

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS CAMPUS - ARCOS**

Leonardo Lourenção  
Miguel Angell Melo Veloso  
Samuel Marcellandre Costa  
Tallyson Thierry Couto

**EXOESQUELETO CADEIRA**

Arcos/MG  
Abril 2019

Leonardo Lourenção  
Miguel Angell Melo Veloso  
Samuel Marceliandre Costa  
Tallyson Thierry Couto

## Trabalho Acadêmico Integrador I

# EXOESQUELETO CADEIRA

Trabalho Acadêmico Integrador apresentado ao Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus* Arcos, como requisito à aprovação parcial de todas as disciplinas referentes do primeiro período do Curso de Engenharia Mecânica.

**Professor:** Niltom Vieira Junior

## RESUMO

Com a Indústria 4.0 se iniciou um período de otimização e inovação tecnológica no mercado de trabalho, a qual necessita do surgimento de profissionais mais qualificados. Para tal fim é importante existir um bem-estar entre os funcionários. Dessa maneira, esse trabalho é um projeto de um exoesqueleto cadeira com o objetivo de melhorar as condições de trabalho.

Foram utilizados *softwares* como o **Matlab** e o **Autodesk Inventor 3D** para possibilitar a visualização em 3D e determinar as dimensões do modelo. E posteriormente foi criado um protótipo com as especificações base para a criação do exoesqueleto.

**Palavras-chaves:** Indústria 4.0. Exoesqueleto cadeira. Otimização. Bem-estar.

## Lista de figuras

Figura 1 - Centro de gravidade	10
Figura 2 - Estabilidade	11
Figura 3 - Diagrama de corpo livre	13
Figura 4 - Modelo exoesqueleto 3D	13
Figura 5 - Demonstração da carga máxima do amortecedor	15
Figura 6 - Demonstração dos cintos	16
Figura 7 - Demonstração força cortante	17
Figura 8 - Gráfico do coeficiente de atrito da borracha	18
Figura 9 - Cronograma	21
Figura 10 - Construção do protótipo	23
Figura 12 - Desenho Técnico do projeto	23
Figura 11 - Assento moldado com fibra de vidro	24
Figura 13 - Demonstração de peças	25

# Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>6</b>
<b>2 OBJETIVO GERAL</b>	<b>6</b>
2.1 Objetivo específico	6
<b>3 JUSTIFICATIVA</b>	<b>6</b>
<b>4 REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>7</b>
4.1 Contexto Histórico	7
4.2 Indústria 4.0	7
4.3 A importância dos exoesqueletos na indústria	8
4.4 Exoesqueleto Cadeira	8
4.5 Curiosidades do aço 1020	8
4.6 Fibra de vidro PRFV	9
<b>5 METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO</b>	<b>9</b>
5.1 Estudo sobre centro de massa e de gravidade	9
5.2 Diferença do centro de massa e gravidade	9
5.3 Teste empírico do centro de gravidade	10
5.4 Critério de estabilidade e descrição do mecanismo	10
5.5 Aplicação de forças	12
5.6 Modelagem 3D	13
5.7 Material da estrutura	14
5.8 Proteção contra oxidação	14
5.9 Análise de resistência da solda	14
5.10 Limite do ângulo de trabalho	14
5.11 Assento em fibra de vidro	15

5.12 Cinto de fixação ao corpo	15
5.13 Regulagem de altura	16
5.14 Verificação em relação ao limite de escoamento	17
5.15 Coeficiente de atrito estático da borracha	17
5.16 Observações Importantes	18
5.17 Análise de custos	18
5.18 Materiais e equipamentos	18
<b>6.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>20</b>
<b>7 CRONOGRAMA</b>	<b>21</b>
<b>8 REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA</b>	<b>22</b>
<b>APÊNDICES</b>	<b>23</b>
<b>APÊNDICE A - CONSTRUÇÃO DA ESTRUTURA</b>	<b>23</b>
<b>APÊNDICE B - CONSTRUÇÃO DO ASSENTO</b>	<b>23</b>
<b>APÊNDICE C - DESENHO TÉCNICO DO PROTÓTIPO</b>	<b>23</b>
<b>APÊNDICE D - MODELAGEM 3D E DESCRIÇÃO DAS PEÇAS</b>	<b>25</b>
<b>APÊNDICE E - APLICAÇÃO DE FORÇAS Y</b>	<b>25</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A rotina de trabalho faz bem para a saúde, mas somente se você não for forçado a um período excessivo. Esse esforço é perigoso, pois afeta gravemente a taxa metabólica do corpo, resultando no risco de doenças ou lesões ao trabalhador. Nas estações de trabalho, o objetivo é aumentar a produtividade, deixando de lado o efeito da fadiga no corpo do trabalhador. (Ferreira , 2017)

A maioria das empresas tem seu local de trabalho projetado para maior produção em suas linhas, acontece que esses locais não são pensados na saúde do funcionário e na maioria das vezes eles têm que ficar por horas em uma determinada postura. Observando essa situação surgiu a idéia de construir um aparelho, no caso um exoesqueleto com a funcionalidade próxima a de uma cadeira, o projeto consiste em uma estrutura inclinada e flexível que oferece melhor conforto que uma cadeira plana para mesma postura de trabalho e por manter o corpo ereto, ela diminui a tensão nos tecidos, o que por sua vez reduz a dor nas costas. Além disso, o protótipo deve ser acessível economicamente a qualquer empresa e que não atrapalhe no rendimento de nenhum serviço.

## 2 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho procura melhorar qualidade de vida dos funcionários, principalmente daqueles que trabalham em longos expedientes. Dessa maneira, o projeto se trata-se de construir um exoesqueleto que com a mesma funcionalidade de uma cadeira, irá auxiliar na realização de tarefas, sendo acessível a qualquer pessoa e aumentando a produtividade da mesma.

### 2.1 Objeto específico

Além de atender os pontos já mencionados, o trabalho será otimizado com o uso de materiais de baixo custo e que ainda mantém a mesma eficiência. Outro aspecto a ser atingido é o de construir um protótipo portátil e de fácil manuseio, e para isso ele dispõe com reguladores que poderá assumir dimensões adequadas para quaisquer pessoas sem prejudicar seu serviço.

### 3 JUSTIFICATIVA

No que se refere a Indústria 4.0, se destaca a produtividade e as novas técnicas de trabalho. Esses avanços ressaltaram a eficiência, o que causou a omissão da saúde do funcionário.

Doenças relacionadas com o trabalho vem se tornando frequentes entres os trabalhadores, e segundo Unimed Fortaleza (2018), se destacam enfermidades como a LER (Lesão por Esforço Repetitivo) e DORT (Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho), as quais são causadas respectivamente por ações recorrentes, provocando tendinite (inflamação nos tendões), e pela postura inapropriada ao longo da execução de tarefas demoradas, ficando inevitável o surgimento de dores musculares em diversos lugares do corpo, principalmente na região lombar.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 Contexto Histórico

Muitas obras de ficção como livros e filmes trazem ao público histórias de trajes com capacidades especiais, como permitir aos seus usuários a capacidade de voar ou de ter super força. Na realidade é mais difícil chegar a esse nível tecnológico, principalmente por fatores econômicos e práticos.

O primeiro modelo de exoesqueleto foi desenvolvido por militares norte-americanos com o apoio da empresa General Electric e segundo Möller (2012), foi nomeado de “Hardiman”, o traje permitia ao seu usuário elevar facilmente até 110 kg usando sistemas hidráulicos e elétricos. Entretanto ele era pesado e sendo muito difícil manter o seu controle, seu projeto foi abandonado.

### 4.2 Indústria 4.0

Como citado anteriormente, a quarta revolução industrial de acordo com José Rizzo (2016) em uma matéria no site do Sebrae teve início na Alemanha em meados de 2011 e de acordo com o mesmo, o impacto esperado na produtividade da indústria é comparável ao que foi proporcionado pela internet em diversos outros campos.



Entre seus aspectos se destacam as novas tecnologias com papel de melhorar o desempenho das atuais, proporcionam evoluções nunca antes vistas no cenário industrial. Como consequência os trabalhos manuais ficam cada vez mais escassos, e os existentes terão assistência de exoesqueletos.

### 4.3 A importância dos exoesqueletos na indústria

Como foi apontado, os exoesqueletos estão entre os avanços técnicos do momento, a qual, dispõe de uma ampla área de desenvolvimento e aplicação. Na perspectiva industrial, ela aparece como uma ferramenta de apoio ao trabalhador melhorando seu desempenho enquanto evita o desgaste ao longo da jornada de trabalho.

De acordo com o presidente da Fiat Chrysler Automotive (FCA), Stefan Ketter (2018), conforme citado por Silva (2018) “O nível de imprevistos e de distúrbios na produção diminuiu muito. Mas este é um processo contínuo e os ganhos de eficiência e qualidade também serão contínuos e crescentes.”

### 4.4 Exoesqueleto Cadeira

O projeto consiste na construção de um aparelho com a finalidade de suportar o peso exercido por uma pessoa, durante o movimento de sentar sem que ocorra um esforço elevado ou lesões ao utilizador.

O Exoesqueleto Cadeira é utilizado na região inferior do corpo. Os principais pontos de fixação são concentrados nos bíceps femoral, tornozelo e também em um cinto fixo a cintura, o qual tem a finalidade de dividir o peso do aparelho ao longo da parte inferior do corpo .

A ideia é reduzir o *stress* gerado pelo tempo em pé durante o longo período de trabalho, possibilitando assim a pessoa que o utiliza a chegar ao fim de sua carga horária com mais disposição.

### 4.5 Curiosidades do aço 1020

Nesse material é possível realizar dobras e trabalhos a frio pois ele é bem dúctil, pode ser soldado com qualquer processo tradicional com grande facilidade, porém esse material

possui menor capacidade de endurecimento ou seja não pode ser temperado, entretanto consegue-se melhorar suas características após tratamento químico de cementação.

Tabela 1 - Dados técnicos aço 1020

Tipo de aço	Teor de carbono	Módulo de elasticidade fel(GPa)	Alongamento	Limite de resistência a tração fu(MPa)
<b>SAE 1020</b>	0,20	205	25	400

(Fonte: LUZ 2010)

## 4.6 Fibra de vidro PRFV

É um material composto da aglomeração de finíssimos filamentos de vidro que não são rígidos e são altamente flexíveis. Quando adicionado à resina poliéster (ou outro tipo de resina), transforma-se em um composto popularmente conhecido como fibra de vidro, mas na verdade o nome correto é PRFV, ou seja, "Polímero Reforçado com Fibra de Vidro".

O PRFV tem alta resistência à tração, flexão e impacto, sendo muito empregado em aplicações estruturais. É leve e não conduz corrente elétrica, sendo utilizado também como isolante estrutural. Permite ampla flexibilidade de projeto, possibilitando a moldagem de peças complexas, grandes ou pequenas, sem emendas e com grande valor funcional e estético.

## 5 METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

### 5.1 Centro de massa e de gravidade

Com o objetivo de encontrar os pontos de centro de massa e gravidade de um corpo humano foram utilizadas figuras geométricas com proporções aproximadas a de um homem com altura e peso médio do brasileiro.

Quando o corpo está em pé, tem o centro de gravidade e de massa localizados próximos da altura do abdômen como é mostrado no ponto verde (Figura 1A). Assim como no corpo em pé, o corpo em posição de trabalho também tem um centro de gravidade específico, usa-se de base o mesmo eixo de referência para assim encontrar o seu centro.

## 5.2 Diferença do centro de massa e centro gravidade

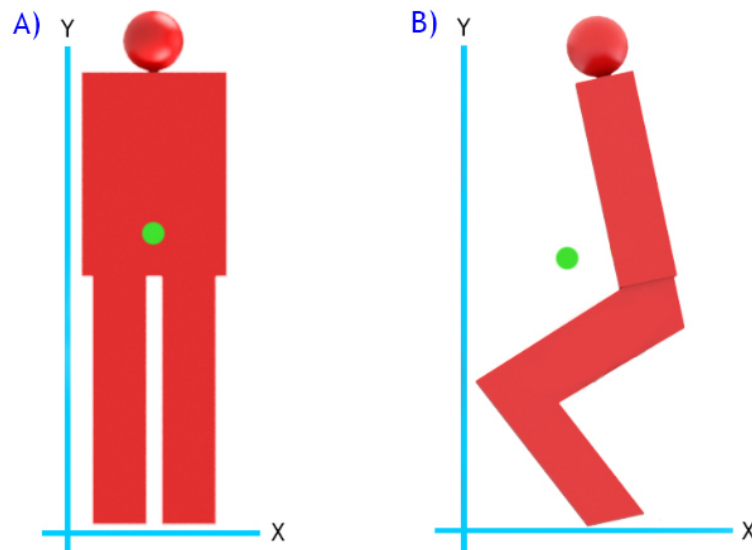
Conforme estudos, o Centro de Massa (CM) representa o ponto onde podemos admitir que toda a massa de um corpo esteja concentrada e que todas as forças externas atuem nesse ponto. O Centro de Gravidade (CG) representa o ponto onde o peso do corpo atua. Sabe-se que o CM e o CG são considerados pontos coincidentes, desde que tenham a mesma aceleração gravitacional.

No caso do exoesqueleto cadeira pode-se considerar a mesma velocidade gravitacional para realizar os cálculos pois a área que o mesmo ocupa é relativamente pequena.

## 5.3 Teste empírico do centro de gravidade

Para realizar os cálculos onde se obtém a localização dos centros de massa e gravidade, primeiramente são criados os eixos X e Y para se usar como referência, após isso utiliza-se a área de cada parte do corpo já pré estipulada. Vale lembrar que os cálculos foram realizados apenas para o corpo que já está em posição de trabalho, já que na maioria das vezes o corpo em posição vertical parado tem o mesmo centro de massa e de gravidade.

Figura 1 - Centro de gravidade



(Fonte:Próprios autores)

## 5.4 Critério de estabilidade e descrição do mecanismo

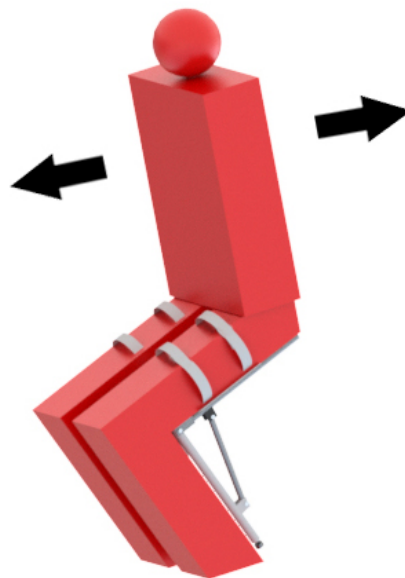
Dado que para tal estrutura a estabilidade é extremamente importante, a fim de construir o modelo mais ideal, é necessário analisar todos os parâmetros que afetam a estabilidade e o conforto. Para uma estrutura estar em equilíbrio estático a soma vetorial de todas as forças e momentos agindo sobre ela deve ser zero.

A estabilidade é definida como uma resistência à perturbação do equilíbrio corporal, o equilíbrio dentro dos grupos musculares e alinhamento do sistema esquelético afeta o equilíbrio do corpo. Essa ligeira mudança na postura corporal pode afetar toda a distribuição de peso. Para uma estrutura estar em equilíbrio estável a massa corporal deve estar dentro da base do exoesqueleto.

Se a massa estiver fora da área base, o torque produzido pelo peso da pessoa tende a derrubá-la. A base da área de apoio abaixo do corpo, inclui os pontos de contato entre o solo e o exoesqueleto e algum outro ponto do corpo da pessoa; esses pontos podem ser partes do corpo (como pés), ou extensões (como muletas).

O balanceamento é diretamente proporcional ao tamanho da base de apoio ao solo, nesse mecanismo leva-se em consideração como área de apoio os pés, e o apoio do exoesqueleto. Pode-se notar na figura 2 que, durante a inclinação vertical, o joelho se inclina para a frente e garante que a projeção do centro de gravidade do corpo se mantenha dentro da base do exoesqueleto.

Figura 2 - Estabilidade



(Fonte:Próprios autores)

## 5.5 Aplicação de forças

Considerando dados obtidos de pesquisas do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), a nossa referência passou a ser um corpo no qual correspondem as medidas médias do brasileiro, tendo 1,70m de altura, 70kg e idade entre 20 e 30 anos pois o público-alvo está nesta faixa de idade. Dessa maneira as forças podem ser definidas e aplicadas no desenvolvimento do projeto.

Peso total das partes do corpo que atuam sobre o exoesqueleto:

- Peso da cabeça equivale a 9% do peso total do corpo = 6,39kg
- Peso do tronco equivale a 50% do peso total do corpo = 35,5kg
- Peso de duas pernas equivale a 31% do peso total do corpo = 22,1kg
- Peso de dois braços (com mãos): equivale a 10% do peso total do corpo = 7,1kg

Portanto, o Peso total =  $6,39 + 35,5 + 22,1 + 7,1 = 71\text{kg}$

Usamos dois apoios, portanto a força será distribuída em dois suportes ou seja:

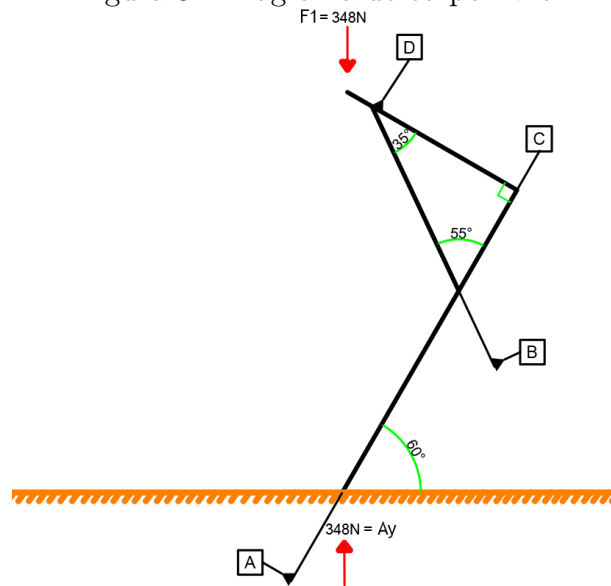
Peso total / 2 = 35,5kg.

Pela segunda lei do movimento de Newton, **Força de peso = Massa \* Aceleração** (devido à gravidade).

$$\begin{aligned}f &= m * g \\f &= 35,5 * 9,8 \\f &= 348N\end{aligned}$$

Após se estipular a força peso média que será aplicada no exoesqueleto, foi feito um diagrama de corpo livre (Figura 3), dessa maneira foi estipulado 4 pontos na estrutura A, B, C e D. Esses pontos serão utilizados para demonstrar o comportamento das forças em cada ponto. (Cálculos no Apêndice E)

Figura 3 - Diagrama de corpo livre



(Fonte:Próprios autores)

## 5.6 Modelagem 3D

Para realizar a modelagem 3D foi utilizado o *software* da empresa Autodesk, o Inventor é uma ferramenta que permite criar protótipos virtuais tridimensionais. Os modelos 3D gerados pelo Autodesk Inventor são montados a outras peças através de uma plataforma presente no próprio *software*.

Figura 4 - Modelo exoesqueleto 3D



(Fonte:Próprios autores)

## 5.7 Material da estrutura

O material proposto para a utilização foi tubo de aço SAE1020 com diâmetro de 1", por conter em suas propriedades uma grande resistência e um modulo de elasticidade, que é a capacidade que o mesmo tem em retornar sua a forma e dimensões originais quando retirado os esforços externos sobre ele. Portanto mesmo após a aplicação da carga de 50kg e a sua mínima deflexão o material retornará a suas propriedades originais.

## 5.8 Proteção contra oxidação

O aço 1020 não contém nenhuma proteção contra oxidação e por isso a ferrugem em pouco tempo aparece em sua superfície, para solucionar esse problema, uma camada de tinta foi aplicada em toda a superfície que está em contato com o ar, além da proteção melhora também a estética do exoesqueleto.

## 5.9 Análise de resistência da solda

De acordo com os estudos realizados sobre a solda elétrica e o eletrodo utilizado (Eletrodo E6013), foi realizado um cálculo para determinar a capacidade das soldas sobre as hastes que servem de suporte para o amortecedor.

Cada mm<sup>2</sup> dessa solda suporta aproximadamente 7kg/f para uma carga estática ou seja cargas inváriaveis. Para realizar o cálculo utiliza-se a equação abaixo.

$$A \cdot 7kg/f$$

$$15 \cdot 0,3 \cdot 7 = 31,5kg$$

Como no caso do exoesqueleto em questão são duas chapas em cada uma das pernas o valor de 31,5 multiplica-se por 2, ou seja, cada uma das pernas suporta 63kg/f.

## 5.10 Limite do ângulo de trabalho

O amortecedor de porta-malas automotivo usado neste projeto suporta 420N com sua compressão interna, logo também suporta a mesma carga sem a compressão, a capacidade de cada amortecedor é descrita no próprio objeto ou em sua embalagem como na figura 5.

Figura 5 - Demonstração da carga máxima do amortecedor



(Fonte:Próprios autores)

A partir da sua estrutura pronta é necessário definir um fim de curso para a posição do protótipo, o angulo desejado para a posição maxima de trabalho é de 90 graus. O fim de curso foi construído apartir de um amortecedor de porta malas automotivo, porém com suas propriedades modificadas.

Uma das propriedades do amortecedor é conter uma pressão de ar ou óleo internamente, essa pressão é util para que o amortecedor tenha uma força no sentido de empurrar a haste interna, mas para o exoesqueleto não é necessario essa propriedade pois as pernas em que eles serão acoplados precisam se mover livremente.

Para realizar essa modificação foram feitos dois furos de 6mm em cada um dos amortecedores, permitindo a movimentação do ar dentro do sistema e assim removendo toda a pressão de ar/óleo que havia em seu sistema.

## 5.11 Assento em fibra de vidro

Entre todas as partes do exoesqueleto, o assento se destaca pelo seu papel de gerar um conforto e segurança para a pessoa que for utilizá-lo. Dessa forma sua confecção necessita de materiais resistentes, leves e que ainda provoquem o bem-estar.

O assento foi construido em fibra de vidro a partir de um molde de uma garrafa com diametro de 25cm, para se obter uma curvatura em sua superfície imitando a parte de trás da perna de uma pessoa e para obter um certo conforto sobre o assento foi colocado um tipo de borracha Etil, Vinil e Acetato (E.V.A.) seguindo o modelo e a forma que melhor se adequa ao objetivo.



## 5.12 Cinto de fixação ao corpo

Vestir o equipamento é muito fácil e rápido, os cintos de fixação são compostos de fitas de *nylon* com *plug* de mochila e são divididos em três partes, o principal é fixado ao redor da cintura, e é o que segura o peso do exoesqueleto sempre preso ao corpo da pessoa, o segundo não menos importante é preso ao redor da parte superior da perna (coxas), este tem a função de manter o assento preso na perna, e o terceiro é preso na parte inferior da perna (canelas) e serve para que o exoesqueleto não tombe quando estiver em trabalho.

O sistema de regulagens na região da cintura possibilita que qualquer pessoa o utilize, esse sistema é muito básico consiste apenas em dois reguladores de mochila/mala que se localizam à frente do cinto para que o próprio usuário regule o cinto, o sistema de *plug* rápido em todos os cintos possibilita que uma pessoa vista o equipamento em menos de 3 minutos.

Figura 6 - Demonstração dos cintos



(Fonte:Próprios autores)

## 5.13 Regulagem de altura

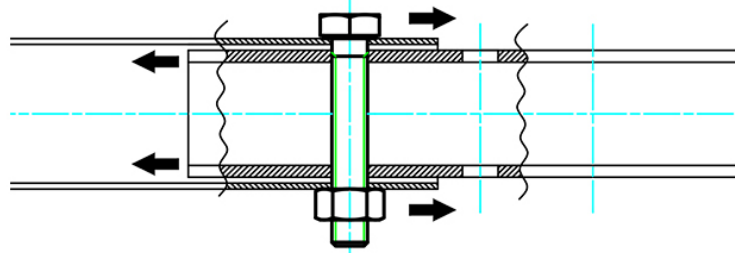
Considerando que cada pessoa tem uma altura diferente é necessário uma regulagem na altura da parte inferior da perna do exoesqueleto, funciona como um tubo colocado

internamente e um pino que atravessa os dois tubos formando um tipo de trava.

## 5.14 Verificação em relação ao limite de escoamento

O pino de trava é um elemento importante para a segurança do usuário, pois se ele se romper pode ocasionar um acidente, portanto foi realizado o cálculo de tensão de cisalhamento para os pinos. leva-se em consideração que irão ser utilizados parafusos como pinos, tendo assim um padrão de diâmetro, foi realizado o cálculo para o parafusos de 6mm pois é o que se teve mais disponibilidade.

Figura 7 - Demonstração força cortante



(Fonte:Próprios autores)

A tensão de escoamento do material utilizado é 60% da tensão limite de ecisalhamento. De acordo com a tabela da fabricante Rex (Anéxo A), o parafuso de grau 5.6 possui 500N/mm<sup>2</sup> de tensão de limite de cisalhamento. Sendo assim, calcula-se a tensão de escoamento do material.

$$\begin{aligned}\sigma &= \sigma_{\text{esc}} \cdot 0,6 \\ \sigma &= 500 \cdot 0,6 \\ \sigma &= 300\text{N}/\text{mm}^2\end{aligned}$$

Portanto 300N é a tensão de escoamento que o parafuso pode sofrer, porém para calcular o peso que ele suporta utilizamos fator de segurança igual a 2 conforme a equação.

$$\begin{aligned}F_{\text{cis}} &= \frac{\tau \cdot A}{FS} \\ F_{\text{cis}} &= \frac{300 \cdot 19,9}{2} = 2850\text{N ou } 290,5\text{kg}\end{aligned}$$

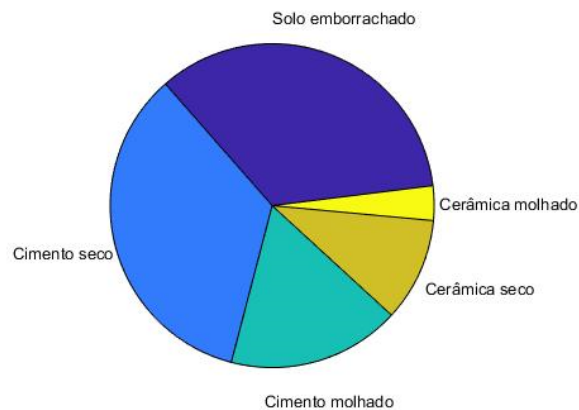
Utilizando o fator de segurança temos um resultado de que cada parafuso suporta 290,5Kg, o parafuso M6 que está sendo usado está super dimensionado e não há problema, pois ele estará sempre com uma grande margem de segurança.

## 5.15 Coeficiente de atrito estático da borracha

O atrito entre a borracha do apoio do exoesqueleto e o solo é essencial para a segurança de quem está utilizando-o, porém cada tipo de solo apresenta um comportamento de atrito com a borracha.

Atráves de algumas pesquisas foram obtidos resultados aproximados do coeficiente de atrito dos solos em que o exoesqueleto será mais utilizado, dentre eles se destacam, o cimento seco e o piso emborrachado são os mais seguros para trabalhar, pois possuem um grande coeficiente de atrito estático com a borracha.

Figura 8 - Gráfico do coeficiente de atrito da borracha



(Fonte:Próprios autores)

## 5.16 Observações Importantes

A partir de todos os dados coletados chegamos a um limite de peso máximo que o exoesqueleto suporta que é uma pessoa de 90,56kg, o limite fica apenas entre os amortecedores têm um limite de 420N cada.

## 5.17 Análise de custos

O custo de produção do Exoesqueleto Chairless Chair é bastante econômico, uma vez que tudo o que foi utilizado pode ter procedência de reciclagem. O projeto em questão teve ajuda de vários estabelecimentos como: Serralheria, Ateliê De Costura, oficina automotiva e tapeçaria, onde nos doaram muitos dos itens listados.

---

Item	Qtd	Valor
Amortecedor	2	45,00
Assento	2	30,00
Cinto	1	20,00
Chapa 3mm	30cm	15,00
Coxin de borracha	2	12,00
Elástico extensor	1m	15,00
Parafuso M6	6un	4,00
Plug rápido de mochila	10un	4,00
Tubo de aço	2m	13,00
<b>VALOR TOTAL</b>	—	<b>158,00</b>

## 5.18 Materiais e equipamentos

Para a confecção do exoesqueleto foram utilizados os seguintes:

### Materiais

- *2 metros de tubo de aço SAE1020 1"*
- *50cm de chapa de ferro 3/8"*
- *2 amortecedores pequenos modificados*
- *1m de fibra de vidro*
- *Rebites, parafusos e porcas*

### Equipamentos:

- *Esmerilhadeira*
- *Furadeira*
- *Lima, grossa e punção*
- *Máquina de solda*

### Softwares:

- *AutoCAD*
- *Inventor*
- *Matlab*

## 6.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na construção do projeto obtivemos alguns problemas que nos levaram a seguir outros caminhos, como por exemplo original do exoesqueleto seria a utilização de uma espécie de caneleira de fibra na parte da panturrilha, inserindo um conforto maior ao usuário, porém como seria acoplado no projeto houve um desconforto ao realizar os movimentos esperados no uso, podendo assim levar a até mesmo uma lesão.

O projeto tem um grande potencial de desenvolvimento, e desse modo o semestre foi focado no estudo do modelo de exoesqueleto e na sua construção mecânica.


Dessa maneira fica presente algumas ressaltas, como o uso de materiais e adequações estruturais mais propícios ao mercado industrial, o que inclui peças mais leves e com uma estética mais atrativa ao público. Outro aspecto, seria o da ergonomia que consiste na otimização e na segurança do funcionário ao utilizar o equipamento, devido a isso é essencial que o desenvolvimento do projeto esteja diretamente ligado a esses conceitos.

No presente trabalho existe melhorias que serão feitas para os próximos semestres, como mudar o posicionamento do assento para mais perto dos glúteos aumentando o conforto, a parte da perna inferior (canelas) necessita de uma nova articulação pois quando a pessoa senta e levanta o exoesqueleto acaba se movimentando e levanta muito do solo, a outra é a de substituir o aço 1020 por um polímero sintético por ter um bom custo-benefício, sendo também mais leve e resistente.

## 7 CRONOGRAMA

O cronograma do nosso trabalho foi de grande ajuda, entretanto não conseguimos seguir todas as atividades em seu tempo determinado. Apesar de nem todos os envolvidos auxiliarem nas atividades, todas foram acompanhadas pelos integrantes do grupo.

Figura 9 - Cronograma

 <b>IFMG Campus Avançado Arcos - Curso de Engenharia Mecânica</b> <b>Cronograma de Atividades - TAI</b>		TAI n°: 1					
		Ano: 2019					
		Semestre: 1					
Atividades		Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho
N°	Descrição da atividade	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1
1	Decisão do projeto	Plan.	Realiz.				
2	Materiais e orçamento	Plan.	Realiz.				
3	Relatório do projeto	Plan.	Realiz.				
4	Desenho e modelagem 3D	Plan.	Realiz.				
5	Preparação e apresentação parcial	Plan.	Realiz.				
6	Cálculos e testes do projeto	Plan.	Realiz.				
7	Construção do protótipo	Plan.	Realiz.				
8	Revisão e acabamentos	Plan.	Realiz.				
9	Preparação e apresentação final	Plan.	Realiz.				

(Fonte:Próprios autores)

---

## 8 REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA

HIBBELER, R.C. **Estática: Mecânica para engenharia**. 12.ed –São Paulo SP: Tradução [S.l.]: Pearson Prentice Hall,2011.

CAMARGO, Ivan. **Geometria Análítica**. 3.ed. rev e ampl. –São Paulo SP: Pearson Prentice Hall, 2005.

HIBBELER, R.C. **Resistência dos materiais**. 7.ed. - São Paulo SP: Pearson Prentice Hall, 2010.

RIZZO, José. **Saiba o que é a Indústria 4.0 e descubra as oportunidades que ela gera**, 2019. Disponível em:

<<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/saiba-o-que-e-a-industria-40-e-descubra-as-oportunidades-que-ela-gera,11e01bc9c86f8510VgnVCM1000004c00210aRCRD>> Acesso em: 7 de Maio de 2019.

LUZ, Gelson. **Propriedades Mecânicas do aço 1020**, 2019. Disponível em:

<<https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-sae-1020-propriedades-mecanicas.html>> Acesso em: 7 de Maio de 2019.

SERCEL SOLUÇÕES EM FIBRAS. **Tipos de resistências que a fibra de vidro proporciona às peças**. Disponível em: <<http://www.sercel.com.br/blog/fibra-de-vidro-blog/tipos-de-resistencias-que-a-fibra-de-vidro-proporciona-as-pecas.html>> .Acesso em: 23 de maio de 2019.

SILVA, Cleide. **Em fábrica da Fiat, operários e exoesqueletos**. Disponível em:

<<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,em-fabrica-da-fiat-operarios-e-exoesqueletos,70002150839>> .Acesso em: 24 de junho de 2019.

UNIMED FORTALEZA. **5 doenças relacionadas ao trabalho e como evitá-las na sua empresa**. Disponível em: <<https://www.unimedfortaleza.com.br/blog/para-sua-empresa/doencas-relacionadas-ao-trabalho-como-evitar-na-empresa>> .Acesso em: 18 de junho de 2019.

Ferreira, Vitor. **Da jornada de trabalho exaustiva** Disponível em: <<https://m.migalhas.com.br/depeso/255063/da-jornada-de-trabalho-exaustiva-dano-existencial-repercussoes>> .Acesso em: 18 de junho de 2019.

# Apêndices

## APÊNDICE A - CONSTRUÇÃO DA ESTRUTURA

Figura 10 - Construção do protótipo



(Fonte:Próprios autores)

## APÊNDICE B - CONSTRUÇÃO DO ASSENTO

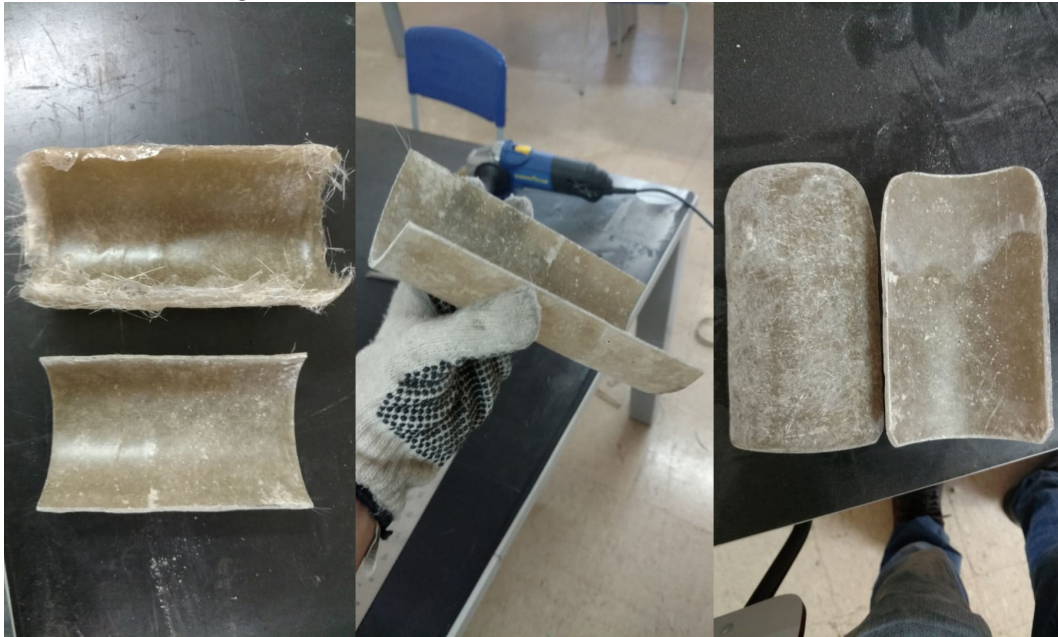
Ao total foram 6 camadas de manta de fibra, entre cada camada é aplicado um reagente químico que endurece em poucos minutos, após a secagem o acabamento foi feito com lixa para não oferecer nenhum perigo de se cortar na fibra, depois de cortado com uma esmerilhadeira foi modelado e arredondado com limas manuais.

## APÊNDICE C - DESENHO TÉCNICO DO PROTÓTIPO

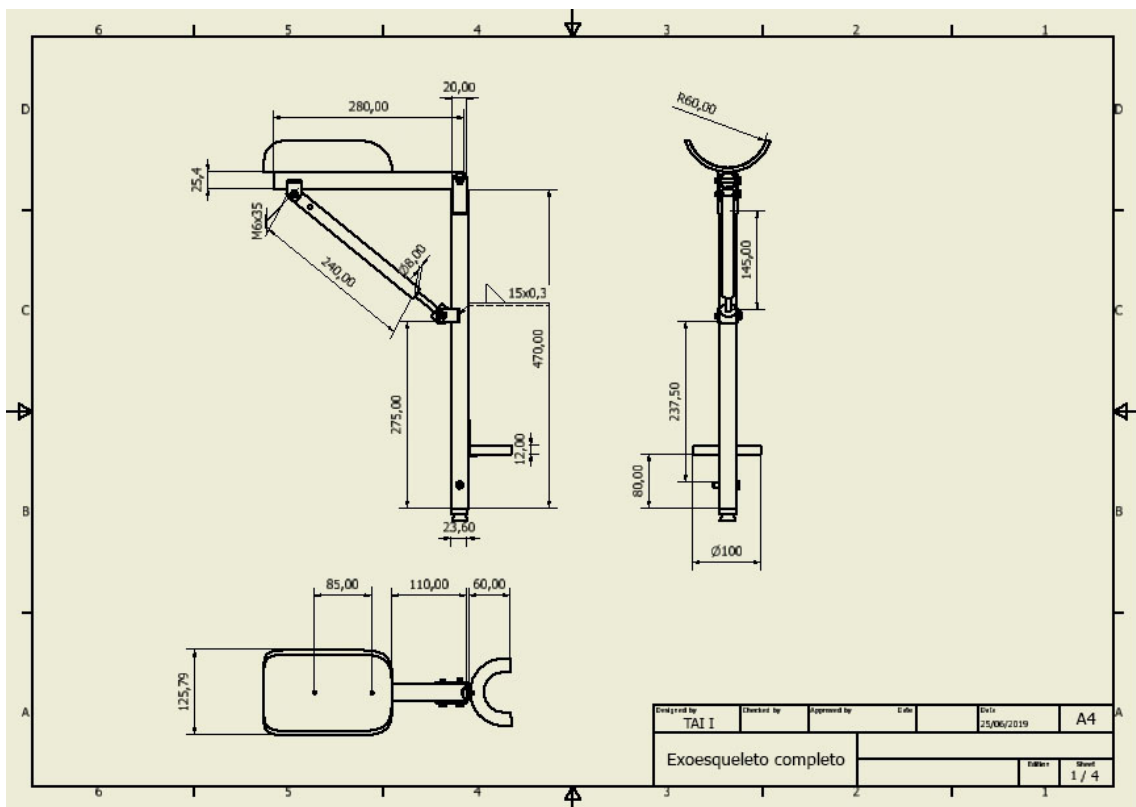
Figura 12 - Desenho Técnico do projeto



Figura 11 - Assento moldado com fibra de vidro



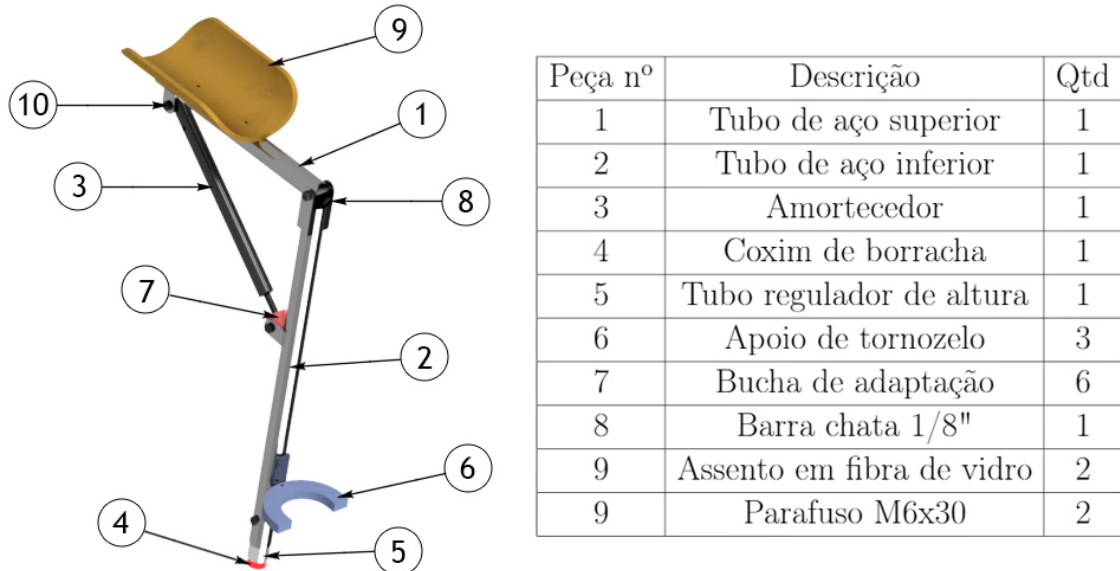
(Fonte:Próprios autores)



(Fonte:Próprios autores)

## APÊNDICE D - MODELAGEM 3D E DESCRIÇÃO DAS PEÇAS

Figura 13 - Demonstração de peças



(Fonte:Próprios autores)

## APÊNDICE E - APLICAÇÃO DE FORÇAS Y

$$\Sigma My = 0$$

$$\Sigma My \Rightarrow F1 - Ay = 0$$

$$\Sigma My \Rightarrow 348 - Ay = 0 \Rightarrow Ay = 348$$

Aplicação de forças nos pontos B, C e D:

Entre os pontos D e C a força se relaciona da seguinte forma:

$$F1 \cdot \cos 120N = \overrightarrow{DC}$$

$$348 \cdot \cos 120N = -174N$$

Como a solução  $\overrightarrow{DC}$  resultou em um sinal negativo, o vetor tem seu sentido invertido, se tornando  $\overrightarrow{CD}$ . Portanto  $\overrightarrow{CD} = -174$ .

$$\Sigma M\overrightarrow{DC} = 0$$

$$\overrightarrow{DC} - 174N = 0$$

$$\overrightarrow{DC} = 174N$$

Entre os pontos D e B a força se relaciona da seguinte forma:

$$F1 \cdot \cos 155N = \overrightarrow{DB}$$

$$348 \cdot \cos 155N = -315,4$$

Como a solução  $\overrightarrow{DB}$  resultou em um sinal negativo, o vetor tem seu sentido invertido, se tornando  $\overrightarrow{BD}$ . Portanto  $\overrightarrow{BD} = -315,4$ .

$$\Sigma M \overrightarrow{DB} = 0$$

$$\overrightarrow{DB} - 315,4 = 0$$

$$\overrightarrow{DB} = 315,4$$

Entre os pontos A, B e C:

Considerando  $\overrightarrow{AB} = \overrightarrow{AC}$ , a força se relaciona da seguinte forma:

$$Ay \cdot \cos 60N = \overrightarrow{AC}$$

$$-348 \cdot \cos 60N = \overrightarrow{AC}$$

$$-174 = \overrightarrow{AC}$$

Como a solução  $\overrightarrow{AC}$  resultou em um sinal negativo, o vetor tem seu sentido invertido, se tornando  $\overrightarrow{CA}$ . Portanto  $\overrightarrow{CA} = -174$ .

Considerando  $\overrightarrow{CB} = \overrightarrow{CA}$ , a força se relaciona da seguinte forma:

$$\Sigma M \overrightarrow{AC} = 0$$

$$\overrightarrow{CA} + 174 = 0$$

$$174 = \overrightarrow{AC}$$