



Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Engenharia Automotiva, Engenharia Eletrônica, Engenharia de
Energia e Engenharia de Software

KIT UNIVERSAL DE AUTOMAÇÃO DE CADEIRAS DE RODAS

Autor: Grupo Cadeira de rodas automatizada

Orientador: Professores Orientadores da Matéria

Brasília, DF

2015



Grupo Cadeira de rodas automatizada

KIT UNIVERSAL DE AUTOMAÇÃO DE CADEIRAS DE RODAS

Relatório para matéria do curso de graduação de Engenharias, Projeto Integrador 2

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Professores Orientadores da Matéria

Coorientador: Professores Orientadores da Matéria

Brasília, DF

2015

"A deficiência não precisa ser um obstáculo para o sucesso."

Professor Stephen W Hawking

Orientadores

Nome orientador	Engenharia
Luiz Carlos Gadelha de Souza	Engenharia Aeroespacial
Alessandro Borges de Sousa	Engenharia Automotiva
Edson Mintsu Hung	Engenharia Eletrônica
Jungpyo Lee	Engenharia de Energia
Paulo Roberto Miranda Meirelles	Engenharia de Software
Ricardo Matos Chaim	Engenharia de Software

Membros

Nome Aluno	Matricula	Engenharia
Carlos Filipe Araujo	10/0096093	Automotiva
Edward Douglas M. Pereira Junior	10/0028349	Automotiva
Felipe Duerno do Couto Almeida	11/0116712	Eletrônica
Gustavo Vinicius Martins Arvelos	09/0115830	Eletrônica
Henrique Berilli Silva Mendes	11/0120841	Eletrônica
Luiz Cláudio Percy	10/46497	Eletrônica
Bruno Carlos dos S. Moraes	10/43854	Energia
Bruno Lossio	10/0095208	Energia
Felipe de Souza Campos	10/0054323	Energia
Jéssica Rocha Gama	10/0054501	Energia
Rafael Ferrato	10/0120491	Energia
Felipe César	09/0005694	Software
Thabata Helen Macedo Granja	09/0139658	Software
Victor Cotrim de Lima	09/0134699	Software

Lista de abreviaturas e siglas

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
VPN	Virtual Private Network
XP	Extreme Programming
SLA	Bateria Selada Chumbo-Ácido
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivos	11
1.1.1	Objetivos Gerais	11
1.1.2	Objetivos Específicos	12
1.2	Estado Técnico	13
1.2.1	História	13
1.2.2	O Estado da Arte	14
1.3	Requisitos	16
1.3.1	Requisitos em Relação a Estrutura	16
1.3.2	Requisitos em Relação as Tecnologias	16
1.3.3	Requisitos em Relação a Parte Financeira	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	Power Train	19
2.1.1	Motor	19
2.1.1.1	Motor de Corrente Contínua	20
2.1.2	Redutor	20
2.1.3	Bateria	22
2.1.3.1	Carregando Baterias	23
2.1.4	Controle	23
2.1.5	Dispositivos de controle	23
2.1.5.1	Joystick	23
2.1.6	Tecnologias	25
2.1.6.1	Raspberry PI	25
2.1.6.2	Python	25
2.1.6.3	Ambiente de desenvolvimento	26
2.1.6.4	Arquitetura	26
2.1.6.5	Controle do motor	26
2.1.6.6	Ponte H	27
3	METODOLOGIA	31
3.1	Estrutura	31
3.2	Power Train	31
3.3	Controle	31
3.4	Metodologia de organização e monitoramento	31
3.5	Integração entre Engenharias	33

4	RESULTADOS	35
4.1	Estrutura	35
4.1.1	Protótipo	37
4.2	Power-Train	40
4.2.1	Moto-redutor	40
4.2.2	Baterias	40
4.2.2.1	Autonomia	41
4.3	Controle	42
4.3.1	Arquitetura	43
4.3.2	Funcionamento e Estratégia de Uso	44
4.4	Interface com o usuário	46
4.4.1	Joystick	46
5	PROBLEMAS ENCONTRADOS	47
5.0.1	Geral	47
5.0.2	Controle	48
5.0.3	Power Train	50
5.0.4	Estrutura	51
6	PERSPECTIVA	53
6.1	Incremento atual	53
6.1.1	Estrutura	53
6.1.2	Power Train	53
6.1.3	Controle	54
6.1.4	Interface com Usuário	54
6.2	Próximos passos	54
6.2.1	Estrutura	54
6.2.2	Power Train	55
6.2.3	Interface com Usuário	55
6.2.4	Controle	55
6.3	Cronograma	55
	REFERÊNCIAS	57

1 Introdução

A Cadeira de rodas manual (CRM) é um importante instrumento para a funcionalidade diária na vida daqueles que tem os membros inferiores comprometidos. Segundo uma pesquisa realizada em 2010 pelo IBGE existe cerca de 4,4 milhões de indivíduos incapazes ou com grandes dificuldades de locomoção em todo o Brasil ((SDH/PR), 2012), cadeirantes, em sua maioria.

Segundo Sagawa et al as CRM são consideradas meios de locomoção de baixa eficiência mecânica (2 a 10%), além disso os membros superiores não foram preparados para fazerem tantos esforços e movimentos repetidos, para indivíduos que ainda estão em fase de adaptação esse esforço é ainda maior e para aqueles com sobrepeso os problemas de sobrecarga podem ser tão sérios quanto os riscos cardiovasculares. Na busca de aumentar a funcionalidade de independência do indivíduo a cadeira de rodas elétrica surgiu oferecendo ao indivíduo maior facilidade e eficácia no deslocamento, no entanto, cadeiras de rodas elétricas têm um alto custo e muitas não são portáteis como CRM.

Nesse âmbito, nos últimos anos projetos de automação de cadeiras de rodas manuais (LOCKTON, 2004), (FILHO et al., 2010), (EVEREST; JENNINGS, 1937), (HAMANAKA, 2002) vem sendo testados, estes dão ao cadeirante a facilidade de mobilidade e ao mesmo tempo utilizam-se do fato de que a cadeira de rodas manual do cadeirante já está com a ergometria adaptada as necessidades do indivíduo.

Dessa forma, diante da importância entre a relação homem/cadeira de rodas o presente trabalho tem como objetivo prototipar um kit de automação de cadeira de rodas que seja acoplável a todas as cadeiras de rodas. Para garantir que esse produto seja compatível com o maior número de cadeiras de rodas do mercado possível, seguir-se-á o padrão especificado pela NBR 9050 (ABNT, 2004) e as dimensões do INMETRO ([HTTP://WWW.INMETRO.GOV.BR/](http://www.inmetro.gov.br/), 2015)

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos Gerais

O principal objetivo desse trabalho é desenvolver um kit de automação de cadeira de rodas, portátil e removível, o que tornará possível descartar o uso do trabalho humano para locomoção da CRM. Para garantir que esse produto seja compatível com o maior número de cadeiras de rodas do mercado possível, seguir-se-á o padrão especificado pela NBR 9050 (ABNT, 2004) e as dimensões do INMETRO ([HTTP://WWW.INMETRO.GOV.BR/](http://www.inmetro.gov.br/), 2015). Oferecendo um custo significativamente reduzido quando comparado a uma cadeira

de rodas motorizada e, além disso, a possibilidade de o cadeirante usufruir dos benefícios da cadeira motorizada sem perder a liberdade e ergonomia que o seu modelo manual proporciona.

1.1.2 Objetivos Específicos

O projeto está dividido em quatro ramos: power train, estrutura, controle e interface com o usuário, pretende-se ter envolvimento de todas as engenharias (Automotiva, Eletrônica, Energia e Software) nos quatro ramos durante toda a execução do projeto.

Engenharia Automotiva

1. Criar um design que permita um acoplamento universal, visando a ergonomia, peso e dimensionamento do sistema de power train;
2. Análises de materiais levando em consideração que o produto deve resistir a diversidades como água, sol, calor, etc.
3. Análise de esforços; e
4. Montagem do protótipo

Engenharia Eletrônica

1. Construir um sistema automatizado de controle que seja capaz de gerir as funcionalidades do kit de automação;
2. Dar condição de pleno funcionamento para o controle de potência e motor utilizando pontes H;
3. Permitir a interação do usuário com o kit de automação com o uso de periféricos;
4. Auxiliar no desenvolvimento e criação de interface com o usuário;

Engenharia de Energia

1. Dimensionamento do motor o com o menor requerimento de potência, ou seja, obter um perfil de torque-velocidade ótimo para o sistema de tração elétrica;
2. Dimensionamento do redutor, visto que motores elétricos CC não possuem o torque necessário para a movimentação da cadeira;
3. Dimensionamento de bateria visando os requisitos - peso, custo, autonomia, e transporte do produto por vias aéreas; e

4. Desenvolver o melhor sistema de acoplamento entre o motor e a roda do kit afim de que a transmissão de forças seja a mais eficiente possível.

Engenharia de Software

1. Montar arquitetura da informação de forma evolutivo e escalonável em relação a qualquer código a ser desenvolvido.
2. Testar Incrementalmente as unidades usando metodologias TDD e se possível BDD.
3. Desenvolver incrementalmente de forma a manter a integração continua.
4. Desenvolvimento de aplicativo em plataforma a ser definida levando em conta o ciclo PDCA.

1.2 Estado Técnico

1.2.1 História

O primeiro meio de suporte para pessoas doentes ou deficientes, possivelmente foi a maca, inventando 4000aC. Ela era leve e podia ser facilmente transportada pelos escravos, servos ou membros da família (SOUZA, 2011).

Uma cama de criança, retratada em um vaso grego do século VI aC, pode ser considerada a mais antiga representação de um veículo sobre roda em ambientes internos. Uma escultura feita mil anos após o vaso, pode ser considerada a mais antiga representação de uma cadeira de rodas. Acredita-se que a escultura venha da China, sendo o único país da metade oriental da Ásia em que as cadeiras foram usadas antes dos tempos modernos (SOUZA, 2011).

No século III dC, foi inventando um veículo muito utilizado até hoje, o carrinho de mão. Este objeto chegou a Europa por volta do século XII dC pela rota das Cruzadas, sendo um veículo útil para todos os tipos de natureza (SOUZA, 2011).

Por volta do século XVI, algumas cadeiras receberam pequenas rodas ou rolos, dando comodidade aos idosos e doentes, onde essas cadeiras tinham as costas reclináveis, apoio de cabeça e apoio de braço. Com a criação dessas cadeiras, os idosos e doentes não precisavam ficar confinados nas camas, já que muitas dessas cadeiras eram feitas individualmente e para a própria utilização do dono (SOUZA, 2011).

Com o passar do tempo, cresceu o desejo pelo conforto, com isso, foram feitos algumas alterações nos contornos das cadeiras, onde elas recebiam braços adaptados às formas do corpo humano. Entretanto, as cadeiras de rodas ainda precisavam de alguma pessoa para empurrar. Uma das últimas melhorias que foi aplicada às cadeiras de rodas,

foi no final do século XIX, quando as rodas de bicicletas de madeira foram substituídas por raios de metais, deixando-as bem parecidas com as que usamos hoje em dia. Um pouco mais tarde, quando as rodas de bicicletas foram envoltas com pneu de borracha, os fabricantes das cadeiras de rodas começaram a seguir essa tendência (SOUZA, 2011).

No início do século XX, o inventor americano George Westinghouse, fez alguns desenhos sobre suas idéias para a criação de uma cadeira de rodas elétrica, entretanto, Westinghouse faleceu em 1914 sem ter construído uma cadeira de rodas elétrica. Apesar disso, muitos o consideram como o inventor da cadeira de rodas elétrica. Alguns anos depois, um grupo de engenheiros criou uma cadeira de rodas motorizada, entretanto, esta era muito cara, pesada e inflexível para os consumidores (CLARK, 1997), (SHEPARD; KAREN, 1984).

Já no início da década de 1930, Harry Jennings projetou uma cadeira de rodas dobrável com a ajuda de um paraplégico, o que acabou melhorando os modelos seguintes das cadeiras de rodas elétricas (CLARK, 1997), (SHEPARD; KAREN, 1984). De acordo com a necessidade e avanço científico e tecnológico do ser humano as cadeiras de rodas se tornaram um novo produto. Visando o mercado, várias empresas investiram na fabricação e desenvolvimento de modelos e tecnologias, que beneficiam aos cadeirantes. Existem atualmente diversos modelos de cadeiras de roda como cadeiras para banhos, cadeiras automatizadas, cadeiras dobráveis é até mesmo kits de automação, equipamentos que se tornaram de extrema importância para facilitar a acessibilidade dos cadeirantes ([HTTP://WWW.SCIELO.BR/PDF/PROD/V12N1/V12N1A06](http://www.scielo.br/pdf/prod/v12n1/v12n1a06), 2012).

1.2.2 O Estado da Arte

As tecnologias Assistivas, que são recursos tecnológicos que facilitam a vida das pessoas com algum tipo de deficiência, tem se tornado hoje um assunto cada vez mais comum. O avanço tecnológico tem facilitado para que haja uma inclusão social cada vez maior auxiliando atividades como: a automação de ambientes, que facilita para a execução de tarefas simples; na correção postural, com cadeiras que beneficiam a postura de pessoas que possuem alguma deficiência física; e na locomoção, que podem ser bengalas, cadeiras de rodas manuais ou elétricas, qualquer equipamento ou estratégia que auxilie na mobilidade.

A NBR9050 recomenda padrões de cadeiras de roda manuais e ajustes estruturais da mobília para de prédios para acessibilidade de pessoas com deficiência, estabelecendo padrões de estofados, dimensões estruturais, dentre outros que facilitam a vida de pessoas com deficiência (BECKER, 2000).

Hoje em dia, com a tecnologia mais avançada e os estudos em materiais mais resistentes e leves, pode-se observar uma vasta gama de cadeiras de rodas manuais e

elétricas. Atualmente: cadeira de rodas dobrável com propulsão manual ou elétrica, cadeira leve tipo standard, cadeira semi-reclinável, cadeira "stand-up", vide figura 1, e cadeira desportos, vide figura 2, scooters e cadeira motorizada (SOUZA, 2011).



Figura 1: Cadeira Stand-up

Na figura 1, é apresentado uma cadeira de rodas do modelo stand-up, onde existem modelos dela manuais e motorizadas. Seu principal objetivo para o cadeirante é melhorar sua auto-estima, facilitando a acessibilidade nas atividades cotidianas, como exemplo, pegar um livro em uma estante, ou simplesmente olhar uma pessoa frente a frente. Isso ocorre devido a cadeira ter um sistema de elevação elétrico ou manual, permitindo pequenos deslocamentos do corpo da pessoa na posição ereta, com segurança e praticidade ([HTTP://WWW.CAVENAGHI.COM.BR/](http://www.cavenaghi.com.br/), 2015).



Figura 2: Cadeira desporto

Na figura 2, tem um exemplo de cadeira de rodas para desporto. Esse tipo de cadeira de rodas são utilizadas nas atividades desportivas, onde cada cadeira é feita de acordo com a deficiência do para-atleta. Essas cadeiras são feitas com materiais leves, para que o para atleta tenha mais velocidade e agilidade (FREIRE, 2009).

Na figura 3, é apresentado a patente (PI0304753-9) que é um kit para motorização de cadeiras de rodas, onde as rodas de uma cadeira de rodas manual será tracionada por um conjunto de rodas menores, comandadas por um joystick, dotado de todos os elementos de comando de ambos os conjuntos de tração. Esse joystick é fixado junto ao apoio de braço direito ou esquerdo da cadeira de rodas ([HTTP://WWW.PATENTESONLINE.COM.BR/](http://www.patentesonline.com.br/), 2015).

A idéia dessa patente serviu de inspiração para o desenvolvimento desse projeto, onde a idéia principal é construir um kit para ser acoplado em qualquer cadeira de rodas manual, transformando-a em motorizada.

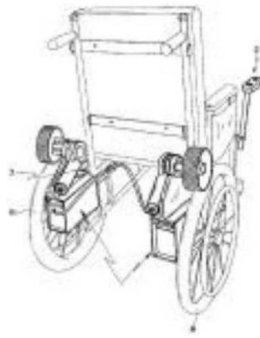


Figura 3: Patente de um kit de automação de cadeiras de rodas

1.3 Requisitos

Os requisitos iniciais do projeto foram definidos a fim de facilitar um planejamento na fase inicial, ajudar na definição das tecnologias que serão utilizadas, e gerenciamento do projeto.

1.3.1 Requisitos em Relação a Estrutura

- O sistema de acoplamento entre o kit de automação e a cadeira deve ser universal com base nas dimensões do INMETRO;
- O projeto de design deve ser discreto;
- A ergonomia do kit deve prover conforto e segurança ao usuário;
- Transmissão de torque e potência entre o kit e a roda da cadeira de rodas deve possuir as menores perdas possíveis;
- O peso do conjunto motor-bateria deve ser o menor possível. Esse requisito está também atrelado ao custo- benefício.

1.3.2 Requisitos em Relação as Tecnologias

- É necessário um sistema de automação, controle dos motores, indicadores e controladores de potência;
- Interface com o usuário deve ser simples e acessível;
- A velocidade mínima da comunicação entre interface do usuário e placas de controle deve ser a mais alta possível.
- Este requisito será melhor adequado em relação a valores assim que testado com o usuário.

1.3.3 Requisitos em Relação a Parte Financeira

- Os custos totais do protótipo devem ser consideravelmente menores aos de uma cadeira de rodas motorizada;
- Os custo-benefício das peças a serem utilizadas no projeto devem ser embasados em cálculos matemáticos de quantidade-analisada por valor a ser pago.

2 Fundamentação Teórica

As cadeiras de rodas motorizadas proporcionam conforto, segurança, rapidez e prevenção de lesões nos membros superiores devido ao uso repetitivo em cadeiras de rodas manuais. Porém, uma cadeira de rodas motorizada representa um alto custo: em uma análise do impacto orçamentário realizada pelo Departamento de Economia da Saúde, Investimento e Desenvolvimento- Ministério da Saúde-DESID/SE/MS, o preço sugerido para uma cadeira de rodas motorizada é de R\$ 4.999,00, além do custo de manutenção (CONITEC, 8 de maio de 2013).

Além disso, outro problema que as cadeiras de rodas motorizadas possuem é que em caso de necessidade, não podem ser usadas como cadeiras de rodas manuais, pois possuem rodas pequenas para aproveitar melhor a potência dos motores e sistema de transmissão. Outro detalhe importante é que cadeiras de rodas motorizadas são geralmente pesadas, e não possuem as facilidades de transportes das cadeiras manuais.

2.1 Power Train

2.1.1 Motor

Motor é uma máquina que tem a capacidade de transformar energia elétrica em energia mecânica (MEGGIOLARO; GIRAS, 2011), existem dois tipos de motores: motor de corrente alternada (CA) e os de corrente contínua (CC).

As cadeiras de rodas automáticas utilizam de baterias como fonte de alimentação para os motores, portanto se deve utilizar motores de corrente contínua. Este tipo de motor é muito utilizado em projetos que necessitam de velocidades variáveis, eles também apresentam uma região de torque e potência constante e são simples de realizar a aceleração e a desaceleração (HAMANAKA; DIAS, 2002).

É necessário que as relações de velocidades entre os motores tenham um sistema de controle rígido de forma que o usuário consiga controlar a cadeira adequadamente. Os motores devem responder aos comandos sem que haja erros por uma questão de segurança. Uma metodologia para o dimensionamento de sistemas de tração para veículos elétricos é baseada na dinâmica veicular e considerando três condições de operação:

- Aceleração inicial
- Velocidade nominal
- Velocidade máxima

Um sistema que supre essas três condições funcionará adequadamente nos demais regimes de operação. Os parâmetros que definem essas restrições são:

- Velocidade nominal do veículo
- Tempo especificado para o veículo atingir a velocidade nominal
- Velocidade máxima
- Massa do veículo

2.1.1.1 Motor de Corrente Contínua

O objetivo é atender as restrições de projeto com o menor requerimento de potência, ou seja, obter um perfil de torque-velocidade ótimo para o sistema de tração elétrica. Os motores de corrente contínua utilizam das forças eletromagnéticas para transformar energia elétrica em mecânica, eles funcionam com uma fonte retificada, ou seja, que possuem polaridade fixa.

Este tipo de motor possui dois terminais, um positivo e outro negativo que de acordo com a polaridade e o sentido da corrente controlam a repulsão dos eletroímãs e consequentemente o sentido da rotação do motor. Ele é capaz de reverter o sentido da corrente sem que haja reversão de torque.

Uma das maiores vantagens dos motores de corrente contínua é o controle da velocidade que é feito por drenagem de corrente para o motor. Porém são mais difíceis de serem construídos e mais propícios a problemas, gerando uma maior manutenção, além disso, são propícios a problemas com faíscas internas o que impede o seu uso em ambientes perigosos.

Outro problema encontrado é a alta velocidade angular. Motores de corrente contínua encontrados no mercado possuem velocidades angulares nominais entre 2500 e 2800 rpm, o que lhes confere um baixo torque. Cadeiras de rodas precisam de motores que transmitam um alto torque para as rodas para poder movimentá-la, assim, se faz necessário um sistema redutor acoplado ao eixo do motor para reduzir a velocidade angular e aumentar o torque.

2.1.2 Redutor

O redutor tem a finalidade de modificar algumas características de ventiladores, bombas e motores elétricos para o acoplamento com outros dispositivos em seus eixos. Desta forma, o uso do redutor irá variar a velocidade, rotação ou torque (Andrade).

Para definir um redutor é necessário que haja a presença de um conjunto de eixos com engrenagens cilíndricas dentadas ou, até mesmo, conectado com um parafuso. Tudo

isso para que haja uma redução do torque do eixo do dispositivo gerador de energia, quando comparado com o torque do eixo do dispositivo a ser acoplado, por exemplo uma roda. O uso de redutores é bem visto na fabricação de relógios, esteiras industriais e bombas.

Para que possa obter uma redução de torque é necessário a presença de engrenagem entre os eixos dos dispositivos. Por meio das engrenagens a velocidade de rotação da transmissão é reduzida, e o contato entre engrenagens de menor ou maior número de dentes (variação no diâmetro) possibilita a redução de torque desejada.

Existem dois tipos principais de redutores: Engrenagens cilíndricas de dentes retos e engrenagens cilíndricas de dentes helicoidais. As primeiras distinguem-se por transmissão de força sem deslizamento nos dentes, relação de multiplicação constante e independência de carregamento. Promove segurança de funcionamento, durabilidade, resistência a sobrecargas, fácil manutenção e dimensões reduzidas em relação a potência.

As engrenagens cilíndricas de dentes helicoidais apresentam a vantagem de terem um funcionamento muito suave. Elas trabalham com relevante escorregamento de um dente sobre outro. Sua utilização permite transmissões silenciosas, sem vibrações e choques, pois há sempre 2 ou 3 dentes em contato. A altura do dente poderá ser, eventualmente reduzida, sem prejudicar a transmissão. O número de dentes mínimo poderá ser inferior ao das engrenagens cilíndricas de dentes retos, e a relação de transmissão poderá ser maior. Sendo a superfície de contato muito reduzida, teremos grandes pressões por isso as engrenagens helicoidais são muito mais usadas.



Figura 4: Motor de corrente contínua acoplado a um redutor

2.1.3 Bateria

Baterias são dispositivos que transformam energia química em elétrica e viceversa. Por ser um processo reversível, as baterias podem ser carregadas e descarregadas várias vezes. Hoje no mercado existem vários tipos de baterias, com diferentes condições nominais.

A bateria adequada ao projeto seria uma bateria de chumbo ácida, muito utilizada em veículos devido a seu fácil acesso e baixo custo. Atualmente ela já é utilizada em cadeiras de rodas elétricas. Este é o tipo menos eficiente de bateria, com a pior relação peso/energia, em compensação, é a tecnologia mais barata.

Inventadas em 1859 pelo físico francês Gaston Planté, é muito utilizada hoje em dia em diferentes áreas, como automóveis, sistemas de fornecimento de energia elétrica ininterrupta (no-breaks) e cadeiras de rodas elétricas. Desprezando-se o problema do peso, é a bateria que mais se adéqua ao projeto.

Um grande problema foi solucionado na década de 70, onde pesquisadores conseguiram desenvolver uma bateria de chumbo-ácido livre de manutenção, podendo operar em qualquer posição. Nesta bateria, o invólucro foi selado e o eletrólito líquido foi transformado em separadores umedecidos.

As baterias SLA (bateria selada chumbo-ácido), também conhecida como Gelcell, tem uma faixa típica de capacidade que vai de 0,2 Ah até 30 Ah. Esse tipo de bateria está livre do famoso efeito memória, e deixar a bateria em carga flutuante por um longo período não causa nenhum dano.

A bateria de chumbo-ácido tem a melhor retenção de carga entre todas as baterias recarregáveis. As baterias de SLA descarregam, em média, aproximadamente 40% da sua energia armazenada em 1 ano, já uma de NiCd se auto descarrega na mesma quantidade em 3 meses.

As baterias SLA devem sempre ser armazenadas carregadas. Deixar a bateria descarregada causa sulfatação, uma condição que torna difícil, se não impossível, de se recarregar as baterias. A bateria SLA consegue fornecer entre 200 e 300 ciclos de carga/descarga.

Vantagens:

- A mais barata em termos de custo por Watt horas;
- Segura e durável quando utilizada corretamente;
- Auto descarga está entre as mais baixas entre as baterias com sistema de recarga;
- Não exige muita manutenção e não tem o efeito memória.

Limitações:

Interface	Comunicação	Monitoramento
Joystick tradicional	Sem ou com fio, dependendo,da aplicação.	Pouco, geralmente
Joystick adaptado para, o queixo	Com fio.	Nenhum.
Guidão e, motordianteiro	Mecânica.	Pouco, ou, nenhum.

Tabela 1: Formas de controle

- A bateria não pode ser armazenada em completa descarga, a tensão tem de estar acima de 2,10V;
- Densidade baixa da energia;
- Ciclo de carga/descarga limitado;
- O eletrólito e o conteúdo da carga podem causar danos ambientais;
- Imprópria para dispositivos de mão que exigem tamanho compacto.

2.1.3.1 Carregando Baterias

O tempo de carga de uma bateria de Chumbo-Ácido (selada) é de 12 a 16 horas. Com correntes de carga maiores, e métodos de carga multi-estágios, o tempo de carga pode ser reduzido para 10 horas ou menos. Durante a carga em corrente constante, a bateria carrega 70% em aproximadamente 5 horas; os 30% restantes são completados por uma lenta carga de pico. A corrente de pico dura outras 5 horas e é essencial para o bem estar da bateria.

2.1.4 Controle

Desde a primeira patente de cadeira de rodas elétrica em 1937 (EVEREST; JENNINGS, 1937), diversos modelos de cadeiras de rodas motorizadas foram desenvolvidos. As mais diversas interfaces humano-computador foram criadas de modo a facilitar a vida do cadeirante, desde cadeiras elétricas com um joystick simples à cadeiras inteligentes controladas por voz ou sem fio via celular, com monitoramento de velocidade, bateria e inclinação (BARCELOS et al., 2008). Foram pesquisadas várias formas de controle de cadeiras de rodas que podem ser consultados na tabela 2.1.4.

2.1.5 Dispositivos de controle

2.1.5.1 Joystick

O joystick é um periférico de computador pessoal ou um dispositivo geral de controle que consiste em uma vara vertical na qual os pivôs se aproximam de uma extremidade

e transmitem seu ângulo em duas ou três dimensões a um computador (MCGUIRE; JENKINS, 2009). O Joystick, muito utilizado em computadores e jogos eletrônicos, provou sua utilidade em diversas áreas.

Em uma cadeira de roda elétrica o controle que representa a interface com o usuário, normalmente é feito com sistemas de Joystick. Essa é uma solução comum devido sua simplicidade, baixo custo e confiabilidade.

Para o projeto o Joystick será conectado com fio e acoplado ao braço da cadeira, em uma posição que o usuário se sinta mais confortável de acordo com as limitações do dispositivo. Este acoplamento deverá ser simples e confiável.

Foram feitas algumas tentativas para o desenvolvimento do Joystick com a confecção de uma placa de circuito impresso, porém devido a organização dos pinos não foi possível finalizar a mesma. Foi comprado um Joystick que possui cinco pinos, sendo um para alimentação 5V, outro para GND, dois para as direções, vertical e horizontal e ainda outro para um botão, conforme pode ser visto na figura 5.



Figura 5: Joystick de cinco pinos

O usuário terá acesso ao Joystick e ainda a dois painéis simples, um deles vai indicar a velocidade do sistema e o outro para mostrar o nível da bateria. Os medidores de bateria e velocidade, serão indicados por LEDs que mostrarão o nível que o sistema se encontra e serão posicionados de forma que facilite a vida do usuário.

2.1.6 Tecnologias

2.1.6.1 Raspberry PI

O Raspberry Pi é um computador do tamanho de um cartão de crédito que faz uso do sistema operacional Linux. Este sistema foi desenvolvido para rodar aplicações de todos os tipos, como internet, vídeo, dentre outras, que geralmente rodam em um computador pessoal comum. Possui entradas USB que permitem a conexão de periféricos como mouse, teclado, câmeras e saídas para TVs como HDMI. Possui apenas memória volátil, sem disco rígido e roda o sistema operacional a partir de um cartão de memória (RASPEBERRY..., 2015).

O Raspberry Pi tem como principal componente um pequeno circuito integrado que reúne o processador com a arquitetura ARM, a GPU VideoCore IV e a memória RAM que é compatível com o sistema operacional GNU/Linux. As especificações gerais do modelo mais provável a ser utilizado no projeto, o Raspberry Pi Model B, que pode ser visto na figura 6, são:

- Processador ARM 11 de 700 MHz;
- GPU VideoCore IV de 250 MHz;
- 256 MB total de RAM;
- Saída de vídeo HDMI e RCA;
- Saída de áudio P2;
- Interface de rede Ethernet;
- 2 portas USB;
- Conector Micro USB para alimentação (5 volts, 700mA).

Ainda será utilizado uma tecnologia de conexão remota chamada SSH, que consiste em "um programa utilizado para acessar remotamente máquinas e executar comandos remotamente na máquina acessada".(BSD General Commands Manual, acessado em 22 de Outubro de 2015).

2.1.6.2 Python

Uma das linguagens a ser adotada será Python devido a facilidade de existir bibliotecas específicas que controlam o GPIO (General Purpose Input/Output) do Raspberry Pi. Essa linguagem é uma linguagem de programação de alto nível, interpretada, orientada a objetos, de tipagem dinâmica. Tem uma sintax consisa e clara, juntamente com uma biblioteca com recursos poderosos. Os módulos e frameworks ainda não foram decididos.

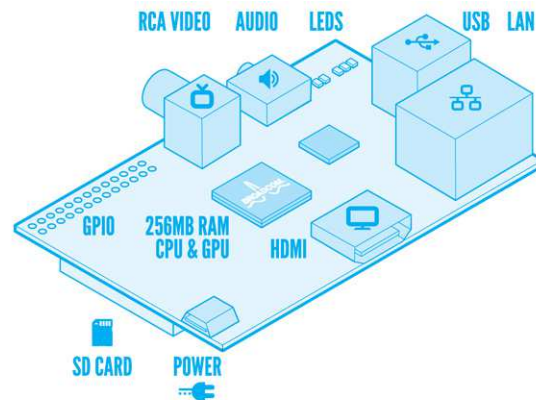


Figura 6: Raspberry Pi Model B

2.1.6.3 Ambiente de desenvolvimento

O ambiente utilizado para desenvolver o software relativo ao projeto tem como linguagem de desenvolvimento Python 3.4 e ambiente para testes.

Os testes unitários são utilizados de forma a testar a menor unidade do software, de tal forma a suportar a automatização dos mesmos, de forma independente entre os testes (Referência, Acessado em 22 de Outubro de 2015). O framework a ser utilizado será o "unittest", suportado e provido pelo próprio Python.

Ainda será utilizado o "Mock", que é uma biblioteca de teste que faz parte do framework "unittest". É utilizada para "fingir" que algo existe enquanto não pode ser implementado (Referência, Acessado em 22 de Outubro de 2015).

Contaremos ainda com a cobertura de código, que é uma métrica quantitativa de qualidade utilizada para aferir a quantidade percentual de teste do software. Mostrando assim a efetividade dos testes realizados, artifício esse que se torna indispensável quando utiliza-se testes unitários, pois proporciona um retorno da medida da eficácia.

2.1.6.4 Arquitetura

” É um conjunto de elementos arquiteturais (de dados, de processamento, de conexão) que possuem alguma organização. Os elementos e sua organização são definidos por decisões tomadas para satisfazer objetivos e restrições. ” (Silvia Regina Vergilio apud Perry e Wolf(92), Arquitetura de Software, Disponível em: link).

2.1.6.5 Controle do motor

Geralmente motores precisam de corrente relativamente altas para controlar o seu funcionamento, assim é necessário que o sistema seja capaz de drenar corrente suficiente para os dispositivos. Considerando a característica dos motores de corrente contínua, sua

direção é controlada pelo sentido da corrente, pode-se construir um sistema para o controle do sentido de forma simples utilizando apenas chaves, transistores e o circuito de ponte H.

2.1.6.6 Ponte H

Para realizar o controle dos motores elétricos de corrente contínua (DC) é necessário determinar o sentido da corrente que passa pelos terminais do motor, é através da ponte H que se realiza o controle, com ela é possível determinar o sentido que o eixo girará e sua velocidade. O Diagrama da ponte H está figura 7.

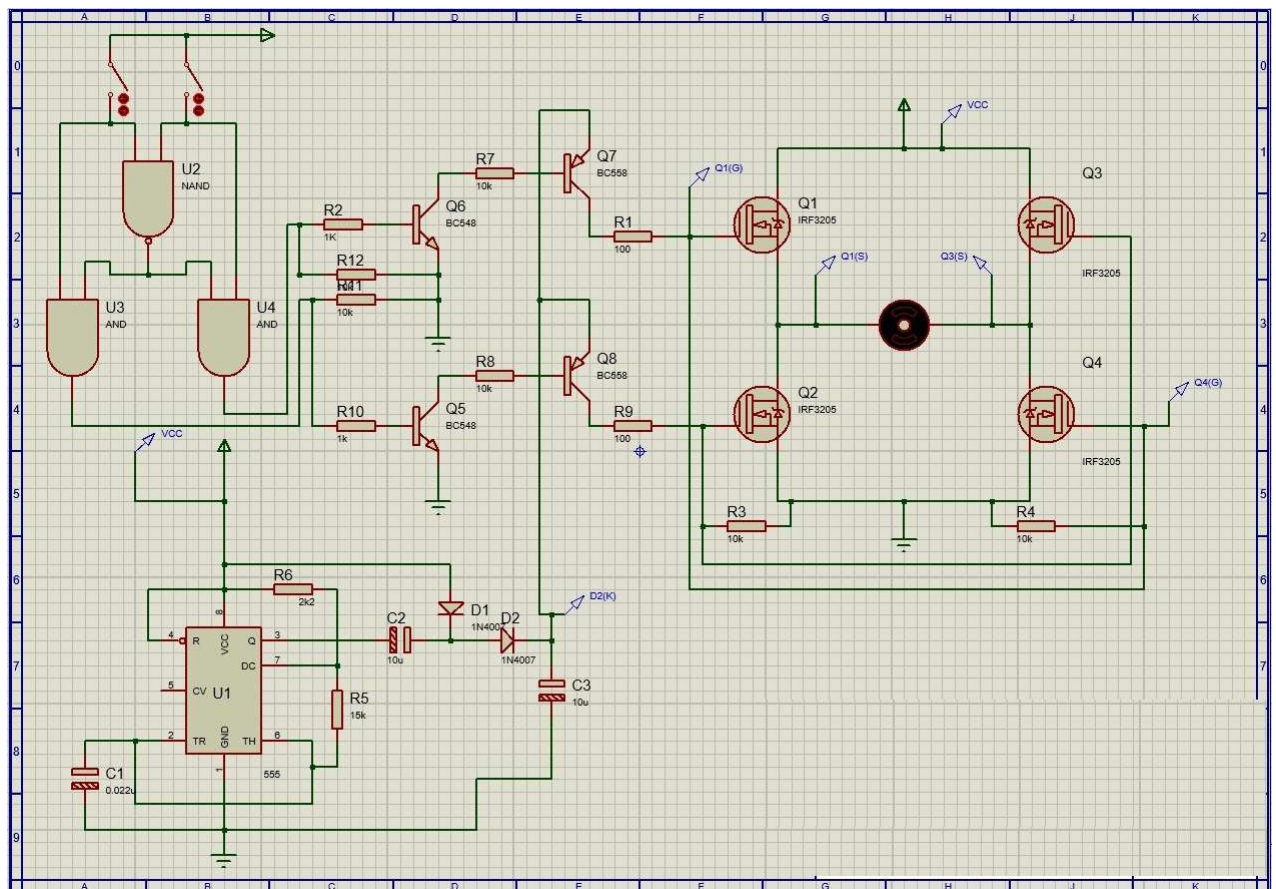


Figura 7: Ponte H completa + circuitos de acionamento

A ponte H é utilizada para o controle dos motores e ela faz isso por meio do controle de corrente, ela é usada para determinar o sentido de corrente e o valor de tensão no controle de um motor DC.

A ponte H é um conjunto de quatro transistores ligados de formas que quando seja acionado suas entradas polarizem apenas dois transistores como mostrado na figura 8, dos quatro presentes, e permita que a corrente flua pelo motor movimentando-o.

Os transistores da ponte H funcionam como chaves controladas por tensão. Os transistores utilizados são o IRF 3205, e eles são polarizados quando se cria uma diferença

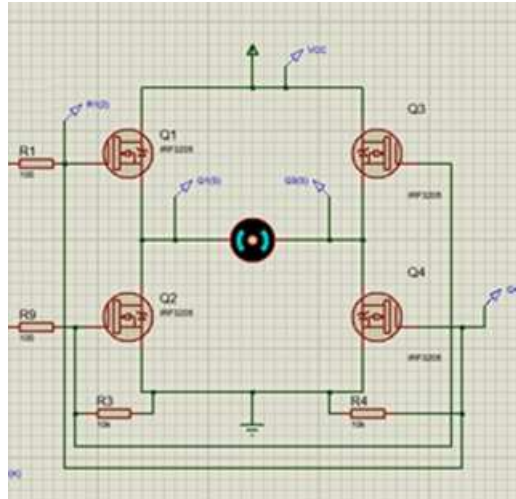


Figura 8: Ponte H com transistores FETs

de tensão entre o Gate (G) e Source (s) V_{GS} maior que a tensão de threshold (V_{TH}), ou seja maior que 2 volts [datasheet]. Quando polarizados permitem que a corrente flua do Dreno (D) para o Source (I_{DS}), dessa forma funcionando como uma chave.

Com isso utiliza-se desta propriedade e da disposição deles para fazer o controle do sentido de giro do motor. Quando o transistor Q1 e Q4 são polarizados, o terminal direito do motor fica com uma tensão mais positiva que o esquerdo, fazendo a corrente fluir da direita para a esquerda como mostrado na figura 9.

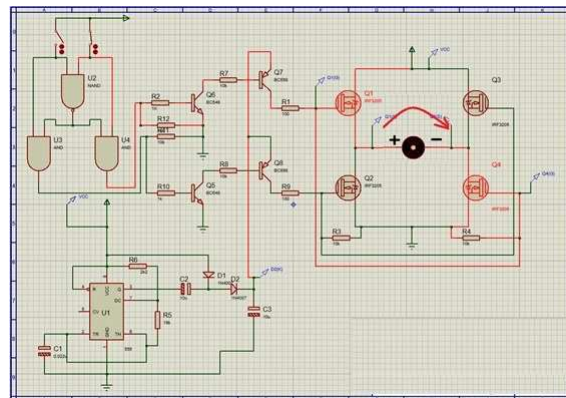


Figura 9: Motor no sentido horário devido a corrente

Acionando-se em conjunto os transistores Q3 e Q2, o terminal esquerdo do motor fica com uma tensão maior que o direito, fazendo a corrente fluir da esquerda para a direita. Desse modo girando inversamente a quando acionou-se os transistores Q1 e Q4 como mostrado na figura 10.

Os transistores Q1 e Q2 não podem ser polarizados simultaneamente assim como os transistores Q3 e Q4. Pois o fechamento em conjunto de tais chaves causaria um curto na fonte de alimentação. Por esse motivo foi desenvolvido um modulo de segurança utilizando

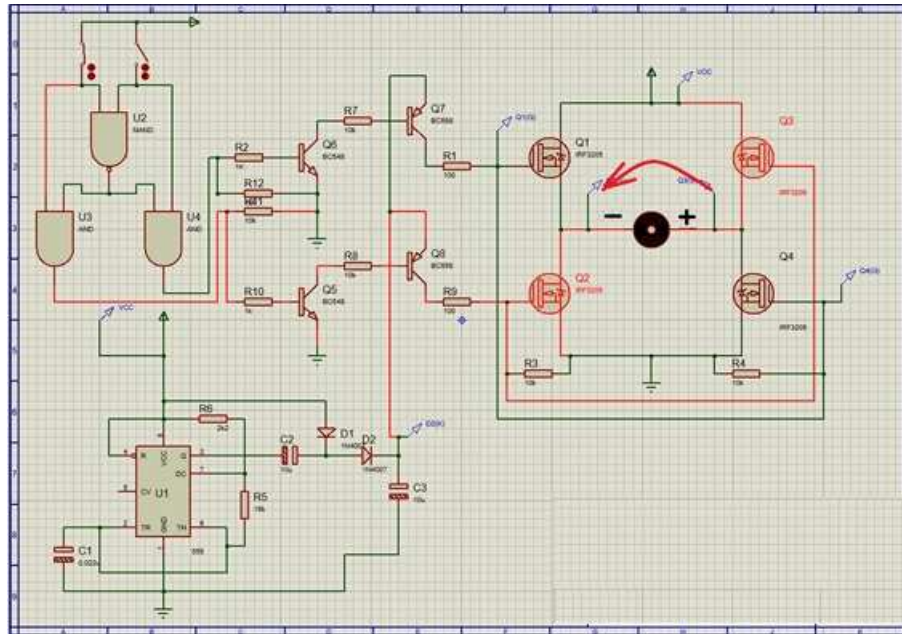


Figura 10: Motor no sentido anti-horário devido a corrente

portas lógicas na entrada impedindo que as duas entradas que controlam os transistores sejam acionadas ao mesmo tempo. Foi utilizado uma porta NAND e duas porta AND para garantir que não haverá acionamento de todos os transistores ao mesmo tempo.

Foi necessário utilizar um dobrador de tensão no circuito, como ele foi possível garantir um VGS maior que 2V para polarizar dos transistores MOSFET da ponte, como a alimentação da ponte está restrita nos 12V teve-se que utilizar esse artifício para conseguir criar essa diferença de tensão nos terminais do transistor e polariza-lo.

O circuito do dobrador, representado na figura 11, possui um oscilador que gera uma onda quadrada, que no caso é um CI 555, e para o controle do pulso temos os resistores R5 e R6 e o capacitor C4. Em C2 tem-se um capacitor inversamente polarizado o que faz com que esse carregue apenas quando a parte baixa da onda quadrada é ativada.

Durante o período da onda quadrada em alto, C3 descarrega na saída do diodo na parte negativa gerando um efeito que dobra a tensão, conforme pode ser visto nos nomes abaixo. É importante observar que o capacitor C2 não pode ser muito grande e nem o pulso do oscilador muito largo para que não haja uma descontinuidade muito grande no valor de tensão.

Esse circuito é necessário pois a tensão do circuito está limitada em 12V. Com isso não é possível conseguir um VGS maior que 2V nos transistores MOSFET da ponte H. Com o auxílio desse artifício muito utilizado na eletrônica consegue-se fazer a transformação de um tensão DC em uma tensão DC com o dobro de tensão, com isso tem-se 24V teóricos na saída do circuito dobrador de tensão, pois a tensão de entrada é cerca de 12V.

Dessa forma liga-se a saída do dobrador de tensão nos transistores Q7 e Q8 para

eles alimentarem o Gate dos transistores MOSFET do circuito, como há perdas envolvidas, chegarão cerca de 22V nas portas G dos transistores, tornando possível haver uma diferença maior que a V_{TH} e polarizando os transistores da maneira correta e permitindo o funcionamento do sistema por completo.

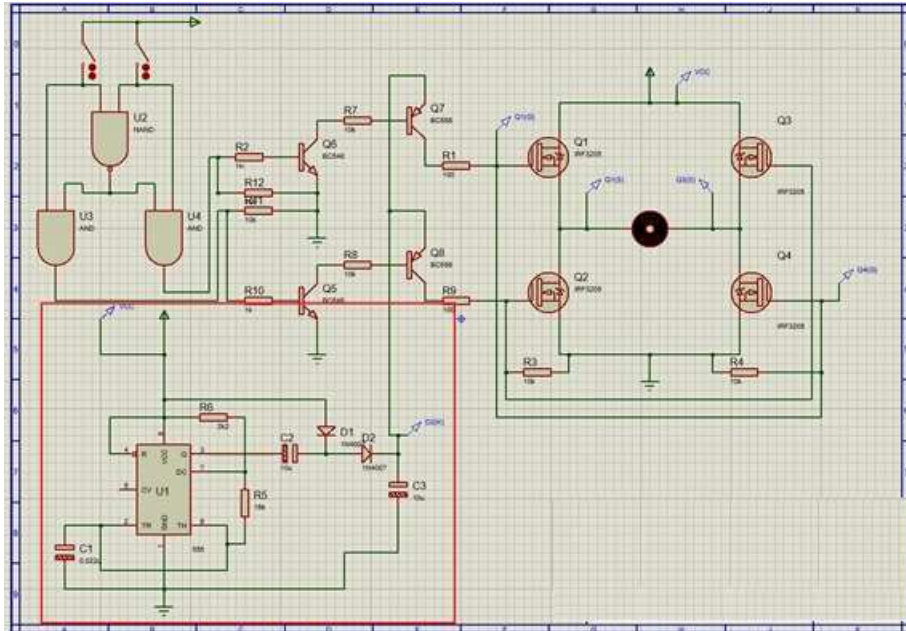


Figura 11: Circuito elevador de tensão

3 Metodologia

3.1 Estrutura

Modelagem 3D do dispositivo: será construído um modelo 3D da estrutura, seguindo as dimensões especificadas pela NBR 9050 ([ABNT, 2004](#)) e as dimensões do IMETRO, utilizando para isto o software Catia V5 3D.

Será construído um modelo utilizando PVC para os testes de acoplamento.

Com o auxílio do torno mecânico disponível no galpão da Faculdade UNB - Campus Gama será torneado um eixo para o acoplamento do conjunto de moto-redução e roda do sistema

3.2 Power Train

Especificação do conjunto moto-redutor e bateria: serão levantados os requisitos necessários do moto-redutor e qual a autonomia do sistema com base do conjunto escolhido e a bateria. Será estudado as implicações do raio da roda do sistema para a transmissão do torque para a CRM.

3.3 Controle

Especificação de tecnologia: estudo e escolha da melhor tecnologia voltada para o problema. Estudo de qual tipo de controlador de potência a ser usado no motor, para controle de sua corrente

3.4 Metodologia de organização e monitoramento

Para a execução do projeto o grupo organizou com base nas metodologias ágeis "Extreme Programming" (XP) e Scrum, comuns a engenharia de software, porém, estas metodologias foram adaptadas conforme a necessidade e o contexto do projeto que este documento descreve. Um exemplo destas adaptações é a ausência de um "Product Owner", para esta representação todo o grupo a exercerá através de reuniões para tomadas de decisão.

O Scrum e o XP são metodologias ágeis que nos baseamos para o planejamento do processo produtivo. No início do projeto foi definido o escopo, product backlog, de uma forma mais macro, resultando assim na nossa EAP, que pode ser observada na figura [12](#).

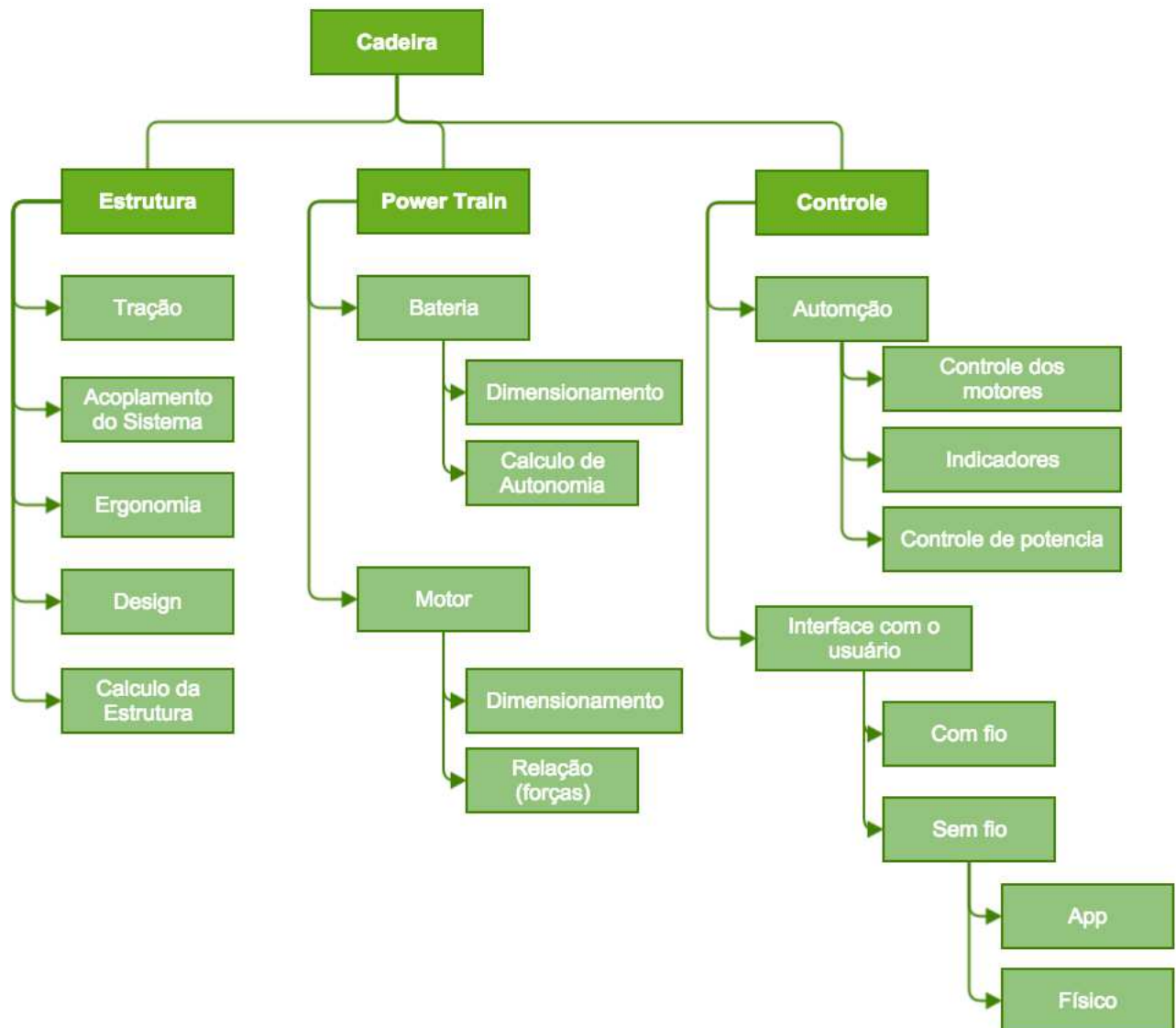


Figura 12: EAP

O projeto foi dividido em Sprints, técnica do Scrum baseada em intervalos fixos de tempo para a entrega de uma parte do produto final (Builds), que por votação interna teve sua duração limitada a uma semana. Foi definido também que a cada início de Sprint será realizada Planning, reunião dedicada ao planejamento de toda a Sprint. Em seu decorrer será realizado dailies, um feedback diário de cada membro, ou cada pairing do que foi realizado naquele dia, se existe alguma dificuldade e o que será feito no próximo dia. No final da Sprint será realizada uma retrospectiva onde são levantados pontos positivos e pontos a serem melhorados.

A presença dos integrantes do grupo nos horários de aula serão obrigatórios e controlados através de lista de presença de controle interno, pois devido as Sprints de duração de uma semana o Planning e retrospectiva serão realizados nas aula de sexta-feira, e quarta feira será realizado um ponto de controle interno que pode servir tanto

para a realização de super-pairings, quanto para tomadas de decisões importantes para o andamento do projeto.

Os prazos e datas nos quais foram baseados as datas de entrega, builds, releases, foram definidos para se adequar ao tempo da disciplina e às datas estipuladas pelo plano de ensino da disciplina.

Para o acompanhamento do projeto serão utilizadas ferramentas que facilitam os métodos citados anteriormente. Para auxiliar na comunicação será utilizada a ferramenta Slack, para o compartilhamento de Artefatos, pesquisas e documentos será utilizada a ferramenta Google Drive, para reuniões à distancia será utilizada a ferramenta Google Hangouts, para o desenvolvimento e versionamento dos softwares provenientes será utilizado o GitHub.

Com isso podemos concluir que nossas fases são divididas em Sprints, e as atividades são definidas no planejamento inicial de cada Sprint, bem como os responsáveis. As entradas são as atividades planejadas e as saídas são os relatórios e o produto incrementado. Os prazos limitadores serão o final de cada Sprint (que podem ser observadas no cronograma montado na figura 26), e o critério de conclusão o aceite interno da equipe juntamente com o feedback dos professores orientadores.

3.5 Integração entre Engenharias

A intenção do grupo, considerando a diversidade de conhecimentos das várias engenharias que estão a contribuir para o trabalho, é compartilhar o máximo de informação com a finalidade de integração entre os componentes, para compartilhar o máximo de informação com a finalidade de integração entre os componentes, alcançando assim um trabalho final mais completo e acabado.

Com isso em mente e munidos de uma metodologia de organização do ciclo de vida do trabalho ágil e dinâmica dividimos os as tarefas das Sprints entre pairings formados por integrantes de diferentes engenharias, sempre que possível. A tabela 2, mostra nosso esquemático de divisão de responsáveis nas tarefas dentro das Sprints, esclarecendo a metodologia implementada:

Embora a intenção principal seja integrar os conhecimentos da melhor forma possível, temos a ciência da necessidade de se focar engenharias específicas em determinadas áreas de atuação. Portanto, definimos de uma forma macro as principais áreas de atuação específica de cada engenharia.

Neste primeiro momento, a maior contribuição das Engenharias de Software e Eletrônica será, em conjunto, no controle da cadeira, desde o controle da direção, que pretendesse aplicar tanto por Joystick quanto por aplicativo para celular, quanto no con-

Tabela 2: Integração das engenharias conforme momento(Sprint) e tarefa

Sprint	Tema	Engenharia
Sprint 0	Bateria/Alimentação	Energia
	Manual do usuário das ferramentas a serem utilizadas pelo grupo	Eletrônica/Software
	Motor	Eletrônica/Energia
	Estrutura	Automotiva
	Comunicação	Eletrônica
	Identidade Visual do Grupo	Energia/Software
	Projetos Similares	Energia/Software
Sprint 1	Estrutura	Automotiva/Energia
	Controle	Eletrônica/Software
	Power Train	Eletrônica/Energia
	Revisão e junção das pesquisas realizadas em um só documento	Eletrônica/Energia/Software

trole dos motores e bateria necessária. A Engenharia de Energia ficará responsável, em primeiro momento, pelo dimensionamento da bateria e montagem do motor, juntamente com a Engenharia Automotiva que trabalhará também na estrutura do produto produzido.

Contudo, todos os membros do projeto, em algum momento, trabalharão em duplas de pesquisa ou implementação em partes fora de sua zona de conforto, visando uma maior integração entre as engenharias e um maior entendimento de todos em cada parte do projeto

4 Resultados

A partir do estudo e pesquisa realizado até o momento determinamos o que utilizar no conjunto do sistema, levantando um perfil que a equipe acredita ser a mais viável em termos de interação, custo-benefício, tempo, conhecimento técnico e outros fatores importantes para o projeto. Será desenvolvido um kit com capacidade de ser acoplado em diversas cadeiras de rodas afim de facilitar a mobilidade elétrica em cadeiras manuais. Os resultados levantados estão disposto no decorrer do capítulo.

4.1 Estrutura

Com a utilização do programa CATIA V5 3D foi estruturado o sistema eletrônico acoplado à cadeira de rodas, [13](#). Visando três preceitos básicos: comodidade, acessibilidade e conforto.



Figura 13: Vista Isométrica Traseira

O objetivo do projeto é desenvolver uma estrutura de fácil conexão e resistente. O produto proposto, ver figura [14](#),[15](#), [16](#) e [17](#), deve-se acoplar a qualquer cadeira de rodas. Foi pensado em um dispositivo no formato de uma mala para que seja de fácil conexão, uso e manuseio.

A forma como a mala será acoplada a cadeira usa como base as hastes da mala e as hastes verticais aonde as manoplas utilizadas para empurrar manualmente a cadeira são fixadas. Tendo em vista que são rígidas e normatizadas pela NBR 9050 as hastes verticais da cadeira tem a distancia e espessura já definidas, o que facilita o desenvolvimento de um produto que possa ser usado em qualquer cadeira de rodas que esteja dentro dos padrões impostos pela norma.

Cada roda possuirá um motor próprio para que seja possível rotaciona-lás em sentidos opostos, por exemplo, quando for necessário fazer manobras em que a rotação deve ocorre em torno do eixo do próprio cadeirante, movimento muito comum para manobrar uma cadeira de rodas. Assim o cadeirante se sentira confortável e não terá grandes difi-

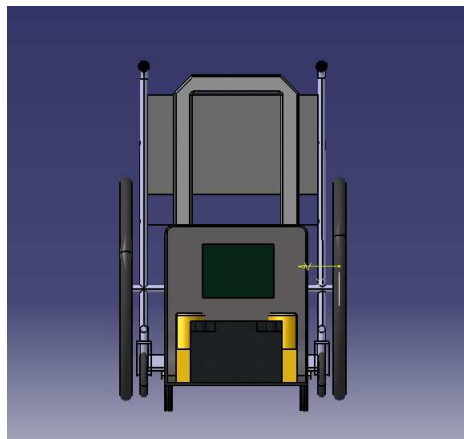


Figura 14: Vista Traseira

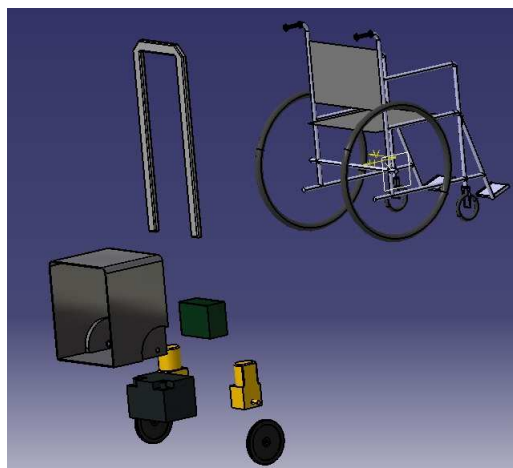


Figura 15: Visão do Sistema

culdades quando for manobrar a cadeira, já que a lógica de controle será a mesma usada quando se propulsiona manualmente a cadeira.

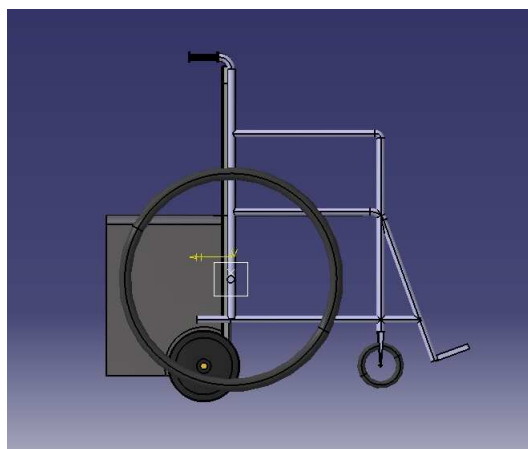


Figura 16: Imagem Lateral

Como pode se notar nas figuras, o sistema de propulsão devera empurrar a cadeira

de rodas, pois assim podemos aproximar o máximo possível o eixo da roda que ira gerar o movimento ao eixo da maior roda da cadeira, o que diminui a quantidade de torque necessário para movimentar o conjunto, fazendo com que o consumo de energia diminua e possibilite o uso de um motor de menor potencia, que diminuirá o custo do produto final.

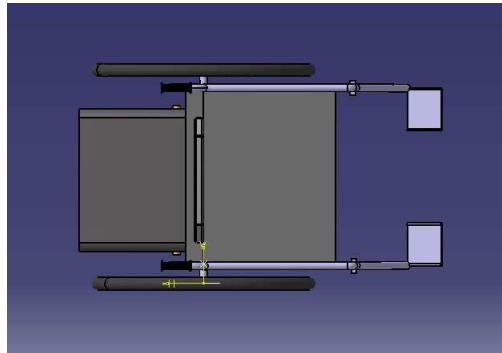


Figura 17: Imagem Superior

4.1.1 Protótipo

A partir do policloreto de vinila, usualmente conhecido como PVC, foi feita uma estrutura de teste para encaixar na parte de trás da cadeira de rodas, com o intuito de buscar a melhor regulação to tamanho da estrutura. O protótipo em questão foi feito para se chegar o mais próximo de um modelo ideal capaz de se acoplar as cadeiras regulamentadas pela NBR 9050.

O protótipo é uma estrutura retangular com uma alça de regulação de largura, seguido de dois “joelhos” em PVC para o acoplamento das rodinhas e da haste, dois encaixes com três saídas para regulação da barra de encaixe superior da cadeira. Há quatro furos na barra de regulação de largura, a qual serve para se adequar ao tipo de cadeira de rodas sendo utilizada, 18.

No protótipo foram usadas oito braçadeiras circulares de curso infinito, as quais se acoplam na cadeira de rodas dando rigidez a estrutura, dessas oito braçadeiras, duas na parte inferior se acoplam na parte de baixo da cadeira, outras duas se acoplam na parte superior. A figura 19 ilustrara o sistema de acoplamento estrutura/cadeira.

Na parte da estrutura mostrada na figura 19 existem dois “joelhos” que ligam as rodinhas com o as barras de PVC, além de uma barra em paralelo com a barra das rodinhas, capaz de variar em altura e largura para se adequar ao tamanho da cadeira utilizada, e duas braçadeiras nas pontas das barras que irão se acoplar a cadeira de rodas.

A figura 20 representa a parte superior da estrutura, ela contem dois “joelhos” capazes de ligar as duas alças com as duas barras de sustentação da estrutura. Há dois “T” com furo que ligam três barras de cada lado, eles tem a função de regular a altura

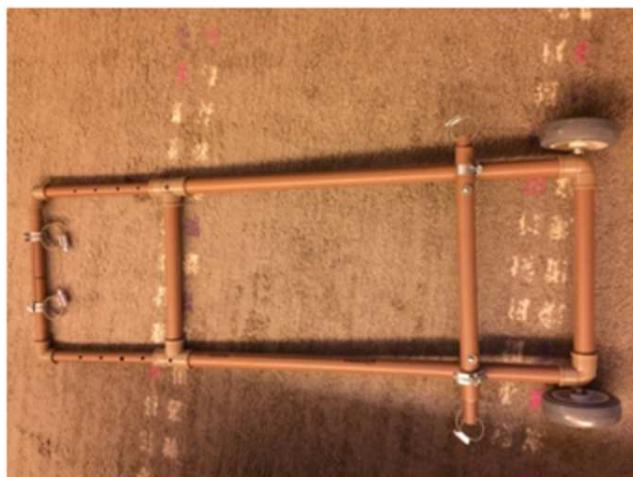


Figura 18: Estrutura de acoplamento



Figura 19: Sistema de acoplamento com braçadeira



Figura 20: Parte superior da estrutura

com o seis furos nas barras de movimentação. Na alça estão duas braçadeiras livres, que se ligam na parte superior da cadeira de rodas, assim como a parte superior já descrita.

Componentes do modelo:

- Oito braçadeiras circulares de curso infinito;
- Quarto “joelhos” de 90°;
- Dois “T”;
- Duas rodas;
- Barras de PVC com diâmetros de 20mm e 25mm;
- Quatro parafusos;
- Oito arruelas;
- Quatro porcas.

O protótipo apresentado na figura 21 foi capaz de mostrar como funcionará o sistema, e todo encaixe necessário para não ocorrer folga e desconforto ao cadeirante. Esta estrutura se assemelha com as medidas do sistema original, mudando apenas o material da execução e do funcionamento. Obteve-se excelentes resultados testando tal protótipo em dois modelos de cadeira de rodas.



Figura 21: Estrutura acoplada a cadeira

4.2 Power-Train

4.2.1 Moto-redutor

Será utilizado no projeto o motor de corrente contínua. A escolha foi feita pois esse tipo de motor é muito utilizado em projetos que necessitam de velocidades variáveis, eles também apresentam uma região de torque e potência constante e são simples de realizar a aceleração e a desaceleração ([HAMANAKA; DIAS, 2002](#)).

Após uma vasta pesquisa no mercado de motores e redutores, optou-se por comprar dois moto-redutores feitos pela empresa MKS Redutores de São Paulo. O motor com redutor escolhido para o projeto foi o MR com motor GPB que possui as seguintes especificações:

- Potência de 305 a 350 W;
- 12 ou 24 Vcc;
- Rotação de entrada de 2500 rpm;
- Reduções de 1:10 até 1:60.

Especificações a serem atendidas:

- Velocidade máxima de 10 km/h;
- 12 Volts corrente contínua;
- Peso da bateria 15 kg;
- Peso da cadeira (valor aproximado) 15kg;
- Peso total estimado: 150 Kg;
- Redução de pelo menos 1:10.

4.2.2 Baterias

A bateria de chumbo-ácido é muito utilizada hoje em dia em diferentes áreas, como automóveis, sistemas de fornecimento de energia elétrica ininterrupta (no-breaks) e cadeiras de rodas elétricas. Desprezando-se o problema do peso e considerando as observações feitas anteriormente no capítulo 2 foi a bateria escolhida para o projeto, considerando ainda o seu fácil acesso e baixo custo.

4.2.2.1 Autonomia

Segundo a literatura, cadeiras de rodas elétricas trabalham com motores de corrente contínua entre 250 W a 300 W de potência. Para este projeto se decidiu utilizar motores de 300W. Há diversas maneiras de chegar neste valor, como por distribuição de forças, por balanço de energia, por forças em um plano inclinado, entre outras. Decidiu-se fazer uma estimativa da potência necessária através do balanço de energia. A energia fornecida pelo motor deve ser igual à energia cinética da cadeira. Sendo a massa máxima que a cadeira de rodas aguenta de 150 kg e considerando que cadeiras de rodas elétricas chegam até 10 km/h, tem-se:

$$Em = \frac{m * V^2 * \epsilon}{2} \quad (4.1)$$

Onde Em é a energia fornecida pelo motor, m é a massa de 150 kg e V é a velocidade em metros por segundo. Aqui estimou-se perdas do motor de pelo menos 20%, sendo assim, é igual a 1,20. Assim, a energia necessária para mover a cadeira é de 694 J, a potência é portanto 694 W.

Ao utilizar dois motores de 300 W, a potência total entregue ao sistema seria de 600 W. Rearranjando a equação para encontrar o valor da velocidade, e atribuindo 80% de eficiência no acoplamento das rodas com o eixo do motor, temos:

$$Em = 0.8 * \sqrt{\frac{600 * 2}{m * \epsilon}} \quad (4.2)$$

Assim, a estimativa da velocidade máxima que a cadeira deve obter será de pelo menos 7.44 km/h, uma velocidade razoável para este tipo de sistema. Sabe-se que a velocidade angular é dada pela divisão da velocidade linear pelo raio:

$$\omega = \frac{V}{r} \quad (4.3)$$

Logo, utilizando a velocidade estimada acima, a velocidade angular obtida é de 20.6 rad/s ou aproximadamente 197 rpm. Considerando as especificações do motor comprado: velocidade angular nominal de 2500 rpm e potência de 305 W, teria de ser feita uma redução de pelo menos 1:10, onde a velocidade angular de saída do redutor seria de 250 rpm. Sendo o torque a divisão da potência pela velocidade angular, o torque gerado é de 29 Nm.

Para atender dois motores de 305 W, será conectada uma bateria de carro de chumbo selado de 12 V e capacidade de 60Ah, tem-se que a energia E gerada pela bateria é de:

4.3.1 Arquitetura

Com base no entendimento de como as informações foram entendidas, e na formulação dos diagramas de ideias, foi formulada uma arquitetura inicial para o software de controle do produto.

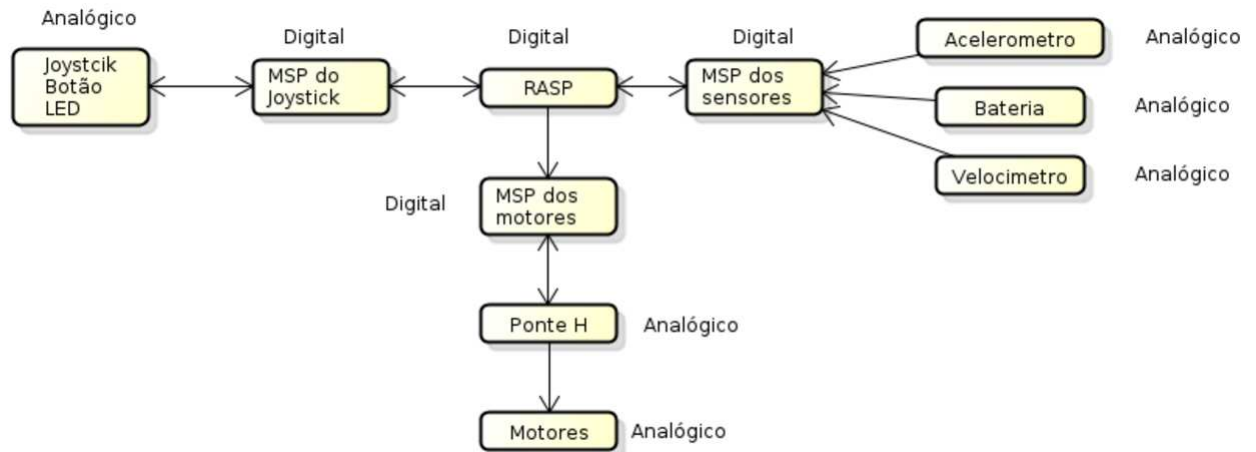


Figura 23: Arquitetura

Esta arquitetura pode ser entendida na figura 23. Esta figura ilustra a ideia de como a arquitetura se comporta. Imaginando o fluxo da informação, conforme o uso do usuário temos:

1. Usuário envia a informação via "Joystick" com os comandos relativos as direções pretendidas. O "Joystick" possui 2 potenciômetros que funcionam enviando a informações que variam de 0 a 255.
2. Esta informação será captada por um MSP, convertendo esse sinal analógico para digital e enviando-o para o Raspberry Pi.
3. O envio desta informação é recebido, via interrupção, do MSP no Raspberry Pi. O envio da informação é feito via UART. (esta interrupção recebe a informação através de uma nova thread)
4. O Raspberry Pi irá tratar esta informação das direções que o usuário pretende seguir, em intensidade e direção que os motores devem agir. E então a informação é passada para o MSP que controla a Ponte-H. O envio da informação é feito via UART.
5. O MSP que controla a Ponte-H recebe a informação e a traduz em 2 pulsos de onda quadrada, que tem como intuito enviar cada um destes pulsos para uma Ponte-H diferente.
6. A Ponte-H controla os motores.

A parte relacionada ao sensoriamento ainda não foi completamente estabelecida, mas pretende-se adicionar sensores ou algum outro mecanismo capaz de aferir o nível de bateria, velocidade e nível de inclinação da cadeira.

Durante o desenvolvimento de software do produto, foi utilizado o TDD (Test Driven Development), que consiste em desenvolver o software mediante testes unitários. Fazer o TDD implica em manter qualidade ao longo do desenvolvimento. Baseados nisso, a ferramenta de cobertura de código, "coverage", nos auxilia em saber o que está sendo testado e o que não está esta sendo testado, mostrando a porcentagem de cada classe testada.

4.3.2 Funcionamento e Estratégia de Uso

Em relação aos microcontroladores utilizados para transmitir as informações do "joystick" até o motor, serão utilizados 2 MSPs e 1 Raspberry Pi.

1. O MSP do "Joystick" tem a função de receber o sinal analógico do "Joystick", transformá-lo em digital e enviá-lo para o Raspberry Pi. A rotina de conversão e transmissão dos dados referentes ao "Joystick" é controlada via TimerA, o principal temporizador do MSP utilizado, este temporizador gera uma interrupção a uma taxa de amostragem definida. A cada interrupção, o MSP lê as entradas analógicas referentes ao "Joystick" e as converte em valores digitais de um byte utilizando do SAR ADC (Successive Approximation ADC) interno ao MSP, em seguida estas informações são enviadas para o Raspberry Pi via serial, utilizando o protocolo UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), antecedidas de um cabeçalho definido, este cabeçalho é essencial para uma correta leitura dos dados pelo Raspberry Pi.
2. O Raspberry Pi tem a função de receber estes dados via UART. Este recebimento é controlado via interrupção, com a intenção de não onerar a "thread" principal do programa. Ao se receber esta informação, então é feita a tradução dos valores para intensidade e direção de cada motor. Após esta tradução os dados são enviados, via UART, para o MSP dos motores.
3. O MSP dos motores tem a função de receber os dados traduzidos do Raspberry Pi para os motores, utilizando como intermediário uma Ponte-H para cada motor. O MSP ao receber as informações via UART, então uma onda quadrada é gerada para cada motor.

A estratégia de conversão dos potenciômetros em intensidade para os motores é feita da seguinte forma:

1. Mapeamento dos valores dos potenciômetros em estados conforme figura [24](#).

Valor Potenciômetro 1 (motor1)	Valor Potenciômetro 2 (motor2)	Estado
255 255	255 0	Para frente Virar para direita (próprio eixo)
255	127	Virar para direita (eixo motor 2) frontal
127 127	127 255	Parado virar para esquerda (eixo motor 1) frontal
127	0	virar para esquerda (eixo motor 1) traseiro
0	0	Para trás
0	255	Virar para esquerda (próprio eixo)
0	127	virar para direita (eixo motor 2) traseiro

Figura 24: Potenciômetros do Joystick

2. Conforme o estado mapeado, a intensidade e direção do motor podem ser definidas conforme figura 25.

Estado	Motor 1(Intensidade(%), Direção)	Motor 2(Intensidade (%), Direção)
Para frente	(100, +)	(100, +)
Virar para direita (próprio eixo)	(100, +)	(100, -)
Virar para direita (eixo motor 2) frontal	(100, +)	(0 , *)
Parado	(0, *)	(0, *)
virar para esquerda (eixo motor 1) frontal	(0, *)	(100, +)
virar para esquerda (eixo motor 1) traseiro	(0, *)	(100, -)
Para trás	(100, -)	(100, -)
Virar para esquerda (próprio eixo)	(100, -)	(100, +)
virar para direita (eixo motor 2) traseiro	(100, -)	(0, *)

Figura 25: Mais dados dos potenciômetros do Joystick

O Distribuidor vai ser basicamente uma placa que facilitará a conexão de todos os outros módulos ao sistema, assim não será necessário que haja reduções de tensão tão drásticas. A placa terá um circuito de proteção, para evitar problemas de sobretensão e curto, saídas para a ponte H, tanto para alimentar possíveis circuitos e motor e ainda saídas para o regulador.

O Regulador terá a funcionalidade de alimentar o controlador com seus periféricos.

Essa placa terá um circuito de proteção, para o controlador, contra possíveis problemas do distribuidor, saídas de alimentação para o controlador, para impedir problemas de falta de bateria.

A ponte H será o circuito responsável por fazer o controle de velocidade e direção dos motores. Essa placa terá além dos circuitos necessários para o funcionamento da ponte H, um circuito de proteção para os motores e pinos de entrada do PWM, já que pode haver possíveis problemas de sobretensão a alimentação do motor.

4.4 Interface com o usuário

4.4.1 Joystick

Para as cadeiras de rodas automatizadas essa é uma solução comum de controle para as mesmas, tendo em vista que é relativamente simples de ser acoplado uma vez que se entenda seu funcionamento básico. Para o projeto em questão essa foi uma das alternativas encontradas. No qual o joystick seria acoplado ao braço da cadeira, ou em uma posição que o usuário se sinta mais ergonomicamente confortável. Este acoplamento deve ser simples para favorecer a característica de portabilidade do projeto como um todo.

Caso necessário a conexão do joystick ao sistema de controle pode ser feita por bluetooth, tal característica contribui para o objetivo final do projeto (DICIANNO; COOPER et al., 2010).

5 Problemas Encontrados

Esta seção tem como foco a explicação dos problemas encarados e das soluções adaptadas, durante o desenvolvimento do projeto. Tanto como grupo quanto em subdivisões específicas feitas.

5.0.1 Geral

-Dificuldade na definição das atividades da Sprint: No início do projeto foi definido que nossa organização seria baseada na metodologia ágil, sendo assim teríamos tarefas semanais.

- Problema: De uma forma geral, o grupo superestimou as atividades nas sprints, tornando muito difícil a conclusão das atividades propostas para a sprint.
- Solução: Como solução granularizamos as atividades reduzindo-as para que fosse possível realizá-las no tempo de uma sprint e durante a mudança, que durou cerca de 3 sprints, calibramos os erros e acertos na retrospectiva feita ao final de cada sprint .

-Redistribuição do pessoal da área de Power Train para a área de Controle e Estrutura, porque as atividades propostas para a área de Power Train foram concluídas. Baseado nisso foi feita a escolha de realocar os componentes desta área para a área de Controle.

- Problema: Realocar os componentes de forma a não ficarem ocioso em alguma atividade.
- Solução:Relocar os componentes conforme maior expertise dos mesmos na área de Controle e Estrutura.

-Gastos com materiais

- Problema: Na fase inicial do trabalho muitas pesquisas foram feitas e os materiais necessários levantados, porém não era de conhecimento o quanto gastaríamos com o projeto.
- Solução: Desde o início já começamos a arrecadar dinheiro dos integrantes e com o amadurecimento do projeto conseguimos mensurar de forma mais real qual seria o custo do projeto sendo possível assim um planejamento financeiro melhor.

5.0.2 Controle

-LINGUAGEM NOVA: Mesmo com a experiência do grupo dos alunos de software, houve problemas em relação ao Python, como: entendimento da exportação relativa de classes em outras pastas, mudança da versão 2.7 para a versão 3.4 e problemas de identificação relacionado a IDE de desenvolvimento. 1 Ambiente de desenvolvimento:

-Testes unitários do código-fonte.

- Problema: Utilização do framework de teste de forma correta.
- Solução: Olhar a documentação do framework e aprender como utilizar.

-Mock

- Problema: Entendimento de como utilizar o "Mock" para fingir que o Hardware existe.
- Solução: Conversa entre grupos da disciplina de Projeto Integrador 2 e leitura e compreensão da documentação.

-Cobertura de código em Python

- Problema: Como fazer cobertura de código para Python.
- Solução: Depois de realizar pesquisas o Coverage foi escolhido e instalado inicialmente no repositório local para teste e depois que confirmada a eficiência foi instalado na Raspberry Pi.

2 Ambiente físico: O ambiente físico utilizado para desenvolvimento do software deste projeto é um Raspberry Pi, vide seção 2.2.2.1, referente as configurações do mesmo.

-SSH

- Problema: O acesso via SSH é feito através de um cabo de rede, no qual somente uma máquina por vez pode acessar. Isso ocasiona um problema de ociosidade na equipe: enquanto um componente o utiliza, os outros 2 ficam ociosos.
- Solução: Utilizar o Raspberry conectado a um roteador Wi-Fi, que permite a todos os integrantes utilizarem do ambiente mutualmente via rede sem fio.

-Mudança de Sistema Operacional: Pode ser instalado no Raspberry um sistema operacional que possibilite a facilidade de uso, mediante as necessidades de quem o instala.

- Problema: Problema relacionado: Pretende-se utilizar um ambiente para teste que possibilite o desenvolvimento de forma completa mediante o possível para o projeto. Para isto é necessário o uso de testes unitários e do "Mock", descobriu-se que o primeiro Sistema Operacional instalado (Raspbian Wheezy) não atende para a utilização do "Mock".
- Solução: Um outro Sistema Operacional foi instalado (Raspbian Jessie), por possuir nativamente um ambiente de testes robusto que possibilite o uso de testes unitários e "Mock".

-Quantidade de MSPs a serem utilizados: A utilização de vários MSPs é uma ótima alternativa para separar componentes independentes e utilizar ferramentas como conversor AD, gerador de PWM e temporizador de forma simples, barata e rápida.

- Problema: Unificar todo o controle no Raspberry Pi diminui a confiabilidade do sistema, além disso, ele não tem conversores analógico/digital, necessários para o sistema de controle.
- Solução: MSPs dedicados a cada componente foram utilizados, por sua facilidade em implementar conversores AD de vários canais, PWMs e por ser de fácil comunicação com o Raspberry Pi via serial UART.

- Arquitetura

- Problema: Esta arquitetura possui 2 formas de serem montadas: Paralela ou Sequencial. A Paralela nos permite ter várias "threads" acontecendo simultaneamente para diferentes situações. A Sequencial acontece de forma sucessiva em somente uma "thread". Houve a dúvida técnica de qual destas implementar em tempo de apresentação do produto. Existiu o temor de não se obter uma Arquitetura, caso fosse usado a solução Paralela.
- Solução 1: Foi sugerido que uma montagem da solução sequencial fosse montada para se fazer uma avaliação, em relação ao tempo de resposta que seria entre o usuário fazer o movimento com o Joystick e o motor responder ao movimento.
- Solução 2: Foi sugerido que a contabilização do tempo de execução (delay dos componentes eletrônicos + complexidade do software) fosse feita, para analisar e ter certeza de que a solução Sequencial diferenciaria muito da solução Paralela.

-Simulações da Ponte H

- Problema: Se colocado alto nível nas duas entradas o motor poderia “explodir”.

- Solução: Colocar uma porta lógica no início para corrigir essa falha, assim quando a ponte H receber nível lógico nas duas entradas o motor não responderá

-Joystick

- Problema: Inicialmente utilizamos um joystick de um controle de videogame (PlayStation 2). Este não se adequou às nossas necessidades.
- Solução: Adquirimos um joystick que tivesse conectores, facilitando assim a prototipagem e implementação. Ainda estamos aguardando sua chegada para verificar se esse joystick se adequaria.

5.0.3 Power Train

-Escolha de um motor que atendesse os requisitos velocidade-torque.

- Problema: A escolha do melhor método de cálculo de potência necessária para mover o sistema completo (cadeira de rodas mais usuário) foi um problema devida a alta variedade de possibilidades, tornando-se muito indecisa a precisão dos cálculos.
- Solução: Após uma vasta pesquisa na literatura e com alguns professores da FGA, com o auxílio do software Matlab, foram feitas diversas simulações envolvendo as variáveis de projeto para a decisão do melhor conjunto.
- Problema: Motores de corrente contínua fornecem um baixo torque, através dos cálculos, observou-se que era preciso um torque alto.
- Solução: Foi necessário o uso de um redutor para atender as especificações matemáticas do projeto. A partir disso foi feita uma busca de mercado e optamos por encomendar um kit motor-redutor pronto

-Eixo do conjunto moto-redutor

- Problema: Os primeiros conjuntos moto-redutor que foram analisados foram o de motor de para-brisas de carro, esses conjuntos não forneciam a velocidade especificada pelo projeto, porém foram úteis para testes de controle. E seria fácil acoplar a roda do sistema a esse conjunto devido ao seu design. Entre tudo, quando os motores reais do projeto chegaram, o eixo era muito curto e devido ao design seria impossível conectar diretamente as rodas
- Solução: Será necessário fazer um novo eixo com o uso do torno mecânico para ligar a roda ao conjunto moto-redutor.

5.0.4 Estrutura

-Acoplamento

- Problema: O ponto mais importante a se considerar para que o projeto funcione de modo eficaz e robusta é a forma como o sistema se acopla a cadeira, pois o deslocamento sera feito através da rotação das rodas acopladas a mala, ou seja, caso a conexão não fique firme o deslocamento sera comprometido.
- Solução 1: Primeiramente se pensou em criar um sistema de garras que seriam presas a estrutura tubular da cadeira, o que seria eficaz e simples de ser feito, porem após conseguir cadeiras reais para análise foi constatado que não haveria como acoplar as garras a algumas cadeiras devido a forma como os fabricantes fixam o tecido que mantem o encosto para as costas no lugar. Então foi pensado em utilizar velcros que seriam baratos, fáceis de utilizar e se bem posicionados permitiriam uma boa fixação, m...(line truncated)...
- Solução 2: Em seguida foi pensado em uma forma de acoplamento que não fosse afetada por diferentes tipos de modos de montagem ou disposição de partes da cadeira. Tendo em mãos duas cadeiras de rodas reais e distintas notou se a presença de dois pontos livres para realizar o acoplamento. Com a solução em mente foi decidido criar um protótipo em PVC, devido ao baixo custo, para que fosse possível analisar de fato se o sistema de acoplamento idealizado seria eficaz. Apos construída a estrutura foi const...(line truncated)...

-Falta de cadeira

- Problema: Não se tinha cadeiras de rodas disponíveis para teste da estrutura.
- Solução: Entramos em contato com os professores responsáveis pela cadeira de rodas presente no laboratório e conseguimos autorização para utilizá-la. Outras cadeiras foram conseguidas por meio de doações de terceiros.

6 Perspectiva

6.1 Incremento atual

6.1.1 Estrutura

1. Modelagem da cadeira motorizada adaptada: Foi feito a modelagem da cadeira de rodas levando em conta a solução de portabilidade e acessibilidade da mesma, pontuando pontos como o design de inovação do anexo autômato a cadeira;
2. Escolha do material a ser usado em anexo: Um estudo dos possíveis materiais será realizado, alavancando os motivos e vantagens do uso dos mesmos para suporte das cargas;
3. Ergonomia do produto: Estudo e modelagem do melhor design da cadeira de rodas manual com o anexo que a motoriza;
4. Desenvolvimento de um modelo de PVC para testes do sistema de acoplamento;
5. Desenvolvimento do eixo que ira transmitir potência entre a roda ao conjunto de moto-redução.

6.1.2 Power Train

1. Escolha do motor elétrico quanto ao custo do mesmo no projeto, embasado em estudo feito em relação a peso, velocidade máxima, velocidade nominal;
2. Especificação do motor elétrico de Corrente Contínua quanto a potência mínima;
3. Estudo e especificação sobre baterias a serem utilizadas, quanto tensão, capacidade e dimensão. Foi escolhido usar as baterias de Chumbo-Ácida selada, levando em conta vantagens e limitações. Os cálculos de autonomia foram feitos para melhor estimar o método de carregamento da bateria;
4. Estudo com o auxílio do software Matlab da interferência da roda e do peso do sistema no desempenho do conjunto de moto-redução;
5. Foram adquirido dois conjuntos de moto-redução pela empresa MKS Redutores de São Paulo. O motor com redutor escolhido para o projeto foi o MR com motor GPB que possui as seguintes especificações com potência de 305 a 350 W e redução de 1:10.

6.1.3 Controle

1. Especificação de tecnologia: Estudo e escolha da melhor tecnologia voltada para o problema, que no caso será feito com um Raspberry Pi para comunicação entre a interface do usuário e o motor;
2. Controle de potência: Estudo de qual tipo de controlador de potência a ser usado no motor, para controle de sua corrente. A escolha da utilização da ponte H será combinado com o algoritmo de PWM, que utiliza o Raspberry Pi como forma de resposta aos comandos dos usuários como a direção, aceleração, frenagem da cadeira motorizada adaptada;
3. Escolha da linguagem de programação: Definição de qual linguagem será utilizada com base na problemática existente e nos recursos a serem utilizados. A linguagem escolhida foi o Python, pois existem bibliotecas específicas que controlam GPIO do Raspberry Pi.

6.1.4 Interface com Usuário

1. Estudo de tecnologias para interfaces: Estudo de quais tecnologias são usadas como interface de usuário para controle da cadeira motorizada adaptada. Neste estudo são observados dispositivos de controle como Joystick e aplicativos que podem utilizar tecnologia Bluetooth ou VPN para comunicar com o Raspberry Pi.
2. Escolha da linguagem de programação do aplicativo: Definição de qual linguagem será utilizada com base na problemática existente e nos recursos a serem utilizados. A linguagem escolhida para o desenvolvimento do aplicativo será definida conforme o resultado de estudo de utilização de Bluetooth e VPN. Caso a escolha seja para dispositivos Android, então pode ser escolhida a linguagem nativa Java, caso a escolha seja para dispositivos iOS, então pode ser escolhida a linguagem nativa Objective-C ou Swift.

6.2 Próximos passos

6.2.1 Estrutura

1. Testes com o eixo acoplado ao motor;
2. Escolha de material mediante norma ABNT 6061 - T6;
3. Desenvolvimento do protótipo.

6.2.2 Power Train

1. Testes em conjunto com a parte de estrutura e controle.

6.2.3 Interface com Usuário

1. Montagem do Joystick ergonômico.

6.2.4 Controle

1. Implementação de filtro para suavizar movimentos do Joystick para motores;
2. Implementação dos testes para os códigos do MSP;
3. Implementação dos sensores de nível de bateria e velocidade em MSP;

6.3 Cronograma

Para prosseguir com os próximos passos um cronograma com as estimativas de cada Sprint foi levantado.






















		Nome	Duração	Início	Fim
1		Sprint 0	4d?	28/08/2015	02/09/2015
2		Sprint 1	6d?	04/09/2015	11/09/2015
3		Entrega do Primeiro Relatório	1d?	11/09/2015	11/09/2015
4		Sprint 2 (Pro)	6d?	11/09/2015	18/09/2015
5		Primeiro Ponto de controle	1d?	18/09/2015	18/09/2015
6		Sprint 3 (Produção)	6d?	18/09/2015	25/09/2015
7		Sprint 4 (Produção)	6d?	25/09/2015	02/10/2015
8		Sprint 5 (Produção)	6d?	02/10/2015	09/10/2015
9		Sprint 6 (Produção)	6d?	09/10/2015	16/10/2015
10		Sprint 7 (Produção)	6d?	16/10/2015	23/10/2015
11		Entrega do Segundo Relatório	1d?	23/10/2015	23/10/2015
12		Sprint 8 (Preparação para apresentação)	6d?	23/10/2015	30/10/2015
13		Segundo Ponto de Controle	1d?	30/10/2015	30/10/2015
14		Sprint 9 (Produção)	6d?	30/10/2015	06/11/2015
15		Sprint 10 (Produção)	6d?	06/11/2015	13/11/2015
16		Sprint 11 (Produção)	6d?	13/11/2015	20/11/2015
17		Sprint 12 (Produção)	6d?	20/11/2015	27/11/2015
18		Entrega do Relatório Final	1d?	27/11/2015	27/11/2015
19		Sprint 13 (Preparação para apresentação final)	6d?	27/11/2015	04/12/2015
20		Ponto de Controle Final	1d?	04/12/2015	04/12/2015

Figura 26: Cronograma

Referências

ABNT, A. B. D. N. T. *NBR 9050: Acessibilidade e edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos*. [S.l.], 2004. 47 p. Citado na página 31.

DICIANNO, B. E.; COOPER, R. A.; OTHERS. Joystick control for powered mobility: Current state of technology and future directions. *National Library of Medicine*, 2010. Citado na página 46.

Herbert A Everest e Harry C Jennings. *Folding wheel chair*. 1937. 2095411. Citado na página 11.

FILHO, W. de B. V. et al. Desenvolvimento de kit para automação de cadeira de rodas convencional. *VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA*, 2010. Citado na página 11.

HAMANAKA, M. H. M. O. Projeto e desenvolvimento de circuito de controle para cadeira de rodas. *Dissertação de Mestrado, UNICAMP*, 2002. Citado na página 11.

HAMANAKA, M. H. M. O.; DIAS, J. A. S. *Projeto e Desenvolvimento de circuito de controle para cadeira de rodas*. [S.l.], 2002. Disponível em: <<https://www.robocore.net/upload/ManualTecnicoBateriaUnipower.pdf>>. Citado na página 40.

[HTTP://WWW.INMETRO.GOV.BR/](http://WWW.INMETRO.GOV.BR/) disponível em: *INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia*. 2015. Citado na página 11.

LOCKTON, D. Wheelchair drive. 2004. Disponível em: <http://www.danlockton.co.uk/transport/mobility/Brunel_Wheelchair_Drive_public.pdf>. Citado na página 11.

(SDH/PR), S. N. d. P. d. D. d. P. c. D. S. e. C. G. d. S. d. I. s. a. P. c. D. Secretaria de Direitos Humanos da Presidência da R. *Cartilha do Censo 2010 - Pessoas com Deficiência*. 2012. Disponível em: <<http://www.pessoacomdeficiencia.gov.br/app/sites/default/files/publicacoes/cartilha-censo-2010-pessoas-com-deficiencia-reduzido.pdf>>. Citado na página 11.