia, sendo necessária a importação gerando mais acréscimo ao preço, e mesmo assim, ainda carece de peças e manutenção. (ANDRADE, 2007). Um dos fatores que influencia no preço do equipamento é o material, Xavier (2016).

Projetados para serem menores e mais leves, os exoesqueletos também chamados de "robôs de vestir", são estruturas robóticas bio-inspiradas, vestidas no corpo humano para produzir funcionalidades específicas, que consistem em substituir funções de um membro perdido; aumentar a força, diminuindo cansaço ou fadiga ao executar trabalhos pesados por longos períodos de tempo; e de reabilitação, executando as tarefas de movimentação Passiva (movimento executado pelo robô), Ativo-Assistida (movimentado pelo paciente e auxiliado pelo robô) e Ativo-Resistiva (movimentado pelo paciente, porém há uma resistência fornecida pelo robô). (VESLIN *et al.*, 2011) (ARAÚJO; PINOTTI, 2011).

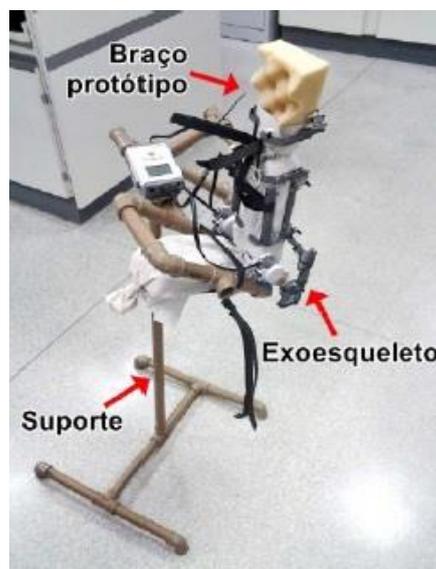
## **2.6 PRINCIPAIS EMPREGOS DO EXOESQUELETO**

Exoesqueleto de reabilitação tem como objetivo principal auxiliar o tratamento de pessoas que possuem dificuldades de movimentação de um membro ou restaurar funções motoras (ANDRADE, 2007).

Alves *et al.* (2014) afirma que o número de pessoas com deficiência motora aumenta a cada ano no Brasil, principalmente vítimas de acidentes de trânsito e trabalho. Em sua pesquisa, fez uma bordagem sobre os preços elevados dos equipamentos de reabilitação existentes no mercado e criou um protótipo de exoesqueleto feito com o kit LEGO Mindstorms (Figura 1), que permite a regulagem para diferentes pacientes. Neste protótipo, o controle pode ser feito usando comando de voz programado na linguagem NXT, ou por sensor de torque. Embora o material escolhido para o protótipo tenha seus benefícios, o kit LEGO ainda possui preço elevado e estrutura frágil.

A utilização de motores de passo como atuadores também possuem algumas vantagens e desvantagens, MIKOLAJCZYK, OLARU e WALKOWIAK (2015) desenvolveram um protótipo de exoesqueleto para o cotovelo usando motor de passo e redução, entre as vantagens do uso destes motores é a precisão do passo e a facilidade em controlar a velocidade e o movimento. Nomodelo proposto porMikolajczyk foi possível atingir a precisão de passo de  $0.18^\circ$  (passo total) e  $0.36^\circ$  (1/2 micro-passo) com diferentes velocidades, controlados por G-Code no software Step2CNC. Em geral, os atuadores elétricos possuem menor custo e facilidade de controle, porém apresentam grande volume e baixa capacidade de carga. (SILVA, 2015)

**Figura 1 – Exoesqueleto com Kit**



**Fonte: (ALVES *et al.*, 2014)**

Exoesqueleto para aumentar força: tem como finalidade aumentar a força para aumentar a capacidade de carga suportada pelo usuário ou para aliviar a força em uma determinada articulação que apresente alguma limitação, com o objetivo de diminuir a fadiga muscular em trabalhos pesados nas indústrias.

A RoboGlove desenvolvida pela General Motors e NASA para utilização na Estação Espacial Internacional utiliza servos bio-inspirados que agem como músculo extra, possibilitando menor força realizada pelo usuário ao manusear ferramentas pesadas (ORG, 2016). O projeto Robo-Mate foi desenvolvido para trabalhos na indústria para aumentar a produtividade em atividades de levantamento e posturas estáticas, a movimentação é dada por três módulos feitos com molas, que proporcionam a compensação da gravidade reduzindo o carregamento nos músculos. (ALTENBURGER; SCHERLY; STADLER, 2016)

**Figura 2 – Robo-Mate**



**Fonte: (ALTENBURGER; SCHERLY; STADLER, 2016)**

## **2.7 AVANÇOS TECNOLÓGICOS E OS EXOLESQUELETOS ROBÓTICOS**

Protótipo é Masiero, Armani e Rosati (2011) desenvolveram um tratamento usando o NeReBot (Neuro-Rehabilitation Robot) (Figura 3), um robô criado para reabilitação de membro superior, é usado em adição ao tratamento convencional, possui três graus de liberdade, a movimentação é feita por cabos atuadores conectados a uma tala fixada ao braço do paciente.

Os desenvolvedores afirmam que em comparação com dispositivos semelhantes, possui baixo custo e baixa complexidade ao executar trajetórias. ONeReBot pode ser transportado para perto de uma cama ou cadeira, porém não é um dispositivo portátil que o paciente possa utilizar para executar tarefas em domicílio.

**Figura 3 – NeReBot**



**Fonte: (MASIERO; ARMANI; ROSATI, 2011)**

Atualmente, o projeto Armeo desenvolvido pela empresa *HOCOMA* localizada na Suíça, utiliza três mecanismos robóticos para reabilitação de membro superior (Figura ...), o Armeo Power designado para fases iniciais de recuperação, o Armeo Spring e o Armeo Boom, todos realizam movimentos monitorados por algoritmos que detectam se o paciente foi capaz de realizar o movimento completo ou não, os desenvolvedores afirmam que os pacientes mais afetados pelas lesões cerebrais, são os que mais se beneficiam do tratamento assistido por robôs. No tratamento usando o Armeo, os pacientes interagem com o software tentando alcançar um objetivo na tela como uma atividade de movimento ou um jogo (AYALA-LOZANO; FRANCISCO; URRIOLAGOITIA-SOSA GUILLERMO, 2015) (HOCOMA, 2017).

**Figura 4 – Dispositivos de reabilitação Armeo**



**Fonte: (HOCOMA,2017)**

Garcés (2013) apresenta um exoesqueleto de dois graus de liberdade usinado em alumínio para aumentar a força do braço humano por um longo período de tempo. Para movimentar as juntas, foi usado atuadores pneumáticos e o controle foi feito por meio de potenciômetros lineares e sensores de contato (Figura 5).

**Figura 5 – Exoesqueleto usando atuadores pneumáticos**



**Fonte: (GARCÉS, 2013)**

Segundo os desenvolvedores, o principal objetivo do projeto BLEEX (Figura 6) na U.C. Berkeley é criar um Exoesqueleto para fortalecimento e resistência de soldados ao carregar maior quantidade de comida, medicamentos e armamentos (STEGER; KIM; KAZEROONI, 2006). O Bleex foi desenvolvido para membros inferiores e possuem como atuadores cilindros hidráulicos montados em uma configuração triangular para rotacionar as juntas.

**Figura 6 – BLEEX**



**Fonte: (STEGER; KIM; KAZEROONI, 2006)**

## **2.8 PROTÓTIPO**

Protótipo é o termo usado para se referir ao que foi criado pela primeira vez, para servir de modelo ou molde para futuras produções. Mas não apenas protótipo físico, mas também no conceitual e de ideias para projetos a serem colocados em prática.

Onde temos protótipo conceitual, exploratório ou protótipo evolutivo.

Segundo (Grando, 2013) protótipo é um produto que está em fase de teste para aprimorar melhorias, que vai ser produzido ou ainda está em fase de análises. É a amostra de início ou modelo construído para testar um conceito, produto ou processo, algo para se replicar ou aprender.

Protótipo Conceitual: pode ser um esboço feito manualmente, com lápis e caneta sobre papel, com as principais áreas de conteúdo e as funcionalidades do produto em projeto. Informalmente, permite que o pensamento e as ideias fluam com facilidade para a configuração inicial do produto.

Protótipo Estrutural, ou “de Forma”: é o protótipo quando sai do papel e começam a tomar forma física, na indústria automobilística eles chamam de “carro de argila”, assim se desenvolvendo e provavelmente se tornando o produto final.

Protótipo Funcional: é a estrutura já feita se tornando forma do projeto inicial, é o produto funcionando e passando por testes, para que se possa ser produzido para se chegar ao cliente final depois de todos os estudos e testes feitos, há a vantagem adicional de ser capaz de testar o ambiente de desenvolvimento e permitir que algumas pessoas se familiarizem com novas ferramentas e procedimentos.

### 3 ESTUDO PARA DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DE CONCEITO

Os materiais definidos para o suporte e a armação foram:

- Barras cilíndricas de alumínio;
- Cintas de velcro para fixar o exoesqueleto no usuário;
- Articulações nos cotovelos;
- Cilindros pneumáticos;
- Sensores;
- Válvulas;

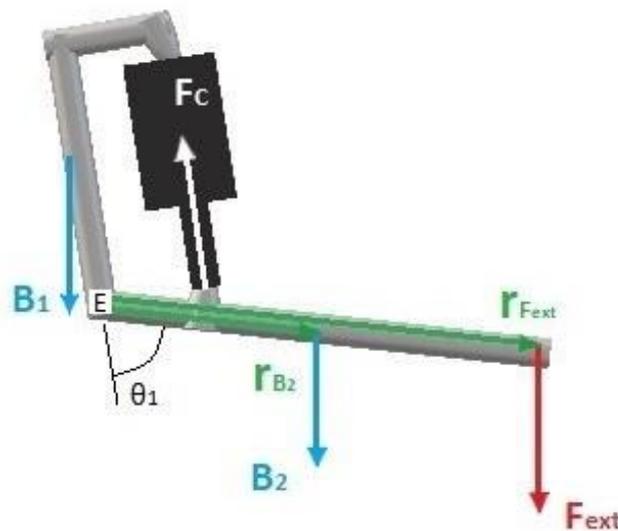
Os materiais definidos para compor o sistema pneumático foram:

- 01 rótula na junta (cotovelo), com deslocamento angular  $\theta_1$ . Há necessidade de um cilindro pneumático pressurizado para realização dos movimentos de subir, baixar e manter o peso sustentado.

#### 3.1 SISTEMAS PNEUMÁTICO DE ATUAÇÃO

Foram feitos os primeiros cálculos para obter uma aproximação da força necessária que o cilindro pneumático deve exercer com o máximo de carga especificado. Para isso, foram desenvolvidas equações da dinâmica do mecanismo com as principais forças aplicadas na estrutura.

**Figura 7 - Estrutura básica do exoesqueleto e principais forças**



**Fonte: Elaborado pelos autores, 2018**

$F_c$  são as forças do cilindro pneumático.  $B_1$  e  $B_2$  são os pesos de cada barra, enquanto que  $F_{ext}$  representa a força do peso da carga na barra. O ponto E representa a junta inferior do exoesqueleto (articulação do cotovelo humano).

$\vec{r}_{B_2}$  e  $\vec{r}_{F_{ext}}$  são vetores de posição desde o ponto E até as forças  $B_2$  e  $F_{ext}$  respectivamente.

Como exemplo é apresentado o cálculo para estimar a força máxima que o cilindro pneumático deve atingir. O torque no ponto E devido à força externa e ao peso do elo inferior é encontrado pela seguinte equação:

$$\vec{\tau}_C = -\vec{r}_{B_2} \times \vec{B}_2 - \vec{r}_{F_{ext}} \times \vec{F}_{ext}$$

Para estes cálculos preliminares,  $B_2$  tem o valor de 0,7 (Kg) ou 7 (N), e  $F_{ext}$  é de 15 (Kg) ou 150 (N)

Se considerarmos a existência somente da força externa e do peso da junta, o torque no ponto F seria:

$$|\vec{\tau}_{max}| = |\vec{B}_2| \cdot \frac{l_2}{2} + |\vec{F}_{ext}| \cdot l_2$$

Considerando o comprimento do segundo elo,  $l_2$ , igual a 400 (mm) ou 0,4 (m) e com os valores das forças mencionados anteriormente; o módulo do torque máximo é:

$$|\vec{\tau}_{\max}| = 61,4 \text{ (N.m)}$$

O cilindro selecionado neste estudo é da empresa Metal Work, da série chamada compacta “CMPC” devido a seu menor peso em comparação com os cilindros de outras séries. Ele é de duplo efeito e haste simples.

**Figura 8 - Foto de um cilindro pneumático CMPC da empresa Metal Work**



Fonte: Empresa Metal Work

**Tabela 1 - Dados do cilindro**

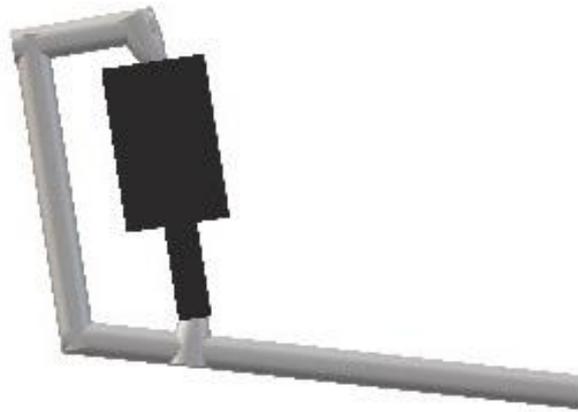
	$\varnothing$ (mm)	$\varnothing$ êmbolo (mm)	Pressão Max. (bar)	F max. @6 bar. Ida/volta	Peso (g)	Curso (mm)
Cilindro	50	16	10	1178/1057	1050	100

Fonte: Empresa Metal Work

### 3.2 ESTRUTURA

Nesse estudo foi projetada a estrutura em alumínio, apresentando duas barras, cada uma com espessura de 10 (mm), o braço é acoplado com uma estrutura que vai nas costas. A primeira barra sustenta o cilindro, já a segunda barra é a que faz a função do antebraço para segurar o peso da força externa.

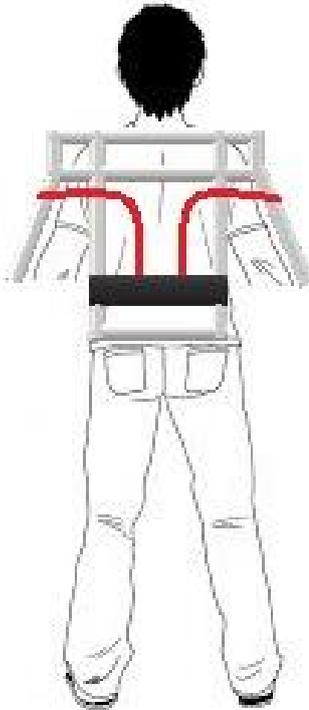
**Figura 9 - Ilustração do exoesqueleto**



**Fonte: Elaborado pelos autores – 2018**

A estrutura de armação/suporte é de tubos cilíndricos de alumínio preso às costas do usuário com cintas de velcro. A Figura... demonstra esta estrutura traseira da armação.

**Figura 10 - Foto da estrutura traseira da armação**



**Fonte: Elaborado pelos autores, 2018**

### **3.3 CILINDRO**

Um atuador é um dispositivo que converte a energia em movimento. Também pode ser usado para aplicar uma força. Ele é tipicamente um dispositivo mecânico que transforma a energia que é normalmente criada por eletricidade, ar ou líquido, em algum tipo de movimento (cinética). O movimento pode ser virtualmente de qualquer forma.

O cilindro hidráulico definido no projeto é o mais simples, e consiste no comando de avanço e recuo, realizando dupla ação, utilizando uma bomba de vazão constante e uma válvula direcional de acionamento manual. Logicamente, pelo tipo de bomba escolhida, é necessária a utilização de uma válvula limitadora de pressão

para evitar danos ao sistema.

#### 4.0 METODOLOGIA DA PESQUISA

Esse trabalho tem como principal objetivo proporcionar um estudo de protótipo de conceito de exoesqueleto. Do ponto de vista dos objetivos apresentados, esse trabalho se enquadra em pesquisa exploratória e no que se refere aos procedimentos técnicos utilizados para o desenvolvimento, este também se enquadra em pesquisa bibliográfica.

As pesquisas exploratórias buscam uma abordagem do fenômeno pelo levantamento de informações que proporcionam ao pesquisador a busca pelo conhecimento de determinado assunto (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

Para Gil (2002), as pesquisas exploratórias proporcionam maior familiaridade com o problema, tornando-o mais claro e objetivo, permitindo a construção de hipóteses e o aprimoramento de ideias. Nesse caso o planejamento é mais flexível, o que permite várias considerações em relação ao fato que está sendo estudado, além disso, a pesquisa envolve levantamento bibliográfico, exemplos que auxiliam a compreensão e textos que retratem experiências práticas do problema em estudo.

De acordo com a abordagem técnica o trabalho foi realizado a partir da pesquisa bibliográfica, que depende da análise de materiais já publicados, como trabalhos acadêmicos, livros, revistas, artigos e materiais disponíveis na Internet.

Para Severino (2007), a pesquisa bibliográfica se realiza a partir do registro disponível de materiais como, teses, livros, artigos, etc. Utiliza-se de dados teóricos já trabalhados por outros pesquisadores. O pesquisador trabalha a partir do auxílio dos autores de estudos anteriores registrados.

## 5.0 CONCLUSÃO

Através da execução deste trabalho e os primeiros esboço de um anteprojeto do exoesqueleto robótico para membros superiores, esperamos a popularização e o futuro emprego em larga escala deste tipo de tecnologia abordada no assunto. Tecnologia esta que já vem em ascensão desde os anos 2000 e foi denominada como indústria 4.0 ou seja quarta revolução industrial, que apesar de estar sendo dado os primeiros passos, terá um impacto bem profundo e exponencial, caracterizado por um conjunto de tecnologias que permitem a fusão do mundo físico, digital e biológico.

O tema tratado abre portas para diversas áreas de atuação, principalmente para o enfoque, que foi a sua inclusão nas indústrias onde o manuseio de cargas manuais são constantes. Inúmeras empresas resistem para não realizar este tipo de investimento, custamos a crer que é devido a este tipo de pesquisa e projeto estar dando seus primeiros passos e conseqüentemente ter um custo alto devido as descobertas estarem apenas no início.

Por fim acreditamos que, com a definição dos componentes acessíveis e baratos, e o sistema de fácil construção e implementação tendem a ser a grande vantagem do nosso anteprojeto.

## REFERÊNCIAS

- ADAFRUIT. **Adafruit Motor Shield Datasheet**. 2018. 58f. Disponível em: <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-motor-shield.pdf>. Acesso em: 05 maio 2018.
- ARAÚJO, G. M. **Normas regulamentadoras comentadas e ilustradas: legislação de segurança e saúde no trabalho**. Giovanni Moraes Araújo: Virtual, 2014.
- BARRETO, Andrea. **Como funciona o exoesqueleto robótico?**. 2014. Disponível em: <https://dicasdeciencias.com/2014/06/14/como-funciona-o-exoesqueleto-robotico/comment-page-1/>. Acesso em: 20 abril 2018.
- BOROW, J. E., MCDONELL, B. W. 1998. **Modeling, identification and control of a pneumatically actuated, force controllable robot**. IEEE Transactions on Robotics and Automation. v. 14, n. 15, p. 732 – 742.
- CALÇADA, P. A. B. **Estudo dos processos produtivos na construção civil objetivando ganhos de produtividade e qualidade**. Rio de Janeiro: POLI/UFRJ, 2014.
- CARRARA, V. **Introdução à Robótica Industrial**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2015.
- DUARTE, Avellar. **Desenvolvimento de Protótipos**. 2010. Disponível em: <http://www.avellareduarte.com.br/fases-projetos/producao/acompanhamento-do-desenvolvimento/desenvolvimento-de-prototipos/>. Acesso em: 10 junho 2016.
- DUARTE, Avellar. **Modelo conceitual: atividades**. 2010. Disponível em: <http://www.avellareduarte.com.br/fases-projetos/conceituacao/modelo-conceitual-atividades/>. Acesso em: 10 junho 2018.
- D'ARC, Joana. **Exoesqueleto robótico: O que é? E para que serve?**. 2017. Disponível em: <http://www.i-tecnico.pt/exoesqueleto-robotico-o-que-e-para-que-serve/>. Acesso em: 20 abril 2018.
- ESTADÃO. **Em fábrica da Fiat no Brasil, operários usam exoesqueletos para aumentar a produtividade**. 2018. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/economia/nova-economia/em-fabrica-da-fiat-no-brasil-operarios-usam-exoesqueletos-para-aumentar-a-produtividade-1mpaazsg3aekzt288tutamnqt>. Acesso: 30 abril 2018.
- GARCÉS, D. S. C. **EXOESQUELETO ROBÓTICO PARA AUMENTAR A CAPACIDADE FÍSICA DO MEMBRO SUPERIOR HUMANO**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro. 121f. 2013.
- GOPURA, R. A. R. C., KIGUCHI, K., LI, Y. **SUEFUL-7: A 7DOF Upper-Limb Exoskeleton Robot with Muscle-Model-Oriented EMG-Based Control**. In: The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2009. p. 1126 - 1131.

GRANDO, Nei. **Usando protótipos para dar forma às ideias**. 2013. Disponível em: <https://neigrando.wordpress.com/2013/06/04/usando-prototipos-para-dar-forma-as-ideias/>. Acesso em: 10 junho 2018.

GUGELMIN, Felipe. **Tecnologias promissoras: exoesqueletos**. 2011. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/futuro/11300-tecnologias-promissoras-exoesqueletos.htm>. Acesso em: 30 abril 2018.

LIDA, Itiro. **Ergonomia: projeto e produção** / Itiro Lida – 2ª Edição rev. e ampl. – São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

PERRY, J. C.; ROSEN, J.; BURNS, S. **Upper-limb powered exoskeleton design**. IEEE/ASME transactions on mechatronics, IEEE. 2007. v. 12, n. 4, p. 408–417.

RUÍZ, A. **Sistema robótico multimodal para análisis y estudios en biomecánica, movimiento humano y control neuromotor**. 2008. Tesis doctoral. Universidad Carlos III de Madrid. Madrid, España.

SILVA, C. E. **Projeto e Implementação da Estrutura Mecatrônica de Potência para um Exoesqueleto Robótico de Membros Superiores**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de São João del-Rei Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica Associação ampla UFSJ/CEFET-MG. 2015.

SHU, N. AND M.B. GARY. **Development of a nonlinear dynamic model for a servo pneumatic positioning system**. Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. 2005. v. 1, pp. 43-48.

XAVIER, R. T. **Implementação de uma prótese ativa para membro superior de baixo custo**. Dissertação (Mestrado), 2016.