

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

*Campus* DIVINÓPOLIS

GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

Pedro Henrique Nunes

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO APLICADO À  
UMA CADEIRA DE RODAS CONVENCIONAL

Divinópolis, 2019

Pedro Henrique Nunes

## DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO APLICADO À UMA CADEIRA DE RODAS CONVENCIONAL

Proposta de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Mecatrônica como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico.

Áreas de integração: Mecânica e Automação.

Orientador: Prof. Me. Juliano de Barros Veloso e Lima.

Divinópolis, 2019



**Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas  
Gerais CEFET-MG/Campus Divinópolis  
Curso de Engenharia Mecatrônica**

Monografia intitulada *DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO APLICADO A UMA CADEIRA DE RODAS CONVENCIONAL*, de autoria do graduando Pedro Henrique Nunes, aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

---

Prof. Me. Juliano de Barros Veloso e Lima - CEFET-MG / Campus Divinópolis  
- Orientador

---

Prof. Me. Marlon Henrique Teixeira - CEFET-MG / Campus Divinópolis

---

Prof. Dr. Cláudio Parreira Lopes - CEFET-MG / Campus Divinópolis

---

Prof. Dr. Lúcio Flavio Patrício  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecatrônica  
CEFET-MG / Campus Divinópolis

Divinópolis - Junho de 2019

## **AGRECIAMENTOS**

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela oportunidade de cursar um ensino gratuito e de qualidade, além de proporcionar força, foco e sabedoria para vencer as dificuldades do curso.

Aos meus pais e irmão, por todo o apoio crucial e compreensão durante todos esses anos.

Aos meus amigos, por todas as vezes que serviram de ombro amigo para que pudesse superar as adversidades.

Ao meu orientador Juliano, por se tornar um amigo e me proporcionar experiências práticas que não tive a oportunidade de experimentar no decorrer do curso.

Agradeço também a empresa ADEFOM, pela troca de experiências com o público-alvo desse projeto.

Ao CEFET-MG, seu corpo docente, direção, administração e todas às pessoas que convivi nesses espaços ao longo desses anos.

E a todos que de direta ou indiretamente contribuíram para que esse sonho se tornasse realidade, meu mais sincero obrigado.

"Nem mesmo a Lua necessita  
de seu corpo inteiro para encantar o mundo."

**Autor Desconhecido**

## RESUMO

A tecnologia assistiva vem, aos poucos, ganhando seu espaço no âmbito acadêmico, industrial e mercadológico. Com isso, o seu dispositivo mais característico - a cadeira de rodas - vem ganhando diversas configurações e modelos que auxiliam na locomoção de seus usuários e promovem inclusão e aumento da qualidade de vida. Muitos desses dispositivos são totalmente motorizados e instigam a independência do indivíduo. Porém, tais equipamentos são de preços elevados e podem não se encaixar em determinadas situações, principalmente em um ambiente urbano. Assim, o objetivo desse trabalho é desenvolver, a partir de uma cadeira de rodas convencional, um sistema de mobilidade urbana para portadores de necessidades especiais, que auxilie no deslocamento do usuário em situações adversas. Para tanto, será definido um atuador para o sistema, juntamente com o sistema de transmissão e um microcontrolador, para que sejam acoplados de maneira adequada à estrutura do dispositivo. Feito isso, serão especificados também sensores de proximidade e luminosidade, auxiliando assim na tomada de decisões. Ao final, pretende-se idealizar um dispositivo que seja aplicado a um usuário de cadeira de rodas. Este trabalho engloba grandes áreas do curso de Engenharia Mecatrônica, sendo elas: Mecânica e Automação.

**Palavras-chave:** Tecnologia assistiva; Cadeira de rodas; Mobilidade Urbana.

## ABSTRACT

Assistive technology is slowly gaining its space in the academic, industrial and marketing sphere. With this, its most characteristic device - the wheelchair - has been gaining diverse configurations and models that help in the locomotion of its users and promote inclusion and increase the quality of life. Many of these devices are fully motorized and instigate the individual's independence. However, such equipment is expensive and may not fit in certain situations, especially in an urban environment. Thus, the objective of this work is to develop, from a conventional wheelchair, a system of urban mobility for people with special needs, which helps in the displacement of the user in adverse situations. For this purpose, an actuator for the system, together with the transmission system and a microcontroller, will be defined so that they are coupled in a suitable way to the structure of the device. Once this is done, you will also be able to specify possible proximity and brightness sensors, thus helping you to make decisions. At the end, it is intended that it be tested by a wheelchair user. This work encompasses major areas of the Mechatronics Engineering course, including: Mechanics and Automation.

**Keywords:** Assistive technology; Wheelchair; Urban mobility.

## Lista de Figuras

Figura 1 - Modelo comercializado pela empresa Ortoponto.....	4
Figura 2 - Modelo comercializado pela empresa Cavenaghi. ....	5
Figura 3 - Modelo comercializado pela empresa Freedom. ....	5
Figura 4 - Modelo comercializado pela empresa Zinger. ....	6
Figura 5 - Veículos Moby na Itália. ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 6- (a) Sistema projetado por Harris; (b) Visão do sistema de transmissão das rodas .....	8
Figura 7 - Sistema motorizado. (a) Visão geral do protótipo; (b) Vista interna do sistema motorizado. ....	9
Figura 8 - Aparelho proposto por Takada.....	10
Figura 9 - Modelo sugerido por Lopresti: (a) Vista lateral enfatizando os motores nas rodas (b) Vista frontal demonstrando o alcance dos sensores. ....	10
Figura 10 - Modelos de tecnologia assistiva. ....	11
Figura 11 - Área com elemento infinitesimal. ....	15
Figura 12 - Motor de Passo. ....	17
Figura 13 - Servo Motor.....	17
Figura 14 - Variáveis envolvidas para o cálculo da potência do motor.....	18
Figura 15 - Sensor Reflexivo Infravermelho TCRT5000. ....	20
Figura 16 - Elementos básicos de um microprocessador. ....	22
Figura 17 - Raspberry Pi 3 Model B. ....	23
Figura 18 - Estados de polarização do motor (MAGAR, 2018).....	24
Figura 19 - Logo da Instituição ADEFOM.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 20 - Modelo de cadeira de rodas convencional utilizado no projeto. ....	27
Figura 21 - Estrutura pretendida No SolidWorks.....	28
Figura 22 - Atividade no Galpão de Mecânica.....	29
Figura 23 - Atividade de solda no Galpão da Mecânica.....	29
Figura 24 - Gabaritação Simples. ....	30
Figura 25 - Diagrama de Corpo Livre.....	31
Figura 26 - Diagrama de Corpo Livre.....	32
Figura 27 - Nós onde ocorre a junção dos elementos.....	33
Figura 28 - Esforços nos Nós relacionados. ....	34
Figura 29 - Rodas ainda não instaladas na estrutura.....	35
Figura 30 - Rodas na estrutura com mancais.....	36
Figura 31 - Sistema de transmissão coroa-catraca. ....	37
Figura 32 - Motor usado no projeto. ....	39
Figura 33 - Fixação do Motor á estrutura. ....	40
Figura 34 - Motor, pinhão e acoplamento.....	41
Figura 35 - Motor com pinhão acoplado. ....	41
Figura 36 - Bateria utilizada no projeto. ....	42
Figura 37 - Joystick utilizado no projeto.....	43
Figura 38 - Sensor ultrassônico SRF06.....	43
Figura 39 - Comparativo de microcontroladores encontrados no mercado. ....	44
Figura 40 - Estrutura Construída.....	46
Figura 41 - Simulação da Estrutura.....	46



## Lista de Tabelas

Tabela 1: Parâmetros do Modelo Apresentado .....	29
Tabela 2: Valores para Cálculos Estruturais.....	32
Tabela 3: Parâmetro do Motor Elétrico.....	42.
Tabela 4: Parâmetro da Bateria.....	4Error! Bookmark not defined.
Tabela 5: Cronograma Previsto.....	51
Tabela 6: Estimativa de Gasto do Projeto.....	52

## Sumário

1. Introdução.....	1
1.1 Definição do problema.....	2
1.2 Motivação .....	2
1.3 Objetivos .....	3
1.3.1 Objetivo Geral .....	3
1.3.2 Objetivos Específicos .....	3
1.5 Estado da Arte.....	4
1.6 Organização do Documento .....	8
2. Revisão da Literatura .....	9
2.1 Revisão Bibliográfica .....	9
2.2 Fundamentação Teórica.....	12
2.2.1 Tecnologia Assistiva.....	12
2.2.2 Desenvolvimento de Produtos .....	13
2.2.3 Ergonomia.....	14
2.2.4 Estática .....	14
2.2.4.1 Equilíbrio de Corpos Rígidos.....	15
2.2.5 Resistência dos Materiais .....	15
2.2.5.1 Tensão.....	15
2.2.5.1 Tensões Normais.....	16
2.2.6 Momento de Inércia.....	16
2.2.7 Atuador.....	18
2.2.7.1 Motor de Passo.....	18
2.2.7.2 Servo Motor.....	19
2.2.8 Cálculo da Potência Requerida pelo motor.....	20
2.2.9 Torque do Motor.....	21

2.2.10 Sensores.....	22
2.2.10.1 Sensor Infravermelho.....	22
2.2.10.2 Sensor Ultrassônico.....	22
2.2.11 Microcontrolador.....	23
2.2.11.1 Raspberry Pi.....	24
2.2.11.2 Sistema Operacional.....	25
2.2.12 Ponte H.....	26
3. Metodologia.....	28
3.1 Estrutura.....	29
3.1.1 Análise Estrutural.....	32
3.2 Rodas e Mancais.....	37
3.3 Sistema de Transmissão.....	39
3.4 Cálculo de Potência do Motor.....	40
3.5 Escolha do atuador.....	41
3.6 Bateria.....	44
3.7 Joystick.....	45
3.8 Sensores.....	45
3.9 Microcontrolador.....	46
4. Resultados e Discussões.....	49
5. Conclusões.....	51
6. Proposta de Trabalhos Futuros.....	52
Bibliografia.....	53

## Lista de Acrônimos

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

PNE - Portadores de Necessidades Especiais

TA - Tecnologia Assistiva

RAM - Random Access Memory - Memória de Acesso Aleatório

ROM - Read-Only Memory - Memória de Somente Leitura

A/D - Analógico/Digital

D/A - Digital/Analógico

SD - Secure Digital

HDMI - High-Definition Multimedia Interface

GPIO - General Purpose Input/Output

# 1. INTRODUÇÃO

Apesar de cada vez mais esquecidos pela maioria da população, os portadores de necessidades especiais (PNE's) são bastante presentes no cotidiano. Estima-se que no Brasil, cerca de 1,3% da população seja do tipo PNE e, desse grupo, 46,8% possua um grau elevado de limitação e apenas 18,4% participa de algum grupo de reabilitação (IBGE, 2018). Com isso, diferentes tipos de produtos especializados em PNE's foram sendo criados, dando início a chamada tecnologia assistiva. Assim, além de trazer benefícios para os portadores, surgiu a possibilidade de um novo mercado consumidor, o que vem atraindo a atenção de investidores.

Contudo, apesar de existirem diversos novos tipos de instrumentos e produtos especializados em PNE's, a cadeira de rodas ainda é o mais característico dispositivo relacionado à tecnologia assistiva. Sabe-se que seu objetivo principal é possibilitar a locomoção (em alguns casos, independente) para pessoas com funções físicas limitadas. Sendo assim, nota-se que as cadeiras de rodas têm sido utilizadas por indivíduos que se encontram em diferentes situações que estão relacionados à deterioração da função locomotora. Em contrapartida, ainda que seja bastante disseminada, as cadeiras de rodas têm sido denominadas por seus usuários como um "fator limitador da participação comunitária" (CHAVES, 2004).

A utilização de uma cadeira de rodas manual é relacionada a um processo de adaptação dos braços para uma tarefa para a qual não foram preparados: possibilitar a movimentação. Dessa forma, o usuário se vê diante de situações que podem proporcionar uma perigosa combinação de cargas elevadas ou movimentação repetitiva dos membros superiores, o que pode resultar em constante ocorrência de lesões nos ombros, punhos e mãos. Para o público em questão, essas lesões desempenham um papel consideravelmente maléfico, o que acarreta na redução da qualidade de vida e dependência de terceiros (BONINGER, 2004).

Neste cenário, a solução direta que visa sanar o problema dos esforços realizados pelos membros superiores é a implantação de cadeiras de rodas motorizadas. Esse tipo de sistema proporciona a eliminação da carga mecânica realizada pelos membros superiores, além de auxiliarem na locomoção por maiores distâncias em terrenos inclinados. Porém, esse tipo de dispositivo expõe o usuário a um quadro de sedentarismo que pode ocasionar em problemas de saúde como: diabetes, obesidade e doenças cardiovasculares. Além disso, estes equipamentos

motorizados muitas vezes não se adaptam á terrenos íngremes e irregulares, sem contar o fato de que possuem custo elevado (VAN DER WOUDE, 2006).

Com a proposta de melhorar esse contexto, reduzindo os esforços nos membros superiores com ênfase na melhoria da eficiência mecânica, alguns estudos estão sendo realizados. Porém, a propulsão manual ainda continua sendo a principal alternativa para a locomoção do usuário de cadeira de rodas. Os fatores que contribuem para isso são as dimensões aumentadas e a dificuldade de adaptação dos usuários ao novo sistema de locomoção (KOONTZ, 2006).

Uma vez observada a necessidade e possibilidade de desenvolvimento de um protótipo, neste trabalho é proposto a investigação da instrumentação, adaptação e implementação de um sistema de mobilidade urbana a partir de cadeiras de rodas convencionais. Dessa forma, busca-se favorecer a funcionalidade do equipamento e incentivar a independência de locomoção. Com isso, procura-se averiguar o desenvolvimento de um sistema que possibilite a locomoção de PNE's em ambientes urbanos e em terrenos irregulares. Assim, pretende-se diminuir o esforço aplicado pelos membros superiores, evitando que o usuário tenha que realizar movimentos que possam ser prejudiciais a saúde do mesmo. Ao final, espera-se obter um estudo aprimorado para o desenvolvimento de um protótipo de um dispositivo que atenda às necessidades encontradas e englobando as áreas de Mecânica e Automação da Engenharia Mecatrônica.

## **1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA**

Este trabalho trata da investigação de um sistema de mobilidade urbana baseado em uma cadeira de rodas convencional que auxilie na movimentação e inclusão de deficientes físicos na sociedade. Pretende-se que o sistema possibilite a incrementação de sensores e atuadores, tendo em vista a escassez de produtos deste tipo no mercado interno.

## **1.2 MOTIVAÇÃO**

A principal motivação para a realização deste trabalho surgiu da percepção da falta de produtos relacionados no mercado. Além disso, este último se revela em ascensão e com grandes expectativas de desenvolvimento de novos produtos, o que justifica o interesse para a realização desse.

Assim, esse projeto possui caráter social em sua essência, visto que os PNE's sofrem com diversos empecilhos em seu cotidiano sendo que a mecatrônica pode ser acionada como tentativa de saná-los.

Para a realização deste projeto, o autor contou com um auxílio da Instituição ADEFOM (Associação de Apoio aos Deficientes Físicos do Oeste de Minas), localizada em Divinópolis, que é referência no trato e reabilitação de deficientes físicos para sua inclusão na sociedade. Sua contribuição será relatada no decorrer do trabalho.

### **1.3 OBJETIVOS**

Nestes termos, apresentam-se como objetivos deste projeto:

#### **1.3.1 Objetivo geral**

Investigação de um sistema de automação e instrumentação aplicado à uma cadeira de rodas convencional.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Analisar e verificar os parâmetros operacionais das cadeiras de rodas automatizadas e convencionais encontradas no mercado interno e externo;
- Realizar um estudo em relação às características necessárias para a adaptação da cadeira de rodas convencional;
- Desenvolver uma simulação para a realização das devidas análises;
- Investigar um sistema de transmissão eficiente e de fácil manutenção;
- Especificar possíveis sensores;
- Apurar possíveis sistemas embarcados para o sistema;
- Construir a estrutura de um protótipo;
- Testar e validar o protótipo.

## 1.4 ESTADO DA ARTE

No momento atual, é possível encontrar algumas empresas que oferecem diferentes soluções para o mercado de pessoas com deficiência física, mais especificamente aquelas que fazem uso da cadeira de rodas.

A empresa Ortoponto (ORTOPONTO, 2018) desenvolveu uma cadeira de rodas totalmente automatizada, constituída de aço náutico temperado e com uma capacidade de até 120 kg. Esse modelo, chamado de E4 ULX, faz uso de um motor de 320 W, movido à bateria. De acordo com consumidores deste modelo, o mesmo não é satisfatório em situações onde erguer a cadeira de rodas se torna necessário (como subir uma escada, por exemplo), devido ao fato da bateria não ser removível e o dispositivo ser pesado. O preço médio deste modelo é de R\$ 9.199,00. A Figura 1 mostra o produto comercializado pela empresa Ortoponto.



Figura 1 - Modelo comercializado pela empresa Ortoponto.

Fonte: (ORTOPONTO, 2018).

Um outro exemplo encontrado é o modelo comercializado pela empresa Cavenaghi, que tem sede em São Paulo. O dispositivo fornecido é especialmente adaptado para crianças que possuem diferentes tipos de limitações. Esse produto custa em média R\$ 13.200,00 e possui dimensões reduzidas, devido ao seu público-



alvo infantil (CAVENAGHI, 2018). A Figura 2 mostra o produto oferecido pela Cavenaghi.



Figura 2 - Modelo comercializado pela empresa Cavenaghi.

Fonte: (CAVENAGHI, 2018).

A empresa *Freedom* distribui a linha de cadeira de rodas chamadas de *Freedom Stand Up*. Essa linha diz respeito a um modelo de cadeiras articuladas que exercem a função ortostática, que auxiliam no processo digestivo e na prevenção da osteoporose. Além disso, o modelo se adequa a diferentes tamanhos, de acordo com as condições físicas do usuário. Um item da linha *Freedom Stand Up* tem custo de aproximadamente R\$ 14.483,66, e é encontrado somente em lojas especializadas (FREEDOM, 2018). A Figura 3 exemplifica o modelo comercializado pela empresa *Freedom*.



Figura 3 - Modelo comercializado pela empresa Freedom.

Fonte: (FREEDOM, 2018).

A empresa americana *Zinger* lançou no ano de 2018 um modelo de cadeira de rodas automatizada que é totalmente dobrável. Dessa forma, o produto em questão é de fácil transporte e com peso consideravelmente reduzido. Além disso, o produto oferece um *design* inovador. Porém, o produto ainda não é comercializado no Brasil, estando disponível somente nos Estados Unidos pelo preço de aproximadamente U\$ 3.000,00 (R\$ 9.300,00) (ZINGER, 2018). A Figura 4 demonstra o modelo oferecido pela *Zinger*.



Figura 4 - Modelo comercializado pela empresa Zinger.

Fonte: (ZINGER, 2018)

## 1.5 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

O presente trabalho é dividido em 6 capítulos, são eles: Introdução, Revisão de Literatura, Metodologia, Resultados e Discussões, Conclusões e Propostas para Trabalhos Futuros. No primeiro capítulo é feita uma contextualização a cerca do tema, os estudos mais recentes sobre o assunto abordado neste trabalho, a problematização, os objetivos de projeto e a metodologia escolhida para o seu desenvolvimento.

No capítulo seguinte, são tratados os principais conceitos necessários para a realização do trabalho e um breve histórico do processo de automação de cadeiras de rodas.

No terceiro capítulo, são descritas as atividades desenvolvidas durante o estudo. É também onde estão evidenciados os resultados obtidos a partir dos passos anteriores.

Por fim, são apresentados os resultados e suas respectivas análises, e posteriormente apresenta-se as considerações de possíveis trabalhos futuros.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo descreve um breve histórico sobre o desenvolvimento e aplicações relacionadas às cadeiras de rodas automatizadas e sistemas de mobilidade urbana, bem como os principais conceitos referentes a este trabalho.

### 2.1 Revisão Bibliográfica

Apesar de ser considerado um termo novo, estudos relacionados à tecnologia assistiva já são desenvolvidos ao longo do tempo. Muitos deles se tornaram patentes e apresentaram conceitos inovadores que serviram como referência para muitos modelos encontrados atualmente.

No fim da década de 70, surgiram os primeiros estudos que dizem respeito à dispositivos automatizados. Harris apresentou uma cadeira de rodas com um sistema de assistência motorizada que era aplicado à duas rodas dianteiras. Cada roda possui um motor independente que, à medida em que os aros das cadeira são acionados, um sistema de mola no aro controla a energização dos motores. Um sistema envolvendo cabos e hastes garante que um potenciômetro acoplado na roda irá aumentar o suprimento elétrico da bateria para o motor, de acordo com o movimento relativo do aro em relação à roda. O motor é acoplado na roda dianteira através de uma engrenagem helicoidal (HARRIS, 1978). A Figura 6 mostra o dispositivo idealizado por Harris.

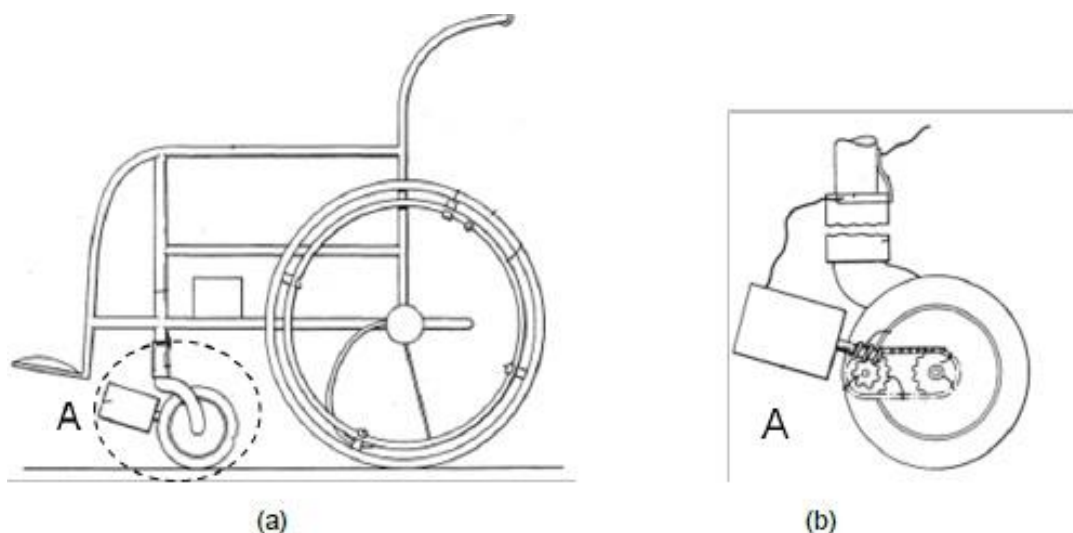


Figura 5- (a) Sistema projetado por Harris; (b) Visão do sistema de transmissão das rodas

Fonte: (HARRIS, 1978).

Em 1993, Ahshing e sua equipe propuseram uma cadeira de rodas designada para pessoas que possuíam também algum tipo de deficiência nos membros superiores, mas com alguma capacidade de realizar esforço. Ou seja, os pacientes deveriam ser capazes de realizar uma quantidade mínima de esforço durante alguns momentos para locomover a cadeira de rodas de maneira satisfatória. Isso é feito através um sistema motorizado instalado logo abaixo do assento e em posição medial às rodas traseiras, objetivando assim a instalação e manutenção do dispositivo. A assistência motorizada acontece de maneira independente em cada roda e pode ser controlada pelo usuário através de um painel com botões instalado em um dos braços da cadeira (AHSHING, 1993). A Figura 6 mostra o protótipo proposto, mostrando o sistema motorizado instalado abaixo do assento e sua respectiva vista interna.

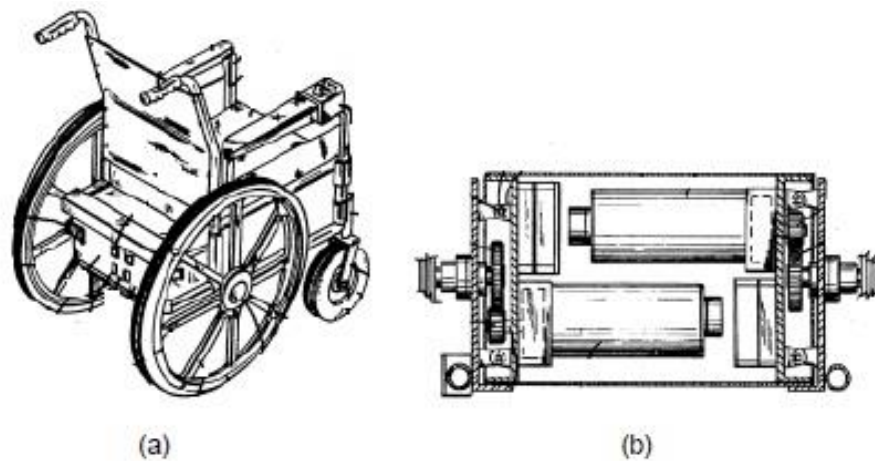


Figura 6 - Sistema motorizado. (a) Visão geral do protótipo; (b) Vista interna do sistema motorizado.

*Fonte:* (AHSING, 1993).

No início do século XXI, uma equipe de cientistas japoneses chefiado por Takada apresentou um dispositivo de assistência motorizada que pode ser encaixado e removido da estrutura de uma cadeira de rodas convencional. Para tanto, o dispositivo é composto por sensores fotoelétricos que coletam quais as posições pré-determinadas da cadeira. Além disso, o aparelho proposto por Takada possui motores de condução que engatam o mesmo ao corpo de cadeira, depois que os sensores captarem as posições corretas dos braços do dispositivo em relação à estrutura da cadeira. O sistema possui ainda sensores de rotação angular, que servem para auxiliar o bom funcionamento do dispositivo em terrenos irregulares (TAKADA, 2002). A Figura 7 ilustra o aparelho apresentado por Takada e sua equipe.

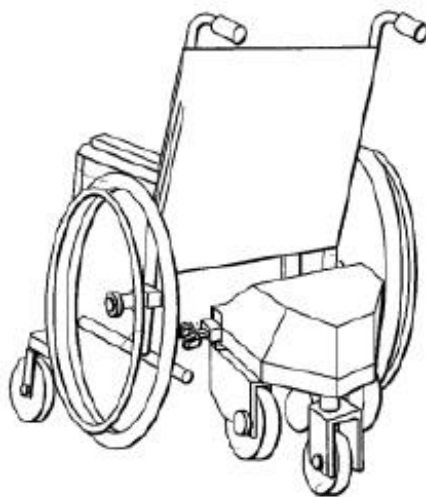


Figura 7 - Aparelho proposto por Takada.

*Fonte:* (TAKADA, 2002).

Em 2007, o cientista americano Lopresti idealizou um protótipo que além de oferecer assistência motorizada, é capaz de auxiliar no choque contra eventuais obstáculos. Para tanto, a cadeira possui em sua constituição diversos tipos de sensores que são capazes de medir desde a força aplicada em cada roda até a distância a qual o usuário se encontra do obstáculo mais próximo. Essas informações são direcionadas para um microprocessador, que está localizado na parte inferior do assento, que processa e toma as decisões convenientes. Cada roda possui o seu motor independente e é acoplado na parte interna da mesma (LOPRESTI, 2007). A Figura 9 mostra o dispositivo sugerido por Lopresti.

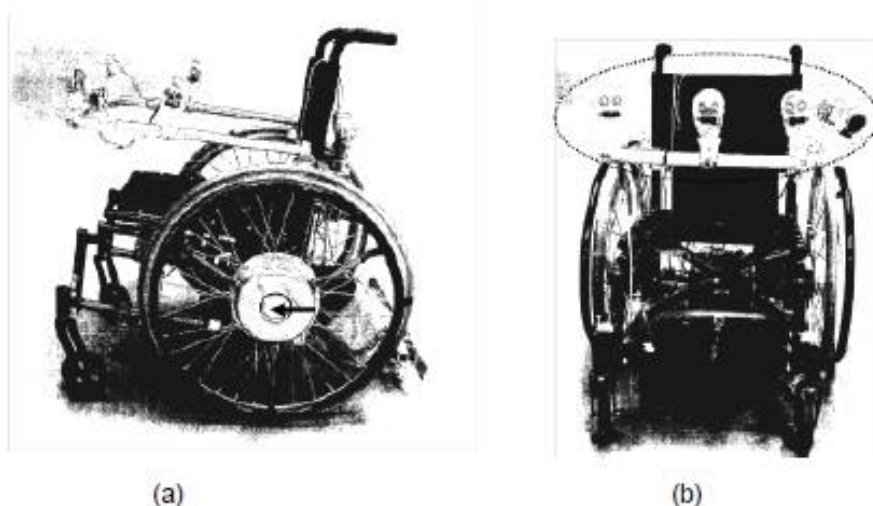


Figura 8 - Modelo sugerido por Lopresti: (a) Vista lateral enfatizando os motores nas rodas (b) Vista frontal demonstrando o alcance dos sensores.

*Fonte:* (LOPRESTI, 2007).

## 2.2 Fundamentação Teórica

### 2.2.1 Tecnologia Assistiva

A Tecnologia Assistiva (TA) é um termo criado recentemente, muito utilizado para identificar todo o arsenal de recursos e serviços que contribuem para proporcionar, ampliar e expandir as habilidades funcionais de pessoas com deficiência. Conseqüentemente, a Tecnologia assistiva auxilia na propagação da inclusão de PNE's na sociedade, bem como promove a vida independente dos mesmos (BERSCH & TONOLLI, 2017).

Segundo BERSCH (2017), os recursos relacionados à Tecnologia Assistiva são divididos em categorias, que são denominadas de acordo com os objetivos funcionais a que cada uma se destina. Ao todo são 12 categorias, que vão desde auxílios para a vida diária e prática até adequação postural, passando por recursos para deficientes visuais e auditivos.

Uma das maiores dificuldades encontradas no âmbito da TA é a dificuldade de diferenciar a mesma de recursos profissionais oferecidos na área médica. Enquanto a primeira se preocupa com a adequação do paciente à sociedade; a segunda tem como foco a melhoria da qualidade das atividades dos profissionais da área.

A Figura 10 ilustra alguns modelos de tecnologia assistiva.



Figura 9 - Modelos de tecnologia assistiva.

Fonte: (ABCESCLOROSE MULTIPLA, 2017).

### **2.2.2 Ergonomia**

Entende-se como definição de ergonomia a adaptação do trabalho ao homem (CORREA, 2014). Sua origem se deu logo após a II Guerra Mundial e tinha como principal foco a interação homem-máquina. Atualmente ela é mais abrangente e atua em sistemas mais complexos, nos quais estão conectadas dezenas ou até mesmo centenas de elementos que interagem entre si, como os dispositivos da tecnologia assistiva.

A ergonomia, como ciência, parte do pressuposto do conhecimento humano para elaborar projetos que melhorem as condições de trabalho do funcionário. A adaptação sempre ocorre do trabalho para o homem, e a recíproca nem sempre é válida, pois é muito complexo adaptar o homem ao trabalho (CORREA, 2014).

Para a ergonomia alcançar seu objetivo são levantados diversos fatores que podem influenciar nos projetos dos sistemas, dentre os quais se destacam: o homem, a máquina, o ambiente, a informação, a organização e as consequências do trabalho. A partir dessa aquisição de dados é possível elaborar projeto que atenda aos requisitos pré-estabelecidos e minimizem os problemas do colaborador e do paciente.

Em um passado não muito distante os produtos eram baseados apenas em requisitos técnicos. Entretanto com a globalização e as exigências de mercado criou-se a necessidade de desenvolver produtos mais sofisticados, mais ergonômicos e com maiores complexidades. Esse aspecto é bem notório no âmbito das tecnologias assistivas, visto que o conforto, praticidade e modernidade dos produtos vem sendo cada vez mais valorizados. Para Correa (2014), os produtos para ter uma boa relação homem-máquina deve possuir as seguintes qualidades: técnica, ergonômica e estética.

A qualidade técnica está associada à operação dos produtos, e em resumo, é o que irá fazer o mesmo funcionar. Já a qualidade ergonômica está relacionada com a interação dele com o operador. E por fim a qualidade estética relaciona-se com o prazer gerado no consumidor do produto. A tecnologia assistiva se apropria desses conceitos, obtendo como resultado produtos que auxiliam na qualidade de vida do usuário e ao mesmo tempo com competitividade de mercado.

### **2.2.3 Estática**

A mecânica dos corpos rígidos é subdividida em estática ou dinâmica. A estática trata do equilíbrio dos corpos, isto é, daqueles que estão em repouso ou em movimento



com velocidade constante (HIBBELER, 2004). Mesmo sendo considerado por muitos um caso específico da dinâmica (aceleração nula), ela merece uma atenção especial na engenharia, pois muitos dos mecanismos são projetados para se manterem em equilíbrio.

#### 2.2.4.1 Equilíbrio de Corpos Rígidos

Segundo Hibbeler (2004), um corpo se encontra em equilíbrio quando originalmente estava em repouso e assim se mantém, ou mantenha uma velocidade constante, caso estivesse em movimento anteriormente. Sendo ainda mais específico, o equilíbrio estático se refere ao objeto em repouso.

Para a condição de equilíbrio ser respeitada é necessário que a primeira lei de Newton seja observada, ou seja, a força resultante no ponto material seja nula. Logo o corpo não possuirá translação e/ou rotação. Diz-se que um corpo não possui translação quando o somatório das forças aplicada nele é nula, conforme apresentando na Equação 1.

$$\Sigma F_x = 0 ; \Sigma F_y = 0 ; \Sigma F_z = 0 \quad (1)$$

Um corpo com rotação nula é aquele onde o somatório de seus momentos é nulo, conforme mostrado na Equação 2.

$$\Sigma M_x = 0 ; \Sigma M_y = 0 ; \Sigma M_z = 0 \quad (2)$$

As Equações 1 e 2 são a base para todos os cálculos estáticos.

#### **2.2.4 Resistência dos Materiais**

A resistência dos materiais é um ramo da mecânica que estuda as relações entre as cargas externas aplicadas a um corpo deformável e a intensidade das forças internas que agem no interior do corpo (HIBBELER, 2010). Ela é fundamental para o desenvolvimento de projetos de máquinas ou estruturas pois é responsável por determinar as forças que agem sobre o corpo, as deformações causadas por essas forças e a estabilidade quando sujeitas a esses esforços.

### 2.2.5.1 Tensão

De acordo com Hibbeler (2010), conhecer os efeitos resultantes distribuição de forças aplicadas em uma determinada área é de suma importância para a resistência dos materiais. De acordo com o autor, o material é exposto a uma força interna de mesma magnitude que a externa, entretanto com o sentido oposto a ela. A força por unidade de área é denominada de tensão e é representada pela letra grega  $\sigma$  (sigma).

### 2.2.5.2 Tensões Normais

De acordo com Hibbeler (2010), a tensão normal média é aquela onde a força interna é perpendicular à área da seção transversal da barra. A fórmula para a tensão normal média é dada pela Equação 3.

$$\sigma = P/A \quad (3)$$

Onde:

- $\sigma$ : Tensão normal média na seção transversal
- $P$ : Força interna
- $A$ : Área da seção transversal

Deve-se ressaltar que a Equação 3 fornece um valor médio, e não o valor em um ponto específico. Além do mais, a fórmula acima pode fornecer um valor positivo ou negativo, o mesmo só dirá se a tensão é de tração (positiva) ou de compressão (negativa).

### 2.2.5 Momento de Inércia

O momento de inércia consiste em um fator que muitas vezes é exigido em alguns tópicos relacionados à resistência dos materiais. Assim, o momento de inércia diz respeito à dificuldade de giro uma área em relação a um determinado eixo contido no plano. Pode ser definido também como a rigidez de um corpo formado por um tipo de seção definida tem a um movimento imposto a ele (BEER, 2004).

A Figura 11 ilustra uma área  $A$  de uma figura qualquer sob o plano  $x$ - $y$ .

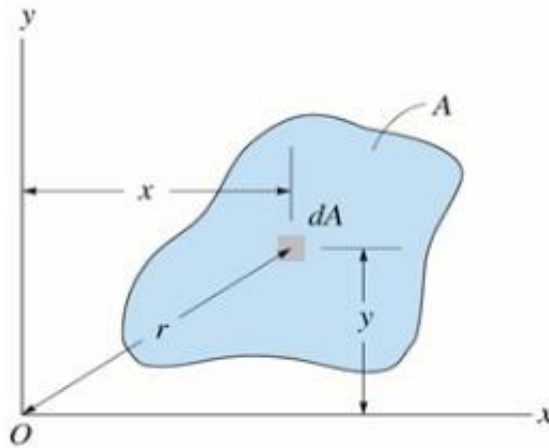


Figura 10 - Área com elemento infinitesimal.

Fonte: (BEER, 2004).

Os momentos de inércia de um elemento infinitesimal  $dA$  em torno dos eixos  $x$  e  $y$  são definidos nas Equações 4 e 5.

$$dI_x = y^2 dA \quad (4)$$

$$dI_y = x^2 dA \quad (5)$$

Integrando-se sobre toda a área, tem-se que:

$$dI_x = \int_A y^2 dA \quad (6)$$

$$dI_y = \int_A x^2 dA \quad (7)$$

As Equações 6 e 7 são conhecidas como momento de inércia da seção de em relação aos eixos  $x$  e  $y$ , respectivamente. Nota-se, portanto, que tal propriedade é obtida multiplicando-se cada elemento de área  $dA$ , pelo quadrado de sua distância em relação ao eixo correspondente e integrando-se sobre a seção transversal. Com isso, observa-se que o resultado será sempre positivo, não importando o sinal de coordenada. Além disso, as unidades de medida do momento de inércia envolvem a unidade de comprimento elevado à quarta potência (HIBBELER,2004).

### 2.2.6 Atuador

Para definir o atuador propício para este projeto, faz-se necessária uma análise dos motores comercializados no mercado. Assim, sabe-se que os motores elétricos

satisfazem os requisitos do projeto, e a escolha do tipo de motor se dará de acordo com as características específicas do mesmo.

Define-se como motor elétrico uma máquina que é capaz de transformar energia elétrica em energia mecânica. São amplamente encontrados no mercado devido à sua série de vantagens como baixo custo e fácil manutenção (RAMOS; ANTUNES, 2012). Dessa forma, são listados alguns tipos de motores que são possíveis de aplicação no sistema pretendido.

#### 2.2.6.1 Motor de Passo

O motor de passo trabalha rodando seu eixo ou rotor com pequenos incrementos angulares. Para que funcione de maneira adequada, o motor de passo deve ser alimentado de forma sequencial e repetida, tornando-se necessário o acoplamento à um circuito que proporcione a sequência requerida. Com uma fonte CC, cada rolamento é energizado de maneira individual e sequencial, o que provoca os chamados "passos" do motor. Esses "passos" são fruto do alinhamento magnético dos polos nas estruturas do rotor e estator do motor. A cada pulso, o rotor para em uma posição estável, mantendo entre um passo e outro a mesma precisão (RAMOS; ANTUNES, 2012).

A precisão é determinada pela quantidade de passos que o motor possui por volta. Se um motor tem 180 passos, quer dizer que cada volta do motor é dividida em 180 passos. Esse tipo de motor possui uma alta gama de variedade de rotações, além de apresentarem uma boa relação peso/potência e proporcionarem uma boa frenagem do rotor. Porém, possui baixo desempenho em velocidades baixas, baixa imunidade ao ruído e a possibilidade de aquecimento excessivo (PURQUERIO, 2012). A Figura 12 exemplifica um motor de passo.

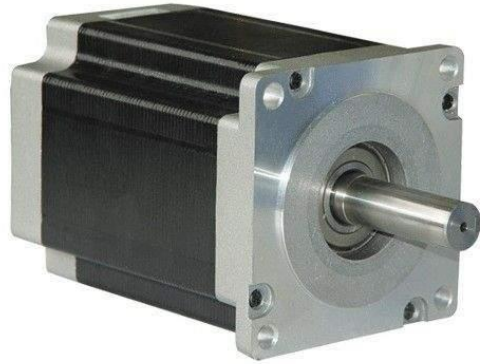


Figura 11 - Motor de Passo.

Fonte: (BAÚ DA ELETRONICA,2018).

#### 2.2.6.2 Servo Motor

O servo motor, ao contrário dos outros tipos de motores, possui o movimento proporcional a um comando externo, sendo possível assim o controle de posição e velocidade. Atua como um sistema de malha fechada: recebe um sinal, verifica a posição atual e atua no sistema de acordo com a posição desejada (RODRIGUES, 2011).

O servo motor possui inúmeras vantagens, como alta eficiência, tamanho compacto, operação leve e suave a baixas velocidades, manutenção de torque elevado, entre outras. Porém, a atuação precisa de um servo motor solicita um sistema de controle do motor, aumentando consideravelmente a complexidade do sistema (PURQUERIO, 2012). A Figura 13 ilustra um servo motor.



Figura 12 - Servo Motor.

Fonte: (POTENTIALLABS, 2019).

### 2.2.7 Cálculo da Potência Requerida pelo motor

Os cálculos referentes à estimativa da potência do motor foram baseados no método proposto por Ramos e Antunes (2012). Nesse método, uma situação de grande exigência para o motor é proposta, para que assim o estudo possa abranger o maior número de situações possíveis.

Um dos grandes desafios para o usuário de cadeira de rodas é a propulsão em rampas. Isso se deve ao fato que esse cenário exige que o usuário realize uma quantidade excessiva de forças, além de ser exposto ao risco de uma queda para trás. Além disso, ao se soltar os aros de propulsão manual em uma rampa, as rodas da cadeira giram em sentido oposto ao desejado, fazendo com que o consumidor retorne e comece todo o caminho novamente.

A Figura 14 mostra as variáveis envolvidas no cálculo da potência do motor, segundo o método de Ramos e Antunes (2012).

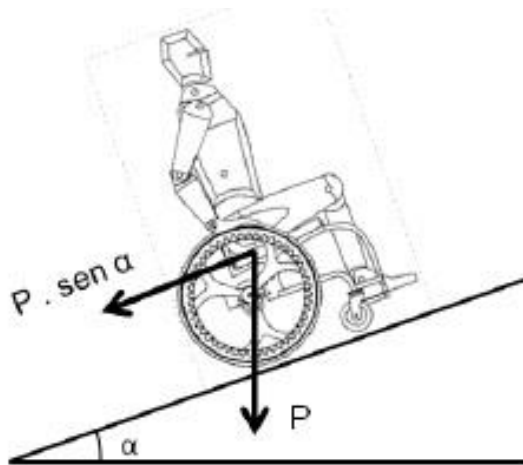


Figura 13 -Variáveis envolvidas para o cálculo da potência do motor.

Fonte: (RAMOS; ANTUNES, 2012).

Dessa maneira, segundo o método proposto, pode-se afirmar o que é mostrado nas Equações 8 e 9.

$$M_t = M_{cadeira} + M_{usuário} \quad (8)$$

$$F = P * \text{sen } \alpha \quad (9)$$

Onde M são as massas correspondentes, F é a força realizada, P o peso ocasionado pelas massas. Dessa forma, segundo Ramos e Antunes (2012), a potência requerida pelo motor se dá pela Equação 10.

$$W = F * V \quad (10)$$

Onde V é a velocidade da cadeira de rodas no momento e W a potência requerida. Levando em consideração que há perdas durante a transmissão do motor, e sendo a eficiência (n) de 80% , pode-se reescrever a Equação 11 em:

$$W = \frac{w}{n} \quad (11)$$

### **2.2.8 Torque do Motor**

Segundo Beer (2004), o torque necessário para locomover uma força aplicada tangencialmente a um círculo é dado pela Equação 12.

$$T = F * r \quad (12)$$

Onde F é a magnitude da força e r é o raio da circunferência. Para se obter um valor para a força F e ser possível a aplicação do método apresentado, baseou-se em estudo realizados por cientistas especializados, que será mostrado no decorrer deste trabalho.

Ainda segundo Beer, para estabelecer o valor da velocidade angular, dada por w, leva-se em consideração a Equação 13.

$$w = \frac{V}{2\pi r} \quad (13)$$

Onde V é a velocidade da cadeira de rodas e r é o raio o círculo, neste caso, o raio do aro da cadeira convencional.

### **2.2.9 Sensores**

Para realizar a escolha de um sensor, deve-se levar em conta as vantagens e desvantagens de cada tipo para uma aplicação específica, sendo que o modelo ideal será definido de acordo com suas características.

#### **2.2.9.1 Sensor Infravermelho**

Os sensores infravermelhos podem ser do tipo ativo ou passivo. Os ativos possuem um emissor de luz infravermelha e um receptor. Por sua vez, o passivo não emite luz infravermelha, mas apenas a capta no ambiente (ROBCORE, 2019).

Quando aplicados na detecção de obstáculos, os sensores da *Sharp* são muito utilizados. Nele, a distância medida é indicada por um nível de tensão analógico e sua curva não é linear, fazendo-se necessário realizar uma linearização. O sensor da *Sharp* pode ser encontrado com diferentes faixas de medição. A Figura 15 exemplifica um modelo de sensor infravermelho (ROBCORE, 2019)



Figura 14 - Sensor Reflexivo Infravermelho TCRT5000.

Fonte: (DX, 2019).

### 2.2.9.2 Sensor Ultrassônico

O princípio de funcionamento deste sensor consiste na emissão e recepção de um pulso de frequência ultrassônica, sendo que o tempo de reflexão é proporcional à distância do objeto detectado (AGUIRRE, 2013). Um modelo bastante utilizado é o HC-SR04, cujas características são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1: Parâmetros elétricos do sensor ultrassônico HC-SR04 - ELECFREAKS

Tensão de trabalho	DC 5V
Corrente de trabalho	15mA
Frequência de trabalho	40Hz
Range máximo	4m
Range mínimo	2cm
Ângulo de medição	15°
Sinal de entrada - Trigger	10uS TTL pulse
Sinal de saída - Echo	Input TTL lever signal and the range in proportion
Dimensões	45*20*15mm



Este tipo de sensor pode ser utilizado para detectar objetos a longas distâncias, objetos líquidos e sólidos e podem operar em ambientes úmidos e empoeirados.

### **2.2.10 Microcontrolador**

Microcontroladores são circuitos integrados que possuem entradas e saídas, contendo um processo que estabelece um relação das mesmas. Essas entradas e saídas correspondem a uma série de tensões que geralmente são utilizadas para controlar dispositivos externos. Durante o processo, que é determinado de acordo com a programação, analisa-se as entradas e são geradas saídas referentes a elas. Estes dispositivos possuem como principais funções o processamento de informações bem como a tomada de decisões, segundo instruções previamente determinadas (CRISP, 2004).

Dessa forma, define-se microcontroladores como sistemas completos de controle baseados em microprocessadores (CRISP, 2004). Assim, costumam apresentar em uma única placa de circuito integrado: um microprocessador, memória RAM (Random Access Memory - Memória de Acesso Aleatório), memória ROM (Read-Only Memory - Memória de Somente Leitura), conversores A/D (Analógico/Digital) e D/A (Digital/Analógico), temporizadores e contadores. A sua função é executar tarefas específicas que estão gravadas em sua memória de código e e, em geral, troca informação com o mundo real para que assim possa atuar de maneira satisfatória (NICOLOSI, 2006).

De acordo com (SCHUNK, 2001), microcontroladores devem ser utilizados em determinada aplicação quando é imposto a um circuito que realize operações e procedimento que variam conforme estímulos ou condições de um ambiente, comandos, procedimentos, análises e correções. Há situações em que os mesmos podem simplificar sistemas, ao minimizar a utilização de outros componentes eletrônicos, como portas lógicas e transistores. A Figura 16 a seguir esquematiza o modo de funcionamento dos microcontroladores.

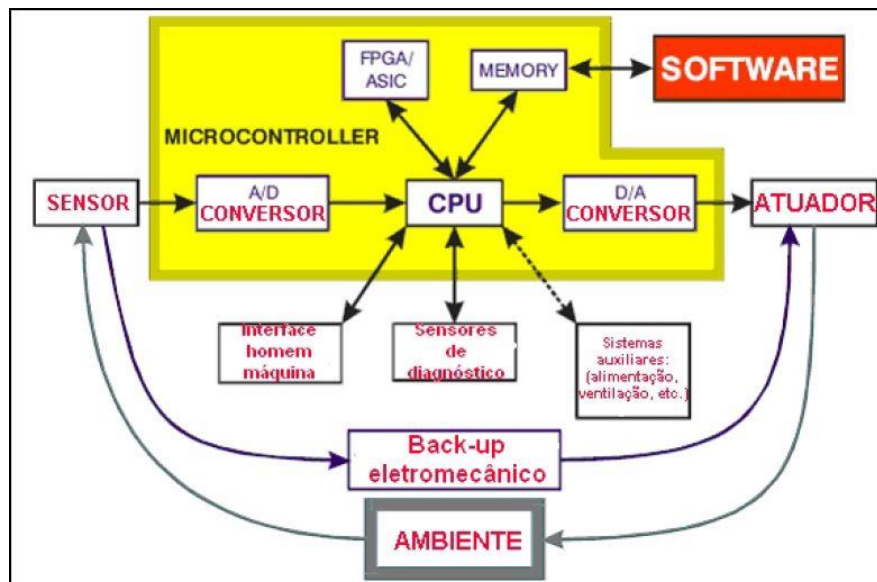


Figura 15 - Elementos básicos de um microprocessador.

Fonte: (CUNHA, 2007).

### 2.2.10.1 Raspberry Pi

O *Raspberry Pi* é uma placa para estudo e prototipagem de sistemas embarcados, desenvolvida em 2006 por EbenUpton, Rob Mullins, Jack Lang e AlanMycroft, com o intuito de incentivar e aproximar jovens da área de Ciência da Computação. Lançado em 2012, este microcomputador já superava as expectativas do público por ser um dispositivo com tantas funcionalidades em uma placa tão pequena. Para o funcionamento do *Raspberry* é necessário o uso de um sistema operacional que realize o gerenciamento da plataforma e seus recursos, que por padrão é o *Raspbian* (RASPBerry,2018).

A mais nova versão deste dispositivo, *Raspberry Pi 3*, possui um processador de 1,2GHz de 64 bits, que proporciona um alto desempenho, *Wifi* e *Bluetooth 4.1* são integrados, *slot* para cartão de memória *SD* (Secure Digital) e adaptador para *microSD*, o que torna o dispositivo versátil. Ele dispõe ainda de 1GB de memória *RAM*, 4 portas *USB 2.0*, porta *Ethernet*, conector de vídeo *HDMI* (High-Definition Multimedia Interface), interfaces para câmera e *display*, conector combinado de áudio e vídeo, *GPIO* (General Purpose Input/Output) de 40 pinos e entrada de energia. A Figura 17 ilustra um modelo do *Raspberry* (RASPBerry,2018).



Figura 16 - Raspberry Pi 3 Model B.

Fonte: (RASPBerry,2018).

#### 2.2.10.2 Sistema Operacional

Devido ao grande uso e popularização do *Raspberry*, muitos sistemas operacionais baseados em *Linux* são oferecidos pela Fundação *Raspberry Pi* para o gerenciamento desta placa como o *Raspbian*, *Ubuntu Mate*, *OSMC* e *Pidora* por exemplo (LIMA, et.al. 2015).

O *Raspbian* é o sistema operacional padrão do *Raspberry* e recomendado pelo fabricante. Ele é baseado no *Debian*, uma das mais antigas distribuições *Linux*. Possui *softwares* para escritório, permite navegar na *internet* e possui diversas ferramentas de configuração do computador e de desenvolvimento. Ele oferece mais de 35000 pacotes que são especificamente configurados para proporcionar o desempenho otimizado do *Raspberry Pi*, o que o torna um excelente sistema para quem deseja criar projetos (EBERMAM, 2017).

O *Ubuntu Mate* é um sistema operacional estável e fácil de usar pois possui um ambiente de *desktop* tradicional intuitivo e personalizável. Ele inclui um gerenciador de arquivos que pode conectá-lo aos seus arquivos locais e de rede, editor de texto, calculadora, visualizados de imagens e documentos, entre outros. Este sistema requer *hardwares* modestos pois necessita de poucos recursos, o que o torna um sistema adequando para estações de trabalho modernas (UBUNTU MATE, 2018).

Já o *OSMC (Open Source Media Center)* é um reprodutor de mídia livre baseado em *Linux*, que oferece ao sistema embarcado acesso a canais via *Internet* e diversos recursos que permitem a reprodução de áudio e vídeo com qualidade (OSMC, 2018).

Por fim, o sistema Pidora é proveniente da distribuição Linux Fedora e foi desenvolvido para obter melhor aproveitamento do hardware *Raspberry Pi*. Ele foi compilado especificamente para esta plataforma, possuindo um ambiente simples e sem muitos recursos gráficos como efeitos e animações (LIMA, 2015).

### 2.2.11 Ponte H

Um dos circuitos mais utilizados para se controlar o sentido de rotação e velocidade de motores de corrente contínua é a ponte H. Sabe-se que os microcontroladores não conseguem suprir a quantidade necessária de corrente e tensão para o funcionamento de um motor, justificando assim a utilização da ponte H. Esse circuito é composto por quatro chaves eletrônicas, que geralmente são transistores *TBJ* ou *MOSFET* (PATSKO, 2006). O acionamento planejado dessas chaves possibilita aplicar aos terminais do motor a polarização desejada. Em motores de corrente contínua, esse processo se dá de forma bem simples, onde ao se alterar a polarização dos terminais do mesmo, é alterado também o sentido de rotação. Desse modo, o microcontrolador aplica sinais lógicos, mantendo sempre um par de chaves aberto e outro par fechado (PATSKO, 2006). Com isso, possibilita-se definir o sentido de rotação do motor, conforme pode ser visto na Figura 18.

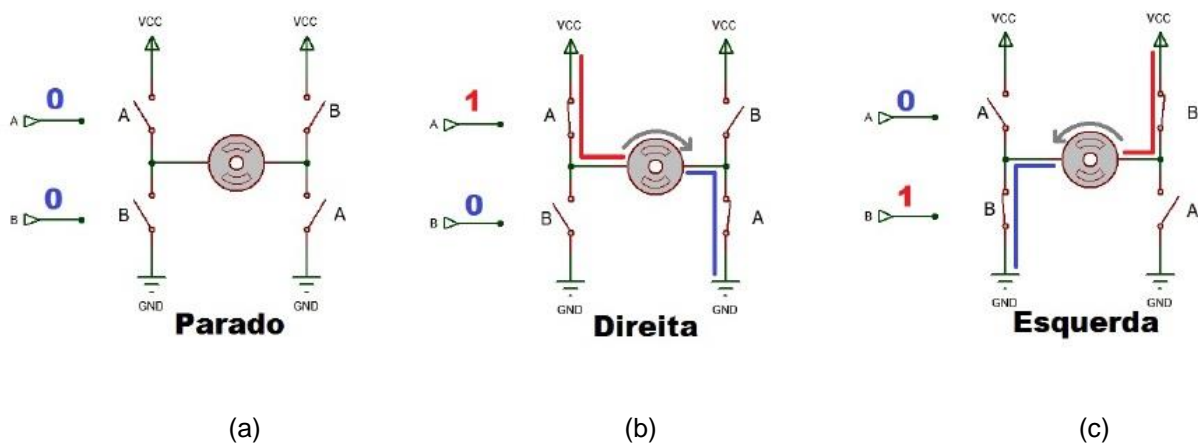


Figura 17 - Estados de polarização do motor (MAGAR, 2018).

A Figura 18 mostra também o estados das chaves em cada situação. Na Figura 18(a), todas as chaves estão abertas e a tensão não chega até o motor. Na Figura 18(b), ao se fechar o par de chaves A, um dos terminais do motor fica ligado ao GND, enquanto que o outro recebe a tensão  $V_{cc}$ . Dessa maneira, motor gira para o sentido horário. Já na Figura 18(c), o par de chaves B é fechado, trocando a polarização do

motor em relação ao caso da Figura 18(b), fazendo-o assim girar para o sentido anti-horário (PATSKO, 2018).

A velocidade de rotação dos motores é controlada através do valor do sinal que chegará até os terminais do motor. Como o microcontrolador opera com sinais digitais, torna-se necessária a implementação da técnica de modulação de larguras de pulsos às chaves eletrônicas. Dessa forma, torna-se possível controlar a direção e velocidade dos motores de corrente contínua (BRAGA, 2018).

### 3. METODOLOGIA

O presente trabalho busca apurar a integração de componentes estruturais mecânicos e de circuitos eletrônicos de acionamento e monitoramento, a fim de desenvolver um sistema que atenda às necessidades funcionais do usuário de cadeira de rodas. Desse modo, o projeto terá início após uma análise dos produtos disponíveis no mercado interno, visando avaliar fatores cruciais para a boa adaptação do produto.

Finalizada esta etapa, será iniciada a etapa da adaptação do projeto mecânico da cadeira convencional. Posteriormente, será definido o motor a ser utilizado na locomoção da estrutura. Tal dispositivo será escolhido levando em consideração seu peso e dimensões, além de possuir o torque necessário para a locomoção do usuário. Feito isto, será definido o sistema de transmissão de força no eixo das rodas, que será capaz de fornecer a força necessária para a locomoção do usuário. Tal sistema será dimensionado de maneira a facilitar a manutenção do produto sem prejudicar sua estética e seu funcionamento. Ao final desta etapa, se encerrará a parte do projeto que diz respeito à especificação dos componentes mecânicos, tornando-se possível o início da etapa de especificação do projeto eletrônico.

Assim, tal etapa se iniciará com a definição e especificação do microcontrolador, que será escolhido de acordo com as características de cada tipo analisado. Uma vez definido o microcontrolador, será iniciada a especificação dos sensores do protótipo, que serão definidos de acordo com as necessidades encontradas no decorrer da pesquisa. Serão estudados pela simulação os melhores locais para o acoplamento desses dispositivos, de forma a não proporcionar a danificação dos mesmos ou vir a prejudicar a locomoção do usuário.

Por fim, concluída a etapa do sistema eletrônico, será iniciado a etapa final na qual consiste da integração, onde serão analisados os resultados obtidos pela simulação e averiguar a possibilidade de testes e validação dos componentes eletrônicos juntamente a estrutura mecânica física.

Nessa seção serão apresentados todos os estudos já realizados para a implementação do protótipo em questão, bem como as considerações que foram tomadas baseadas nos conceitos apresentados no Capítulo 2.

### 3.1 Estrutura

Como primeiro passo para a realização deste trabalho, realizou-se uma análise das dimensões de uma cadeira de rodas comum, para que a estrutura do protótipo fosse semelhante. Levou-se em consideração ainda o quão comercializável é o modelo, garantindo assim a flexibilidade do projeto.

Dessa forma, a ADEFOM cedeu, para fins de estudo para o projeto, o modelo de cadeira de rodas apresentado na Figura 19. Na Tabela 1 são apresentadas algumas especificações do produto.



Figura 19 - Modelo de cadeira de rodas convencional utilizado no projeto.

Fonte: (ADEFOM,2018).

Tabela 1 - Parâmetros do modelo apresentado.

<b>Característica</b>	<b>Descrição</b>
Marca	<i>Profile</i>
Modelo	PL001
Quantidade de rodas	4
Largura do assento	40 cm
Altura do assento	53 cm
Largura total	63 cm
Peso suportado	90 Kg
Peso da estrutura	12 Kg
Material da estrutura	Aço

O modelo escolhido de cadeira é compatível com diversos outros encontrados. Tal modelo possui espaço abaixo do assento e entre as duas rodas (63 x 53 cm), o que se julga suficiente para o acoplamento do sistema de transmissão e demais componentes.

Dessa maneira, realizou-se uma construção no *software SolidWorks*, para que assim a melhor configuração da estrutura do dispositivo fosse escolhida. Na Figura 20 a seguir mostra a estrutura pretendida feita no SolidWorks.

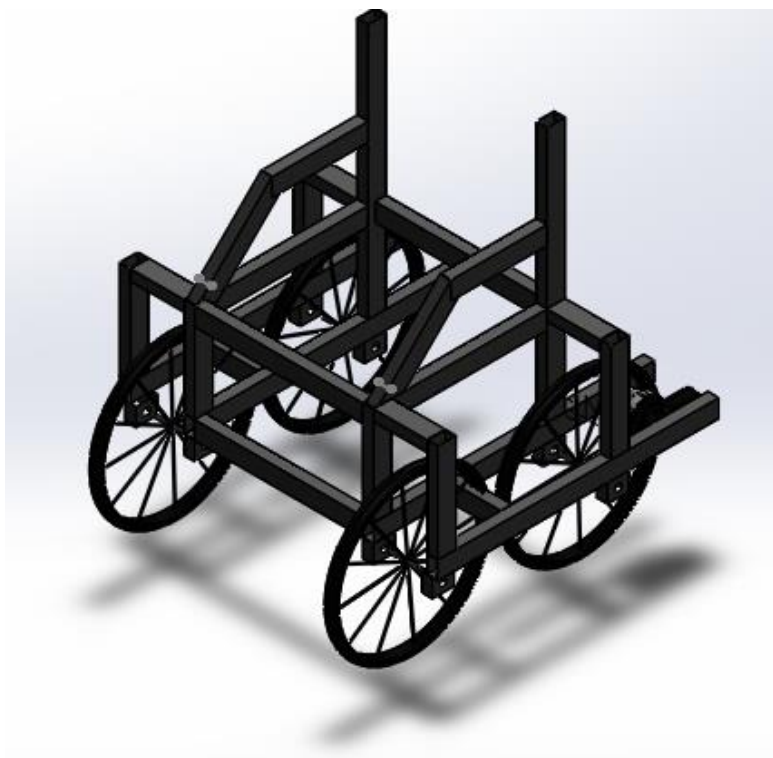


Figura 20 - Estrutura pretendida no SolidWorks.

FONTE: O próprio.

Paralelamente a construção no *software*, deu-se início à construção da estrutura pretendida para o protótipo físico. Dessa forma, foram adquiridos barras de *ASTM A36 (metalon)* reutilizado, reduzindo assim o custo do projeto. As medidas são de 50 x 30 mm. Toda a estrutura, desde as solda dos componentes até a pintura, foi realizada na Oficina Mecânica do Cefet-MG Campus V. As Figuras 21 a 23 ilustram algumas das atividades realizadas no galpão.

Para a composição do esqueleto, utilizou-se do método de gabaritação simples. As medidas para a estrutura em questão foram baseadas nas medidas da cadeira de rodas fornecida pela ADEFOM.





Figura 21 - Atividade no Galpão de Mecânica.

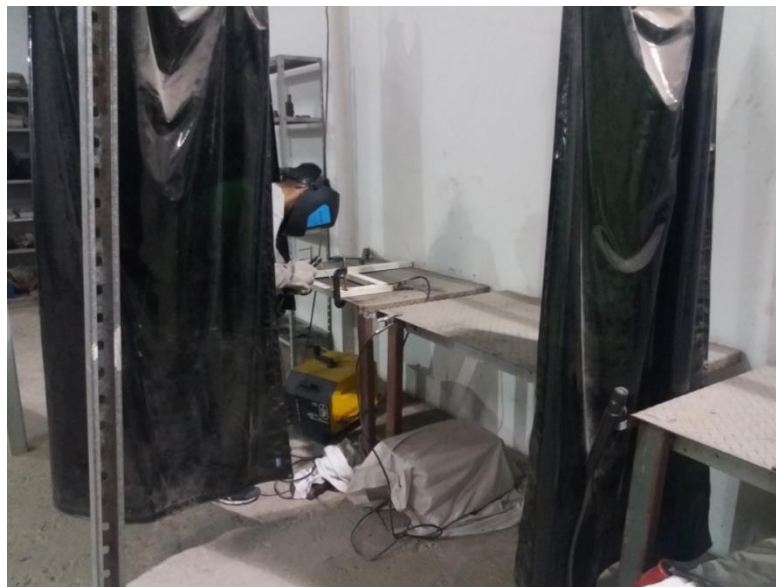


Figura 22 - Atividade de solda no Galpão da Mecânica.



Figura 23 - Gabaritação Simples.

### 3.2.1 Análise Estrutural

Posteriormente, realizou-se os cálculos estruturais para o protótipo, a fim de ser certificado de que a estrutura seja capaz de suportar os esforços causados pelas forças externas (peso do usuário, peso do motor, peso da bateria e sistema de transmissão).

Dessa forma, para a forças externas foram considerados os dados mostrados na Tabela 2:

Tabela 2 - Valores para os cálculos estruturais.

Descrição	Valor (N)
Peso do Usuário ( $P_c$ )	882
Peso Barra ( $P_b$ ) (Kg/metro)	2,324
Peso Motor ( $P_m$ )	19,6
Peso Bateria ( $P_{bat}$ )	392

O cálculo do peso de cada barra de *metalon* se deu através da Equação 14 a seguir, fornecida pelo fabricante do produto. De posse desta relação, pode-se encontrar o peso exato da estrutura.

$$P_b = 0.0246615 \cdot \left( 1,27 \cdot \left( \frac{L1+L2}{2} \right) - e \right) \cdot e \quad (14)$$

$L1$  e  $L2$  são as medidas dos lados em *mm* e  $e$  é a espessura da parede do perfil em *mm*. Como o perfil em questão possui a medida de 50 x 30 mm e 2 mm de

espessura, aplicando esses valores na fórmula, obtemos o resultado de 2,38 Kg/metro, conforme mostrado na Tabela 2.

Dando prosseguimento, o primeiro passo foi descobrir o valor das reações nas rodas, para que posteriormente o métodos dos nós possa ser utilizado, descobrindo assim o valor dos esforços em cada uma das barras. A Figura 24 ilustra o diagrama de corpo livre utilizado para análise das reações na vista lateral do protótipo.

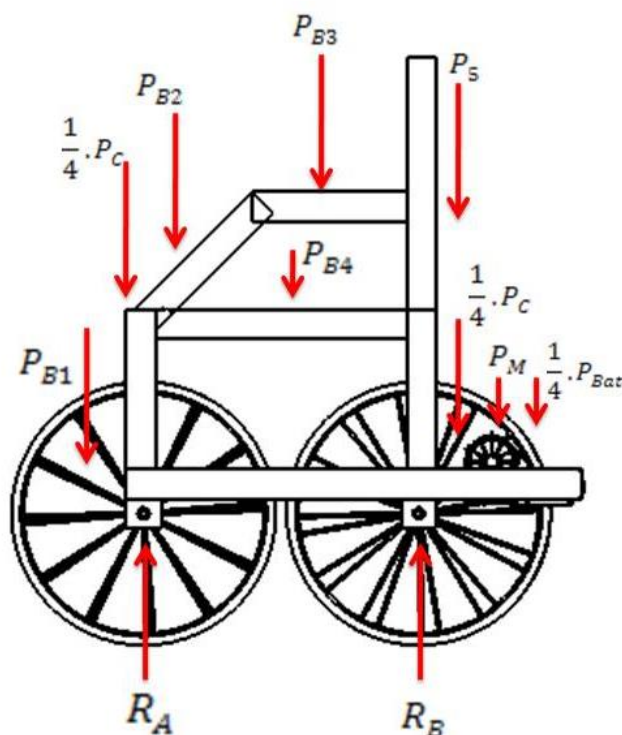


Figura 24 - Diagrama de corpo livre.

É importante ressaltar que para o somatório foi adotado sentido horário com sinal negativo; e a gravidade no valor de 9,81 Kg/m<sup>2</sup>.

Dessa maneira, realizou-se o somatório nos dois apoios mostrados, e a memória de cálculo pode ser encontrada no item 1 do Apêndice A.

Nota-se que nem todas as peças que compõe a estrutura estão sendo consideradas no cálculo. Para tanto, analisa-se os momentos pela perspectiva da vista frontal da estrutura, possibilitando assim o cálculo dos momentos nas rodas. A Figura 25 mostra o diagrama de corpo livre da vista frontal da estrutura do dispositivo. A memória de cálculo referente aos esforços na vista frontal podem ser observados no item 2 do Apêndice A.

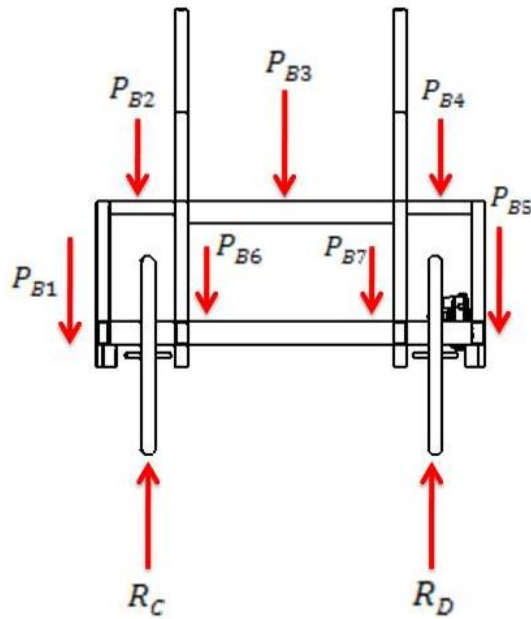


Figura 25 - Diagrama de corpo livre.

Como, pela perspectiva da vista frontal todos os esforços são simétricos como a estrutura, é passível de considerar que o valor da reação no ponto C será o mesmo também nas outras 3 rodas do dispositivo.

Dessa maneira, se somarmos o valor de  $R_B$  nas rodas traseiras,  $R_A$  nas rodas dianteiras, somando com o valor de  $R_C$  em todas as quatro rodas; resulta-se no valor de 1597,734 N, que é igual ao peso de todos os componente somados. Isso mostra que o cálculo das reações foi condizente.

Com os cálculos das reações finalizado, o próximo passo foi calcular os esforços em cada uma das barras. Para tanto, utilizou-se a ferramenta do Métodos dos Nós para treliça plana. A Figura 26 ilustra os pontos onde ocorrem a junção dos elementos estruturais, e onde serão realizadas as análises dos esforços.

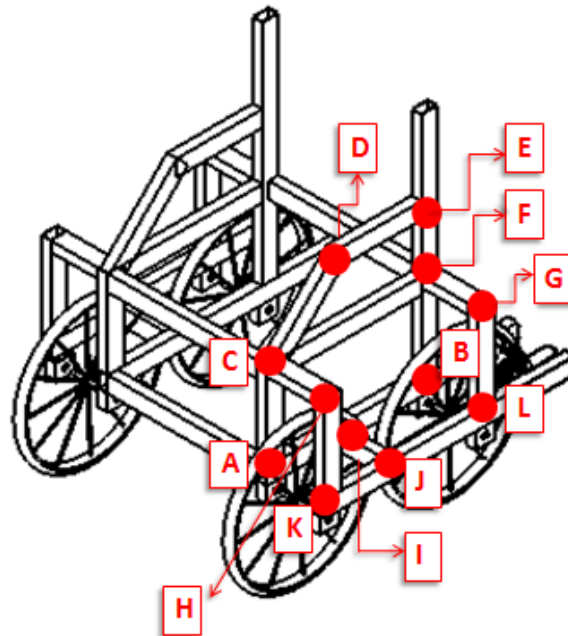


Figura 26 - Nós onde ocorre a junção dos elementos.

Arbitrados os nós, deu-se início ao cálculo das forças em cada um desses elementos. Assim, analisou-se cada nó individualmente, realizando o equacionamento para os planos ortogonais em cada um. Na Figura 27, é possível observar o esboço dos esforços em cada um dos nós arbitrados.

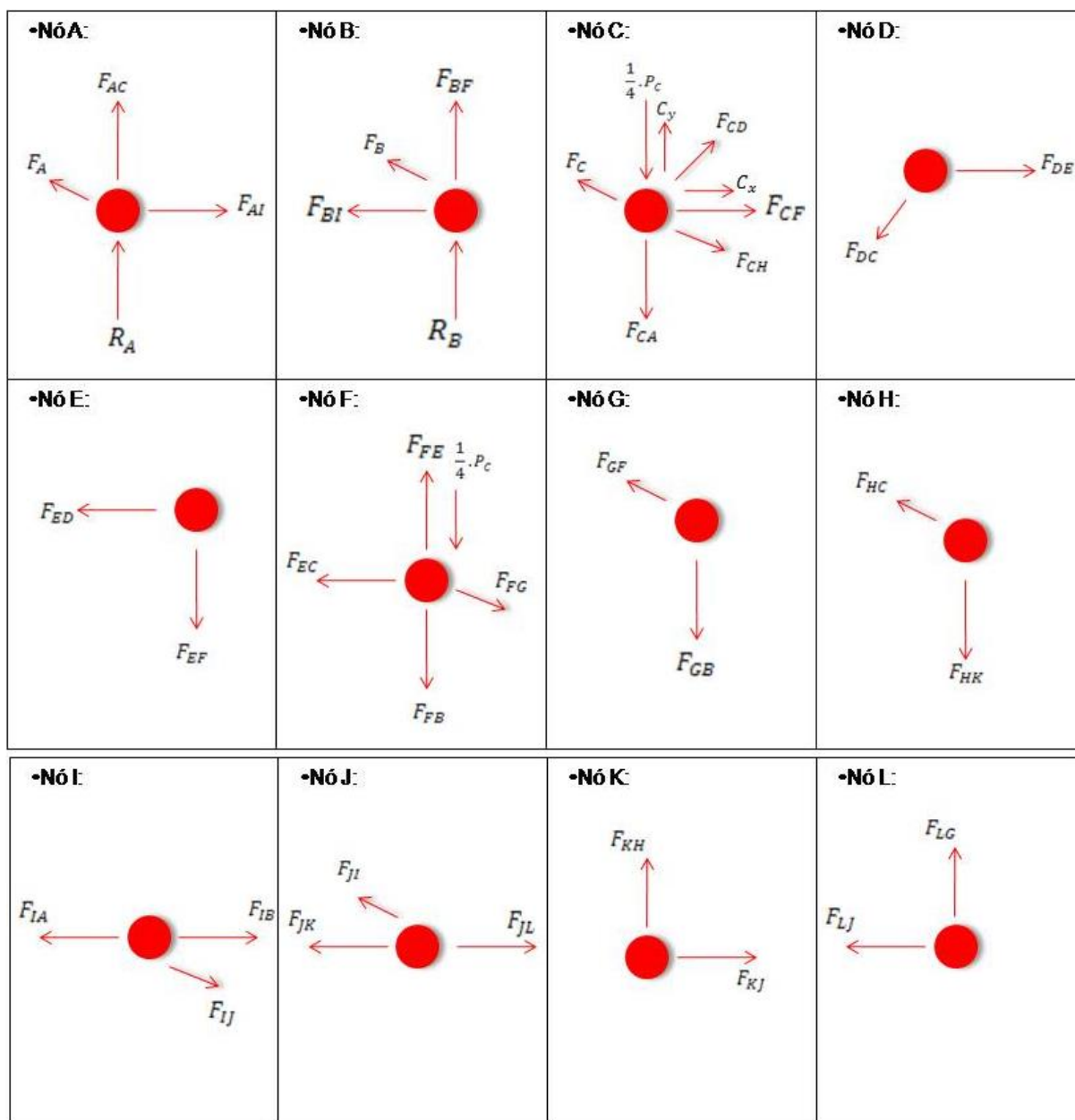


Figura 27 - Esforços nos Nós relacionados.

Por fim, equacionou-se os esforços de acordo com os planos ortogonais em cada nó mostrado. Muitos desses esforços se resultaram em zero, o que prediz o equilíbrio da estrutura. Os esforços que não resultaram em zero e seus respectivos valores estão mostrados nas Equações 15, 16, 17 e 18 que podem ser conferidas no item 3 do Apêndice A.

O cálculos das tensões nos pontos observados podem ser encontrados no item 4 do Apêndice B.

Através de dados fornecidos pelo fornecedor, o aço ABNT 1020 possui como limite de tensão de 420 MPa. Como pode-se observar, os valores calculados estão

distantes disso, concluindo assim que os esforços aplicados á estrutura não comprometerão seu bom desempenho.

### 3.2 Rodas e Mancais

O próximo passo foi denominar quais as rodas seriam adequadas para suportar e locomover toda a estrutura e equipamentos do projeto. Assim, objetivando o menor custo possível e com materiais acessíveis, optou-se pelas rodas de bicicletas infantis reaproveitadas, de aro de 16".

A escolha dessas rodas proporcionou uma vantagem que está relacionada ao sistema de transmissão. Como este último também é semelhante ao utilizado em bicicletas, as catracas acopladas nas rodas traseiras também puderam ser reaproveitadas. A Figura 28 e 29 mostram as rodas antes da instalação e depois de já instaladas, respectivamente.



Figura 28 - Rodas ainda não instaladas na estrutura.



Figura 29 - Rodas na estrutura com mancais.

Como pode ser observado, para a implantação das rodas fez-se necessário e confecção de mancais de apoio. Assim, os mancais foram confeccionados do mesmo material do restante da carcaça - aço ABNT 1020 - e soldado nas devidas posições.

### **3.3 Sistema de Transmissão**

Para o projeto em questão, considerou-se duas possibilidades: a primeira, através do acoplamento direto, que faz uso de um motor para cada uma das duas rodas traseiras; e a segunda diz respeito a implementação de um sistema diferencial, capaz de transmitir a rotação de um único motor para as duas rodas.

Para este projeto, a transmissão através de acoplamento direto se mostra com algumas limitações. A utilização de um motor acoplado no corpo de cada uma das rodas resulta em mais massa concentrada distante do centro de massa da cadeira, aumentando assim o momento de inércia do equipamento. Como apresentado no Capítulo 2, o aumento do momento de inércia pode resultar numa maior dificuldade para o usuário manobrar a cadeira. Além disso, a utilização de dois motores aumenta o custo do projeto e torna a frenagem do dispositivo mais difícil de ser realizada.



Por outro lado, a utilização do sistema diferencial pode vir a simplificar o projeto de transmissão. Isso se deve ao fato desse tipo de sistema fazer uso de apenas um motor, que é acoplável no espaço entre as duas rodas. Esse posicionamento reduz o momento de inércia do sistema acoplado, resultando assim em um custo menor, facilitando a frenagem e não correndo riscos de dificultar a locomoção da cadeira.

Porém, analisando-se as possibilidades e verificando pelo ponto de vista da prática, julgou-se que o modo de acoplamento direto seria bem eficaz e proporcionaria uma maior eficácia junto ao cronograma. Assim, o modo de transmissão do motor para as rodas traseiras da estruturas serão no sistema coroa-catraca, semelhante ao utilizado em bicicletas comuns em geral.

A escolha do modo direto possibilitou ainda o reaproveitamento do sistema de transmissão das bicicletas infantis, nas quais foram utilizadas as rodas para a estrutura. Dessa forma, reduziu-se o custo do projeto de maneira considerável.

Outra vantagem que o sistema escolhido proporcionou foi a facilidade de manutenção do mesmo, visto que a retirada de qualquer um dos componentes se dá de maneira rápida e simples. A Figura 31 ilustra o tipo de sistema utilizado no projeto.



Figura 30 - Sistema de transmissão coroa-catraca.

A catraca do sistema utilizado possui 16 dentes, enquanto a coroa possui 32 dentes, sendo assim uma relação de 2 : 1.

### 3.4 Cálculo da Potência do Motor

Como mostrado na Sessão 2.2.4, realizou-se um estudo da potência requerida do motor de acordo com o método proposto. Dessa maneira, realizou-se as seguintes considerações:

- Massa da cadeira = 15 Kg (Coeficiente de segurança de 1,25);

- Motor e componentes = 10 Kg;
- Massa do usuário = 70 Kg (considerando a média brasileira);
- Inclinação da rampa = 4,76°.

Segundo estudos de Tolerico (2007), pessoas com alguma deficiência na medula espinhal se locomovem a uma velocidade de 0,79 m/s na cadeira de rodas. Segundo Medola (2014), uma pessoa sem deficiência em marcha acelerada anda em média a uma velocidade de 7 km/h. Dessa forma, levando em consideração as velocidades mais rápidas para este projeto, mesmo que por poucos momentos, é prudente que se utilize o maior valor, no caso de 7km/h, para o cálculo da potência requerida do motor.

Dessa maneira, aplicando os valores nas Equações 8 e 9, tem-se o que é mostrado nas Equações 19, 20, 21 e 22.

$$M_t = M_{cadeira} + M_{usuário} = 70 + 15 + 10 = 95 \text{ Kg} \quad (19)$$

$$F = P * \text{sen } \alpha = 932 * \text{sen } 4,76^\circ = 77,34 \text{ N} \quad (20)$$

Com isso, resulta-se em:

$$W = F * V = 77,34 * 1,94 = 150,03 \text{ W} \quad (21)$$

$$W = \frac{w}{n} = \frac{150,03}{0,8} = 187,53 \text{ W} \quad (22)$$

Assim, a potência requerida pelo atuador é de 187,53 W.

### 3.5 Escolha do atuador

Primeiramente, para a escolha do atuador calculou-se os valores de torque e velocidade angular de acordo com as Equações 12 e 13.

Para o cálculo do torque, necessita-se do valor da componente da força que tangencia o aro da cadeira de rodas. Bregman (2009) realizou um estudo que mostra que, a uma velocidade de 0,83 m/s, a componente tangencial possui um valor de 11,7 N. Já para uma velocidade de 0,9 m/s, o cientista Koontz (2006) encontrou uma força máxima aplicada de 70 N. Utilizando o caso de maior valor, considerou-se para este projeto o valor da força tangencial F de 70 N.

Assim, considerando que as rodas escolhidas para o projeto escolhida possuem aro de diâmetro de 406,4 mm e aplicando os valores na Equação 12, tem-se que o torque resulta em 14,224 Nm, como mostrado na Equação 23.

$$T = F \cdot r = 70 \cdot \frac{406,4}{2 \cdot 1000} = 14,224 \text{ Nm} \quad (23)$$

Para o cálculo da velocidade angular, considerou-se a velocidade máxima para o sistema de 5,4 km/h (1,5 m/s). Levando-se em consideração o aro de 406,4 mm de diâmetro, tem-se o valor mínimo da rotação do atuador, mostrado na Equação 24:

$$\omega = \frac{V}{2\pi r} = \frac{1,5}{2\pi \cdot 0,2032} = \frac{1,5}{1,2767} = 1,1749 \text{ rps} \cong 70,4942 \text{ rpm} \quad (24)$$

Dessa forma, será escolhido um motor que se adeque aos valores calculados.

Para o projeto em questão, após uma pesquisa relacionada aos tipos de motores possíveis, observou-se que motores de pára-brisa de carros seriam uma escolha satisfatória. Isso se deve ao fato de serem motores acessíveis e que atendem as especificações do projeto. Dessa forma, o motor escolhido é semelhante ao mostrado na Figura 31.

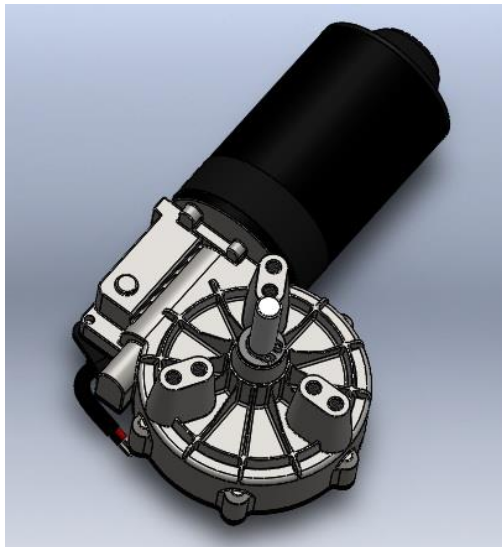


Figura 31 - Motor usado no projeto.

Fonte: O Próprio autor.

É de conhecimento do autor do projeto que motores de pára-brisa de carros e caminhões trabalham em regime intermitente, isto é, funciona em um espaço de tempo determinado. Porém, sabendo que o projeto visa um baixo custo e a acessibilidade dos materiais, denominou-se o motor escolhido como a melhor opção. É de conhecimento também do autor do projeto que, para uma produção em grande escala, um novo motor deve ser definido.

O motor escolhido é da fabricante *Bosch* e é utilizado em pára-brisas do veículo *Volkswagen Gol G3*. Possui tamanho satisfatório para o sistema, onde pôde ser

acoplado através dos parafusos na sua estrutura. A Tabela 3 mostra as características do motor utilizado. Maiores detalhes podem ser conferidos no Anexo.

Tabela 3 - Parâmetros do motor utilizado.

<b>Característica</b>	<b>Descrição</b>
Tensão Nominal	12 V
Potência Nominal	57 W
Corrente Nominal	18 A
Torque Máximo	36 N.m
Torque Mínimo	9 N.m
Peso Total	1,1 Kg
Rotação	75 rpm

Com o motor dimensionado, escolhido e em mãos, surgiram duas questões a serem resolvidas: o modo de acoplamento do motor na estrutura e o acoplamento do eixo do motor ao pinhão do sistema de transmissão. A primeira foi sanada soldando uma peça na parte traseira da estrutura. Essa peça possui furos que passam parafusos que permitem que os motores fiquem acoplados junto ao protótipo. A Figura 32 mostra a peça descrita.



Figura 32 - Fixação do motor á estrutura.

No que diz respeito ao acoplamento, julgou-se necessário a usinagem de uma peça que se encaixasse bem no eixo do motor e também no furo do pinhão do sistema de transmissão. Isso possibilitará que o sistema funcione de maneira segura e sem

grandes riscos. A Figura 33 e 34 ilustram a peça que foi usinada para o fim descrito anteriormente e o conjunto completo montado.



Figura 33 - Motor, pinhão e acoplamento.



Figura 34 - Motor com pinhão acoplado.

Por fim, com os cálculos realizados e questões relacionadas á estrutura solucionadas, conclui-se que o motor funcionará de maneira satisfatória.

### 3.6 Bateria

Para a alimentação do sistema, fez-se uso de uma bateria de 12 V, utilizada comumente em motocicletas. Fez-se necessário a utilização dessa bateria devido aos valores de tensão e corrente consumidos pelos 2 motores. A Figura 35 mostra a bateria utilizada e a Tabela 4 mostra os parâmetro do instrumento.



Figura 35 - Bateria utilizada no projeto.

Fonte: O próprio autor.

Tabela 4- Parâmetros da Bateria.

Característica	Descrição
Tensão Nominal	12V
Capacidade Nominal	7Ah
Comprimento	151mm
Largura	65mm
Altura	100mm
Peso	2 Kg

### 3.7 Joystick

Para garantir maiores usabilidade e ergonomia do projeto, optou-se pelo uso do *joystick*, que já um instrumento bastante utilizado na maioria das cadeira de rodas automatizadas.

Com o *joystick*, é possível mandar comandos aos atuadores, de forma que respondam de maneira congruente ao usuário. Para este projeto, utilizou-se o *joystick* de modelo GENIUS 3160022100, devido a seu baixo custo e acessibilidade. A Figura 36 mostra o instrumento utilizado.



Figura 36 - Joystick utilizado no projeto.

### 3.8 Sensores

Para a implementação deste trabalho, foram considerados como possíveis sensores de distância os tipos infravermelho e ultrassônico. Os tipos de sensores infravermelho apresentaram um custo relativamente menor, porém os mesmos não possuem um alcance satisfatório. O maior alcance infravermelho encontrado foi o modelo GP2Y0A700K, que chegou a 5 metros, porém com distância mínima de 1 metro, que limita a área de atividades do PNE.

Assim, caso implementado, optou-se pelo sensor ultrassônico de modelo SRF06, pois possui alcance e ângulo de captação altos, o que é necessário devido a “zona de segurança” para o PNE e o posicionamento dos sensores na cadeira. Além disso, o SRF06 possui um preço menor do que comparado a outros sensores de mesmo modelo. A Figura 37 mostra um exemplo do sensor ultrassônico SRF06.



Figura 37 - Sensor ultrassônico SRF06.

### 3.9 Microcontrolador

A instrumentação da cadeira de rodas envolve alguns requisitos, como por exemplo a transmissão de dados e parâmetros para os atuadores. Dessa maneira, um microcontrolador com uma certa capacidade de processamento de dados é fundamental. As principais opções no mercado atualmente e alguns parâmetros importantes estão listados na Figura 38.





Nome	Placa	Dimensões	Processador	Clock	GPIO	RAM	Wifi	Bluetooth	HDMI	USB	Ethernet	Custo
Arduino Industrial 101		42x51x17mm	Atheros AR9331	400MHz	3 pinos	64MB	Sim	Não	Não	2x2.0	Sim	R\$299,00
Raspberry Pi 3 Model B		85x56x17mm	Broadcom BCM2837 ARMv8 Cortex A53 Quad Core	1.2 GHz	40 pinos	1 GB	Sim	4.1 BLE Integrado	Sim(1)	4x2.0	Sim	R\$172,75
BeagleBone Black Rev C.		86.36 x 34.61mm	AM335x ARM Cortex A8	1 GHz	92 pinos	512 MB	Não	Não	Sim(1)	2x2.0	Sim	R\$267,48
Inteo Galileo G2		100 x 70mm	Intel Quark Soc x1000 Application	400 Mhz	32 pinos	256 MB	Não	Não	Não	2x2.0	Sim	R\$367,29

Figura 38 - Comparativo de microcontroladores encontrados no mercado.

Fonte: O próprio autor.

Dentre as opções mostradas na Figura 38, pode-se observar que o *Raspberry Pi 3* e o *Arduino Industrial 101* apresentam dimensões reduzidas se comparados às outras opções. Em relação à memória RAM, o *Raspberry* se destaca, bem como no critério de conectividade, pois supre todos os parâmetros observados, como *Wifi*, *Bluetooth*, *HDMI*, *USB* e *Ethernet*.

Outro ponto que é de grande vantagem para o *Raspberry* é o custo, visto que ele é R\$94,73 em média mais barato que o segundo colocado, *BeagleBone Black Rev C*. Além disso, o *Raspberry Pi 3* possui extrema popularidade, possuindo assim uma boa gama de periféricos compatíveis e facilitando na busca de informações e aplicações de projetos com o mesmo.

Além de todas as características do *Raspberry* apresentadas na Figura 39, nota-se que o mesmo possui vários conectores que facilitam sua integração com outros



periféricos, entre os quais: saída de áudio e vídeo, conector *Ethernet*, além de *display LCD* e entrada para cartão de memória.

Segundo (ELEMENT14,2018), o barramento *GPIO* é de extrema importância para o *Raspberry*, devido ao fato que esses pinos constituem uma forma de se expandir o potencial da mesma, fazendo com que ela possa interagir com *hardware's* externos, como motores e sensores.

Uma das características do *GPIO* do *Raspberry Pi 3* é que o nível alto lógico desse barramento é de 3.3V, diferente de alguns outros microcontroladores e placas existentes. Dessa forma, é necessário a utilização de circuitos que realizem as devidas conversões.

Dessa maneira, com a análise realizada, optou-se pelo *Raspberry Pi 3* como melhor escolha para o projeto.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Construída toda a parte estrutural do projeto - motor, peças, estrutura, rodas, transmissão, etc. - e estando estes devidamente dimensionados e fixados na estrutura, considerou-se a parte mecânica do projeto finalizada.

A construção da estrutura no *SolidWorks* também foi de grande valia, visto que dela pôde-se tirar uma perspectiva de como construir no físico. As Figuras 40 e 41 mostram a estrutura construída no físico e no *software*, objetivando a semelhança entre as duas.



Figura 39 - Estrutura Construída.

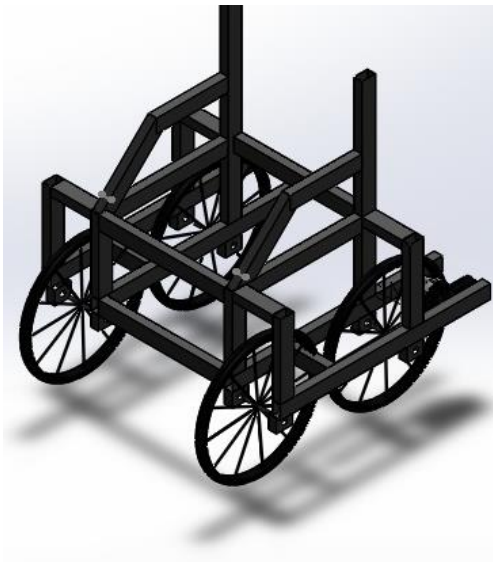


Figura 40 - Estrutura construída no SolidWorks.

Em relação ao sistema elétrico, o motor, bateria e joystick se encontram adquiridos e especificados. Os possíveis sensores também foram denominados , para que assim em projetos futuros, possam ser implantados e validados com o público-alvo.

Realizou-se pequenos testes de campo com a estrutura em questão, onde na ocasião um PNE adulto, de cerca de 75Kg, foi colocado sobre a estrutura e a mesma foi posta em movimento.

O experimento consistiu em 3 situações: o protótipo se locomovendo sobre uma rampa de inclinação igual a 3°; o protótipo se locomovendo sobre uma rampa de inclinação igual a 5° e por fim; o protótipo se locomovendo sobre uma rampa de 10°.

Na primeira parte, onde a estrutura se encontrava sobre uma rampa de 3°, o sistema não encontrou problemas de locomoção e chegou ao final do trajeto de maneira satisfatória.

No segundo teste, na rampa de inclinação de 5°, notou-se uma certa dificuldade do protótipo de terminar o trajeto da rampa, tendo em vista que o mesmo realizou a parte final do trajeto de maneira bem devagar. Porém, apesar dos inconvenientes, a estrutura chegou ao seu destino sem nenhuma interferência.

Por fim, no terceiro e último teste, em uma rampa de inclinação de 10°, o sistema não conseguiu completar o trajeto. O motivo aparente foi o dimensionamento do motor, que foi projetado para uma rampa de 5° aproximadamente. Outro motivo que ocasionou o não comprimento do trajeto foi o descarregamento da bateria, que suportou apenas 2 testes inteiros, como já era esperado.

Um fator que dificultou os testes foi o acionamento dos motores, que tiveram de ser ligados diretamente nas baterias acopladas, causando um certo desconforto para acioná-los e desligá-los.

Outra questão ressaltada pelo PNE que realizou os testes foi o desconforto do paciente sobre a estrutura, causado por sua estrutura robusta. Esse problema já era esperado, visto que o esqueleto foi construído de materiais reciclados e construído sem pensar na ergonomia com o paciente.

## 5. CONCLUSÕES

Antes de qualquer consideração, é importante ressaltar que o projeto em questão foi desenvolvido depois da aprovação do aluno em na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso I, no primeiro semestre de 2019. Esse fato se deve a troca de tema solicitada para o aluno.

O projeto teve algumas mudanças em seu cronograma, mas nada que fosse um empecilho para a conclusão do mesmo. É importante ressaltar que o aluno obteve uma experiência prática e passou por situações reais do mundo da engenharia que servirão como lição para toda a sua carreira. Situações essas que não foram vistas em salas de aula e que o aluno teve a oportunidade de se instruir.

Tabela 5 - Cronograma Previsto

Etapa	Mês			
	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.
1	X			
2	X			
3	X	X		
4		X		
5		X		
6	X	X		
7		X	X	
8	X	X	X	
9			X	X

- 1- Aquisição da estrutura da cadeira de rodas convencional;
- 2- Simulações e cálculos estruturais;
- 3- Definição e acoplamento do motor;
- 4- Definição e implementação do sistema de transmissão;
- 5- Definição do microcontrolador na estrutura do dispositivo;
- 6- Definição dos sensores;
- 7- Testes e validação do dispositivo;
- 8- Escrita do TCC II;
- 9- Defesa do TCC II.

Como grande parte do projeto foi feito através de materiais reaproveitados, o custo do projeto reduziu de maneira significativa.

Tabela 6 - Estimativa de Gastos do projeto.

<b>Material</b>	<b>Custo (R\$)</b>
Motor	50,00
Bateria 12v	25,00
Sensores Infravermelho	50,00
Sensores de Proximidade	100,00
Microcontrolador	200,00
Demais componentes	200,00
<b>TOTAL</b>	<b>625,00</b>

Nota-se portanto que o trabalho foi realizado com o menor custo possível, o que possibilitou uma abordagem prática mais ampla e eficiente.

## **6. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS**

Para trabalhos futuros, seria interessante o sensoriamento da estrutura com os sensores especificados. Um outro trabalho que pode ser feito é a aplicação de técnicas de controle para o controle de velocidade das rodas.

A análise ergonômica também é um aspecto a ser estudado, visto que é crucial para a adaptação do sistema pelo usuário, que foi visto através dos testes.

O aluno pretende continuar o projeto em sua área acadêmica, se especializando em cursos relacionados á área.

## Bibliografia

- ADEFOM. **Cadeira de rodas cedida ao Projeto Cefet-MG**. 2018
- AGÊNCIA BRASIL. **IBGE: 6,2 % da população tem algum tipo de deficiência**. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-08/ibge-62-da-populacao-tem-algum-tipo-de-deficiencia>. Acesso em: 12 set. 2018.
- AGUIRRE, L.A. **Fundamentos de Instrumentação**. São Paulo, Pearson Education do Brasil, 2013.
- AHSING, T.P.; **Power-assisted wheelchair**, US Patent US5234006, 1993.
- ALVES, M.F., **ABC das máquinas elétricas**. Departamento de Engenharia Eletrotécnica - Instituto Superior de Engenharia do Porto. Portugal, 2003.
- BAU DA ELETRONICA. Motor de passo Nema. Disponível em: <http://www.baudaeletronica.com.br/motores/motor-de-passo/nema-23>. Acesso em 23 set 2018.
- BEER, F.J.R.; **Mecânica Vetorial para Engenheiros**. Mc Graw Hill, 2004.
- BERSCH, R.; **Introdução à Tecnologia Assistiva**. Porto Alegre, 2017.
- BONINGER, M.L. **Relation between median and unar nerve function and wrist kinematics during wheelchair propulsion**. Archives of Physical Medicine Rehabilitation. 2004.
- BREGMAN, D.J. **Is effective force application in handrim wheelchair propulsion als efficient?**, 2009.
- BRAGA. I. N. C. Ponte-h com controle pwm. Disponível em <http://www.newtonbraga.com.br/index.php/robotica/1213-ponte-h-com-pwm..> Acesso em 12 set 2018.
- CAVENAGHI; **Cadeira de rodas motorizada jaguar**. <https://www.cavenaghi.com.br/cadeira-de-rodas-motorizada-jaguar-infantil-jaguaribe-333/p?cc=22>. Acesso em 12 set. 2018.
- CHAVES, E.S. **Assessing the influence of wheelchair technology on perception of participation in spina cord injury**. Archives of Physical Medicine Rehabilitation. 2004.
- CORREA, V. M. **Ergonomia: Fundamentos e aplicações**. 2014
- CRISP. J. A.,Introduction to microprocessors and microcontrollers., 2004.
- CUNHA, Alessandro F. **Sistemas Embarcados**.Editora Saber,Brasil, 2007.
- DX. **Sensor TCRT5000**. Disponível em: <https://www.dx.com/pt/hotsale/sensor-infravermelho.html>. Acesso em 15 mar 2019.
- EBERMAM, Elivelto.et al. **Programação para leigos com Raspberry Pi**. João Pessoa, PB. EditoralFPB, 2017.

ELEMENT14. **Raspberry pi 3 model b technical specifications**. Disponível em <https://www.element14.com/community/docs/DOC-80899//raspberry-pi-3-model-b-technical-specifications>. Acesso em 12 set 2018.

FILIFELOP. **Datasheet HCSR04**. Disponível em: [https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet\\_HCSR04.pdf](https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_HCSR04.pdf) . Acesso em: 12 nov 2018.

FREEDOM; **Cadeira de rodas motorizadas**. <http://www.freedom.ind.br/produto/saude/cadeiras-de-rodas-motorizadas/freedom-stand-up-motorizada/>. Acesso em 12 set. 2018.

HARRIS, J.D.; **Wheelchairs**. US Patent US4125169, 1978.

HIBBELER, R.C; **Estática**. Prentice Hall, 2004.

HIBBELER, R.C: **Resistência dos materiais**. 5. ed. Pearson, 2010.

IBGE. **Quantidade de Deficientes no Brasil**. Disponível em: <[biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94074.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94074.pdf)>. Acesso em: 30 abr. 2019.

KOONTZ, A.M.; **Investigation of the Performace of an Ergonomic Handrim as a Pain-Relieving Intervention for Manual Wheelchair Users**. Assistive Technology, 2006.

LIMA, Victor G. S., et.al. **Análises de Sistemas Operacionais Linux usando Plataforma Embarcada**. Sergipe, 2015.

LOPRESTI, E.F.; **Power apparatus for wheelchairs**. US Patent US7204328, 2007.

MAGAR. P. **Ponte h: controlando motores dc**. Disponível em <http://projetomagar.blogspot.com.br/2016/02/ponte-h.html>.112. Acesso em 12 set. 2018.

MEDOLA. F. O. **Projeto conceitual e protótipo de uma cadeira de rodas servo-assistida**. São Carlos, 2013.

METALTEX. Disponível em: <<http://www.metaltex.com.br/downloads/FM7.pdf>> Acesso em: 12 set. 2018.

NICOLOSI, D. E. C. ,Microcontrolador 8051 detalhado., 2006.

ORTOPONTO; **Cadeira de rodas motorizada**. <https://www.ortoponto.com.br/produto/cadeira-de-rodas-motorizada-eletrica-e4-ulx-ortobras-aluminio-666>. Acesso em 12 set. 2018.

OSMC. **About**.Disponível em: <<https://osmc.tv/about/>>Acesso em: 12 set.. 2018.

PATSKO. L. F. , **Tutorial montagem da ponte h**. maxwell bohr instrumentação eletrônica., 2018.

POTENTIALLABS. Servo motor 5 Kg. Disponível em: <https://potentiallabs.com/cart/servo-motor-5kg-india>. Acesso em: 05 mar 2019.

PURQUERIO, B.M.; **Notas de aula: Projeto mecânico**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2012.

RACHE, M.A.M. **Mecânica Diesel: Caminhões, Pick-ups e Barcos**. São Pauo, 2004.



RAMOS, D.T.L; ANTUNES, L.F.B. **Metodologia de Projeto Aplicada ao Projeto da Propulsão de Uma cadeira de Rodas Inteligente**. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Mecatrônica. Universidade de São Paulo, 2012.

RASPBERRY PI. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/>> Acesso em: 12 set. 2018.

RODRIGUES, C.J.; **Monitoramento de Câmera via Internet**.Engenharia de Computação em Revista, 2011.

SANTOS, C.F.M. **Controlo de Velocidade e posição de um motor dc por realimentação de estados**, 2016.

SCHUNK, L. M. Microcontroladores avr - teoria e aplicações práticas., 2001.

TAKADA, Y.; **Auxilliary Power Device of Wheelchair**. US Patent US6481514, 2002.

TOLERICO.M.L. **Assessing mobility characteristics and activity levels of manual wheelchair users**. Journal of Rehabilitation Research and Development. 2007.

UBUNTU MATE. **About**.Disponível em: <<https://ubuntu-mate.org/about/>> Acesso em: 17 jun. 2018.

VAN DER WOUDE L.H.V, **Manual wheelchairs: Research and innovation in rehabilitation, sports, daily life and health**. Medical Engineering & Physics, 2006.

ZINGER; **Cadeira de rodas motorizada dobrável**. <http://www.casadaptada.com.br/2017/06/zinger-cadeira-de-rodas-motorizada-dobrael-mais-leve-do-mundo/>. Acesso em 12 set. 2018.

## Apêndice A

### 1. Somatório nos esforços na vista lateral

$$\sum M_A = 0$$

$$R_B \cdot (0,425) - P_M \cdot (0,6225) - \frac{1}{4} \cdot P_C \cdot (0,425) - P_2 \cdot (0,108) - P_3 \cdot (0,2835) - P_4 \cdot (0,2125) \\ - P_5 \cdot (0,45) - \frac{1}{4} \cdot P_{Bat} \cdot (0,6225) = 0$$

Sabe-se o peso de cada barra e também do usuário, bateria e motor. Logo, tem-se que:

$$R_B = 412,965 \text{ N}$$

Utilizando-se do mesmo raciocínio para o ponto B, tem-se que:

$$\sum M_B = 0$$

$$- R_A \cdot (0,425) - P_M \cdot (0,1475) + \frac{1}{4} \cdot P_C \cdot (0,425) + P_{B2} \cdot (0,317) + P_{B3} \cdot (0,1315) \\ + P_{B4} \cdot (0,2125) + P_{B1} \cdot (0,425) - \frac{1}{4} \cdot P_{Bat} \cdot (0,1475) = 0$$

$$\therefore R_A = 257,607 \text{ N}$$

### 2. Somatório dos esforços na vista frontal

Dessa maneira, tem-se que:

$$\sum M_C = 0$$

$$R_D \cdot (0,460) + P_{B1} \cdot (0,146) + P_{B2} \cdot (0,073) - P_{B3} \cdot (0,23) - P_{B4} \cdot (0,583) - P_{B7} \cdot (0,46) \\ - P_{B5} \cdot (0,656) = 0$$

Sabe-se o peso de cada barra, logo, tem-se que:

$$R_D = 26,359 \text{ N}$$

### 3. Equações dos esforços nos pontos

$$F_{AC} = R_A + R_C = 283,866 \text{ N} \tag{15}$$

$$F_{BF} = R_B + R_C = 439,324 \text{ N} \quad (16)$$

$$C_y = R_A + R_C + \frac{1}{4}P_C = 504,594 \text{ N} \quad (17)$$

$$F_{FE} = R_B + R_C + \frac{1}{4}P_C = 633,69 \text{ N} \quad (18)$$

#### 4. Cálculos das Tensões nos pontos

Levando em consideração que o perfil utilizado para a confecção da estrutura possui medidas de 50 x 30 mm e 2 mm de espessura, pode-se afirmar que a área da seção transversal será:

$$A = A_E - A_I = (50.30) - (42.26) = 304 \text{ mm}^2 = 0,0304 \text{ m}^2$$

Assim, aplicando a Equação 3, tem-se que os valores das tensões nesses pontos são de:

$$\sigma_{AC} = \frac{P}{A} = \frac{283,866}{0,0304} = 9,337 \text{ KPa}$$

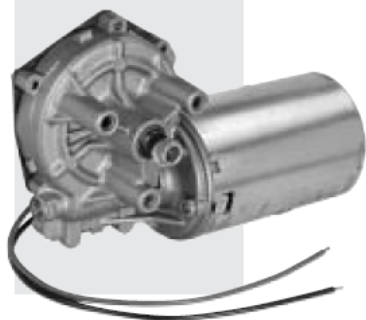
$$\sigma_{BF} = \frac{P}{A} = \frac{439,324}{0,0304} = 14,451 \text{ KPa}$$

$$\sigma_{Cy} = \frac{P}{A} = \frac{504,594}{0,0304} = 16,598 \text{ KPa}$$

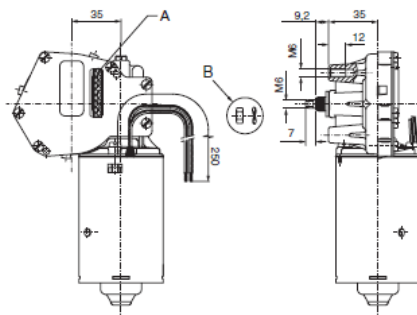
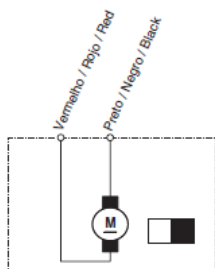
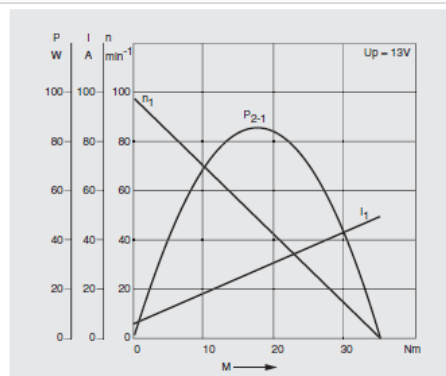
$$\sigma_{FE} = \frac{P}{A} = \frac{633,69}{0,0304} = 20,845 \text{ KPa}$$

# Anexos

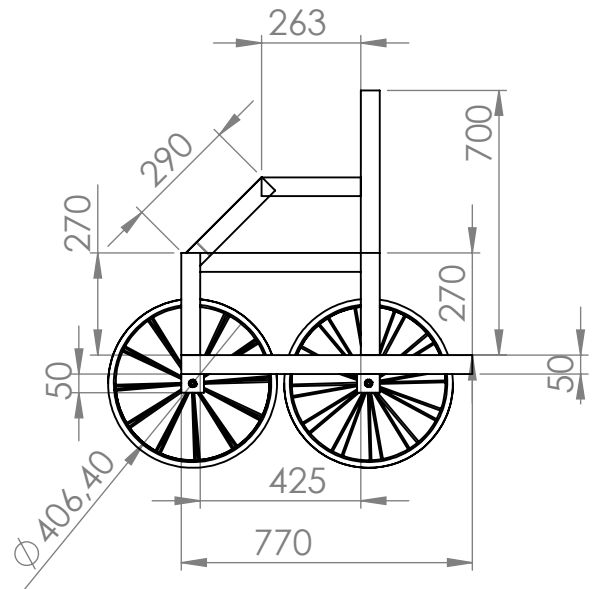
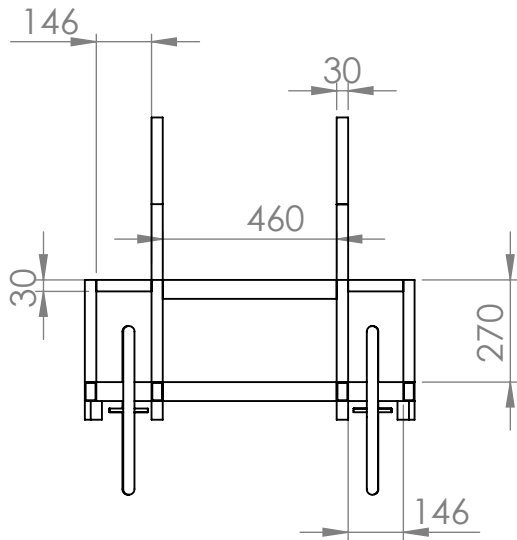
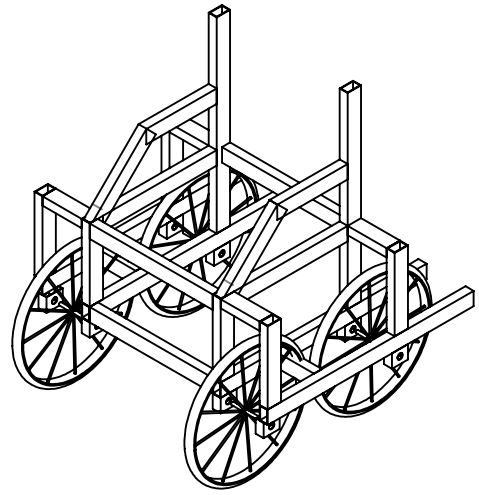
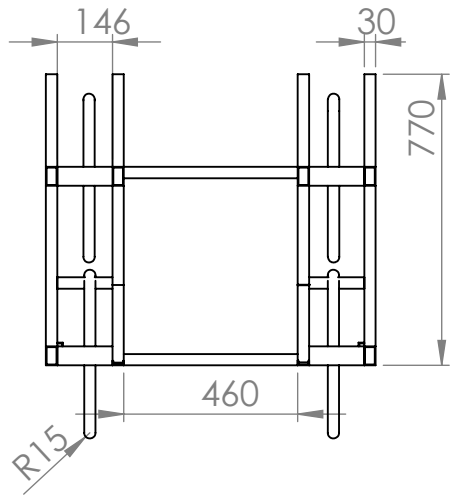
**12 V 57 W**



$U_N$	12 V
$P_N$	57 W
$n_N$	75 rpm
$I_N$	18 A
$I_{MAX.}$	50 A
$M_N$	9 Nm
$M_A$	36 Nm
$i$	63 : 1
Rot.	R
S	S1
IP	IP 44
kg	1,100 kg
Ⓜ	9 390 453 042



- A** Encaixe dos terminais vedados à prova d'água  
Encaje de los terminales sellados a prueba de agua  
Water proof sealed terminal fitting
- B** Porca e arruela para rosca M6, fornecidas montadas.  
Tuerca y rondana para rosca M6, suministradas montadas  
Nut and washer for thread M6, supplied assembled
- C** Furo de dreno Ø 5  
Orificio de drenaje  
Drain hole



SE NÃO ESPECIFICADO:  
DIMENSÕES EM MILÍMETROS  
ACABAM. SUPERFÍCIE:  
TOLERÂNCIAS:  
LINEAR:  
ANGULAR:

ACABAMENTO:

DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

NÃO MUDAR A ESCALA DO DESENHO

REVISÃO

Pedro Henrique Nunes

	NOME	ASSINATURA	DATA		
DES.					
VERIF.					
APROV.					
MANUF					
QUALID				MATERIAL:	
				PESO:	

TÍTULO:

DES. Nº

Estrutura Completa A4

ESCALA: 1:20

FOLHA 1 DE 1