



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

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

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	Estado da Técnica	13
2.1.1	Estrutura	13
2.1.2	Power Train	14
2.1.2.1	Motor	14
2.1.2.2	Bateria	15
2.1.2.2.1	Carregando Baterias	16
2.1.3	Controle	16
2.1.3.1	Dispositivos de controle	16
2.1.3.1.1	Joystick	17
2.1.3.1.2	Smartphones	18
2.1.3.2	Tecnologias	18
2.1.3.2.1	Raspberry PI	18
2.1.3.2.2	Python	19
2.1.3.2.3	Bluetooth	19
2.1.3.3	Controle do motor	19
3	METODOLOGIA	21
3.1	Metodologia de organização e monitoramento	21
3.2	Integração entre Engenharias	22
4	RESULTADOS	25
4.1	Estrutura	25
4.2	Power Train	26
4.2.1	Motor	26
4.2.2	Baterias	27
4.2.2.1	Chumbo-Ácido	27
4.2.2.2	Carregando Baterias Chumbo-Ácido	28
4.2.2.3	Autonomia	29
4.3	Interface com o usuário	29
4.3.1	Dispositivo de controle	30
4.3.1.1	Joystick	31
4.3.1.2	Smartphone	31
4.3.1.3	Protótipo	32

4.3.1.4	Bluetooth	33
4.3.2	Controladores de potência	33
4.3.3	Tecnologias	36
4.3.3.1	Raspeberry Pi	36
4.3.3.2	Linguagem de programação	37
5	PERSPECTIVA	39
5.1	Incremento atual	39
5.1.1	Estrutura	39
5.1.2	Power Train	39
5.1.3	Controle	39
5.1.4	Interface com Usuário	40
5.2	Próximos passos	40
5.2.1	Estrutura	40
5.2.2	Power Train	40
5.2.3	Interface com Usuário	41
5.2.4	Controle	41
5.3	Cronograma	41
	Referências	43

1 Introdução

O primeiro registro de cadeiras de rodas primordiais, foi uma inscrição encontrada em uma pedra ardósia na China e uma cama de criança descrita em um friso em um vaso grego, tanto que remonta ao século 5 AC ??, ??. Observa-se que desde tempos ancestrais existe a preocupação com a melhoria da qualidade de vida, tal como inserir pessoas na sociedade e no cotidiano.

Segundo uma pesquisa realizada em 2010 pelo IBGE, existem cerca de 4,4 milhões de indivíduos incapazes ou com grandes dificuldades de locomoção em todo o Brasil ??, cadeirantes, em sua maioria. A utilização de cadeiras de rodas realmente torna o deficiente físico muito mais independente, porém, a distância entre a independência e a verdadeira mobilidade é muito grande, o uso da cadeira de rodas manual pode ser adequada para jovens em forma, mas não para cadeirantes com sobrepeso, com os braços enfraquecidos ou idosos. Mesmo em locais controlados, o uso da cadeira de rodas manual requer a algumas pessoas um assistente, a cadeira de rodas elétrica dá ao cadeirante o conforto e a mobilidade necessárias em qualquer ambiente minimamente acessível, no entanto, cadeiras de rodas elétricas tem um alto custo e muitas vezes são pouco portáteis.

Visto essa dificuldade, locais como shoppings e supermercados oferecem gratuitamente cadeiras de rodas elétricas para uso interno, tal iniciativa traz melhorias na qualidade de vida desse indivíduo, porém, na maioria dos casos, essas cadeiras de rodas genéricas não se adequam ao corpo do cadeirante, ou seja, são necessárias outras alternativas para combater essa dificuldade. Projetos de automação de cadeiras de rodas manuais ??, ??, ??, ?? dão ao cadeirante a facilidade de mobilidade sem a ajuda de outras pessoas e ao mesmo tempo utilizam-se do fato de que a cadeira de rodas manual do cadeirante já está totalmente adaptada a ele.

A proposta desse trabalho é desenvolver um kit universal de automação de cadeira de rodas, o que tornará possível descartar o uso do trabalho humano para locomovê-la. 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 ??. Cabe ressaltar que o produto deste trabalho consiste no conjunto que oferecerá autonomia suficiente para o descarte de trabalho físico do homem para locomover a cadeira de locais controlados. Em princípio, a ideia consiste em uma aplicação desse novo sistema de cadeira de rodas automatizada a fim de atender cadeirantes de shopping centers. Portanto, para o cadeirante conduzir a cadeira de rodas de maneira eficiente e segura, o dispositivo dispõe de um controle via joystick, com opção para controle via celular (Bluetooth ??). Para dar uma imagem ao produto, pensa-se em

um dispositivo semelhante a uma mala de viagem que será acoplado à cadeira de rodas. Dentro dessa mala conterão os motores, baterias, dispositivos de controle e um comando do tipo joystick que será preso à cadeira de rodas, próximo ao cadeirante.

O primeiro objetivo desse trabalho é o levantamento teórico das tecnologias já existentes no ramo de cadeiras de rodas motorizadas, a fim de adequar o projeto as melhores opções. 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.

Tem-se como objetivo final o desenvolvimento de um kit universal de automação de cadeiras de rodas manuais portátil e removível, este consiste em um sistema que quando acoplado a cadeiras de rodas manuais convencionais, transforme-as em cadeiras de rodas motorizadas. Tendo como público alvo os shopping centers, por tal razão o produto deve funcionar em um ambiente controlado (plano sem imperfeições no solo). 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.

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 Estado da Técnica

2.1.1 Estrutura

As cadeiras de rodas comuns são especificadas e regulamentadas pela ([ABNT, 2004](#)). Porém, cada usuário está acomodado e acostumado com sua própria cadeira. Ao pesquisar sobre sistemas já existentes de automação de cadeiras de rodas, propôs-se uma estrutura inovadora de tração traseira sem que haja necessidade de modificação da cadeira e que seja de acoplamento rápido a cadeira comum.

Com a utilização do programa CATIA V5 3D foi estruturado o sistema eletrônico acoplado à cadeira de rodas, visando três preceitos básicos: comodidade, acessibilidade e conforto.

O objetivo do projeto é desenvolver uma estrutura de fácil conexão e resistente. O produto proposto deve-se acoplar a qualquer cadeira de rodas. Foi pensado em um dispositivo no formato de uma mala de viagem reforçada, que se acoplaria às hastes traseiras da cadeira. Esta mala possuiria duas rodas externas que estão conectadas a dois motores alimentados por uma bateria. Vide figuras na seção de resultados [6](#).

2.1.2 Power Train

2.1.2.1 Motor

Motor é uma máquina que tem a capacidade de transformar energia elétrica em energia mecânica (MEGGIOLARO; GIRASAS, 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

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 fontes rectificadas, ou seja, que possuem polaridade fixa. Esse tipo de motor, possui dois terminais, um positivo e outro negativo que de acordo com o polaridade e o sentido da corrente controlam a repulsão dos eletroímãs e consequentemente o sentido da rotação do motor.

Uma das maiores vantagens dos motores de corrente contínua é o controle da velocidade que é feito com o dreno 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.

2.1.2.2 Bateria

Baterias são dispositivos que transformam energia química em elétrica e vice-versa. 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 ácido, 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 adequa 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:

- 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.

2.1.2.2.1 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.

2.1.3 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 pesquisas várias formas de controle de cadeiras de rodas que podem ser consultados na tabela [3](#).

2.1.3.1 Dispositivos de controle

Um mapeamento sobre como a cadeira de rodas automatizada será feita pode ser observado na figura [9](#).

Interface	Comunicação	Monitoramento	Características
Joystick tradicional	Sem ou com fio, dependendo da aplicação.	Pouco, geralmente apenas o nível da bateria.	Contém mecanismo para encaixe na cadeira de rodas e ainda botões de emergência, os dados são enviados via bluetooth ou fio para o microcontrolador, onde é feito todo o processamento.
Joystick adaptado para o queixo	Com fio.	Nenhum.	Joystick fixo é adaptado para o controle com o queixo, utilizado por tetraplégicos.
Aplicativo em smartphone	Sem fio (VPN ou Bluetooth)	Total: nível da bateria, velocidade, inclinação e etc.	Um aplicativo de controle é instalado no celular, onde são mostradas as condições da cadeira e o usuário gera os comandos, todo o processamento é feito no microcontrolador, a aquisição e envio dos dados de monitoramento e as ações geradas pelo usuário.
Guidão e motor dianteiro	Mecânica.	Pouco ou nenhum.	Apenas para motores dianteiros.

Tabela 1 – Lista de dispositivos de controle de cadeiras de rodas elétricas.

Nesse esquemático pode ser observado que a interface com o usuário recebe um input do usuário, utilizando Joystick ou Aplicativo. O sinal emitido por esta interface será processado em um *Raspberry Pi*, que em seguida irá movimentar o motor.

2.1.3.1.1 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.

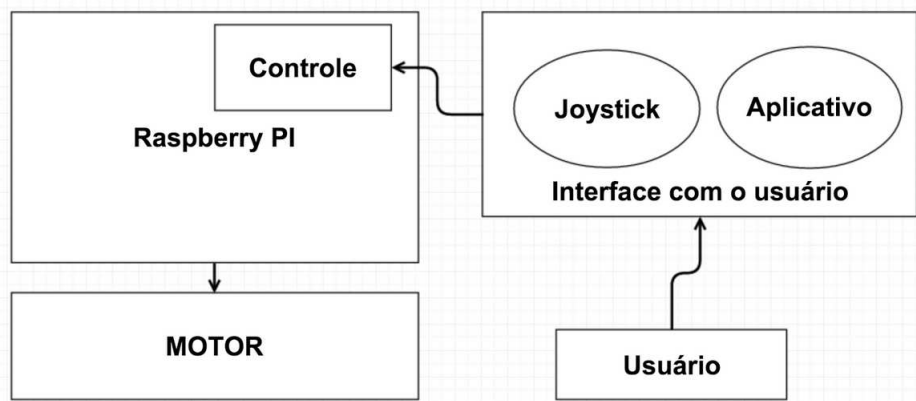


Figura 1 – Desenho do diagrama de blocos do sistema de controle

2.1.3.1.2 Smartphones

São dispositivos repletos de funções, tem uma grande portabilidade e sua facilidade de integração com outros sistemas é grande, dessa forma tornando-se uma possível solução para a interação do usuário com o sistema da cadeira de rodas.

2.1.3.2 Tecnologias

2.1.3.2.1 Raspberry PI

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 16, 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).

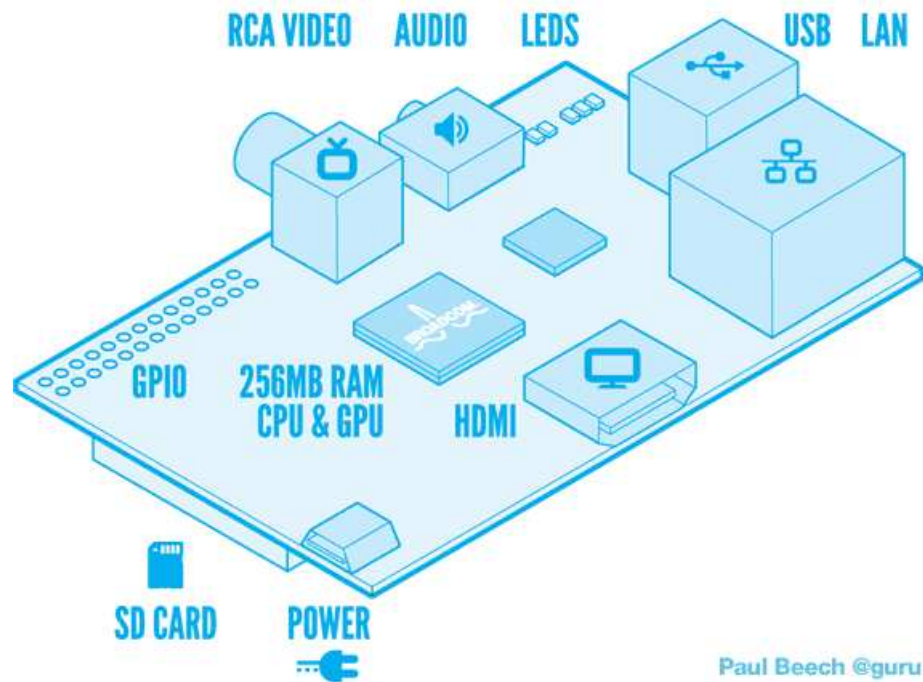


Figura 2 – Esquemático componentes Raspeberry Pi

2.1.3.2.2 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.

2.1.3.2.3 Bluetooth

Bluetooth é um padrão de tecnologia de transmissão de dados sem fio para curtas distâncias, utilizando ondas de rádio UHF (de 2.4 à 2.485GHz [FONTE]). É utilizada pelos mais diversos dispositivos, como celulares, notebooks, desktops, sistemas embarcados, carros e etc, com esta tecnologia é possível conectar uma serie de dispositivos sem apresentar problemas de sincronização.

2.1.3.3 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.

3 Metodologia

3.1 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 3.

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 realizado 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.

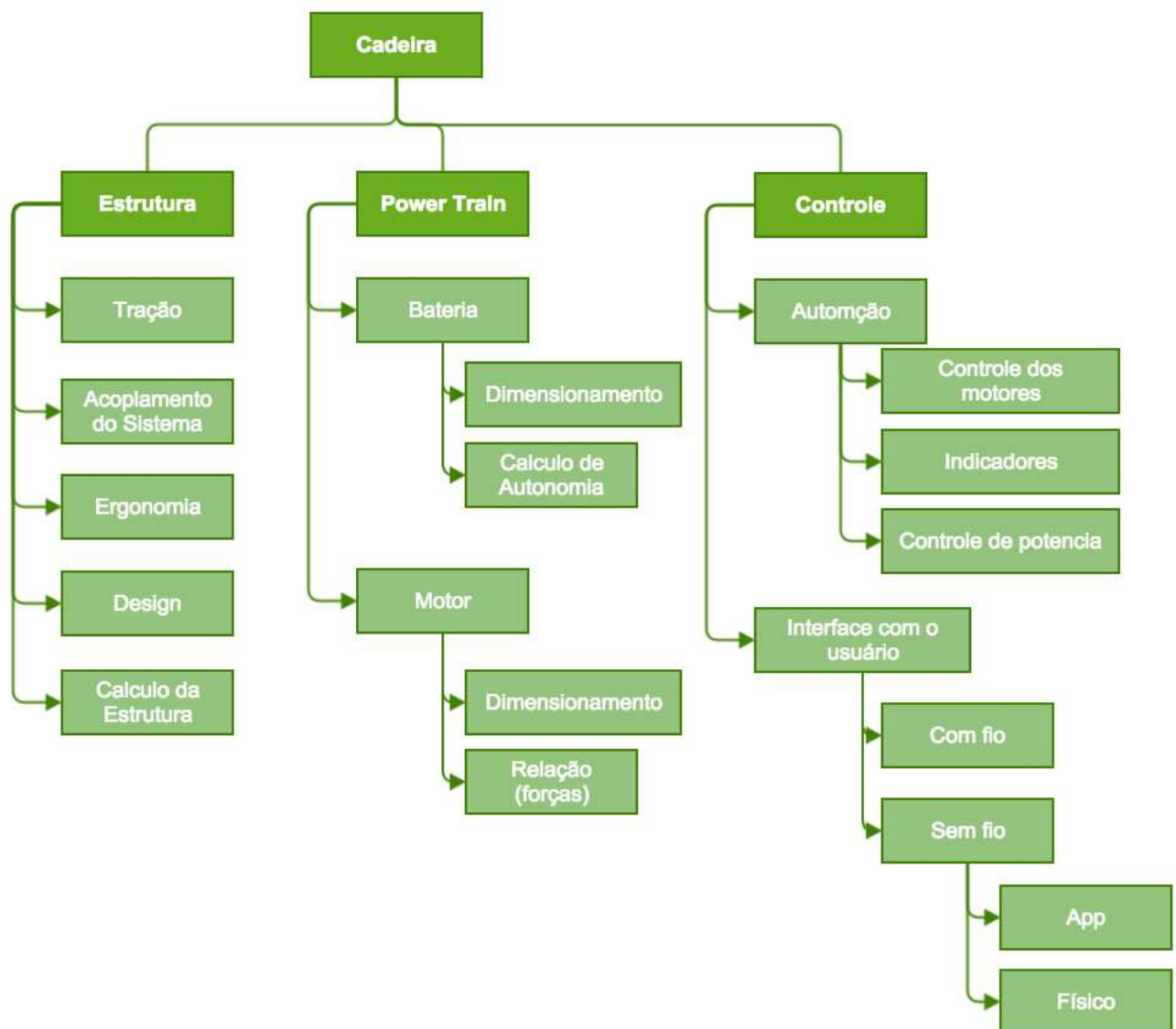


Figura 3 – EAP

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 17), e o critério de conclusão o aceite interno da equipe juntamente com o feedback dos professores orientadores.

3.2 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

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

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 nossa 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.

A maior contribuição das Engenharias de Software e Eletrônica será, em conjunto, no controle da cadeira, desde o controle da direção, que pretendemos aplicar tanto por Joystick quanto por aplicativo para celular, quanto no controle dos motores e bateria necessária. A Engenharia de Energia ficará responsável, principalmente, pelo dimensionamento da bateria e montagem do motor, juntamente com a Engenharia Automotiva que trabalhará também na estrutura do produto produzido.

4 Resultados

4.1 Estrutura

Com a utilização do programa CATIA V5 3D foi estruturado o sistema eletrônico acoplado à cadeira de rodas, 4. Visando três preceitos básicos: comodidade, acessibilidade e conforto.

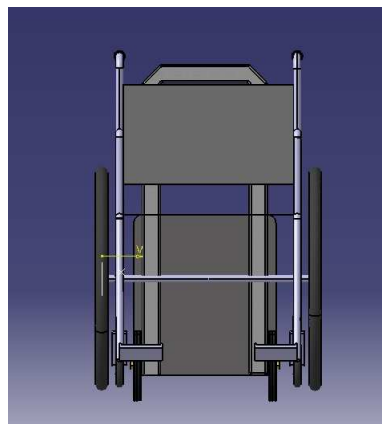


Figura 4 – Vista Frontal

O objetivo do projeto é desenvolver uma estrutura de fácil conexão e resistente. O produto proposto, ver figura 5,6, 7 e 8, 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.

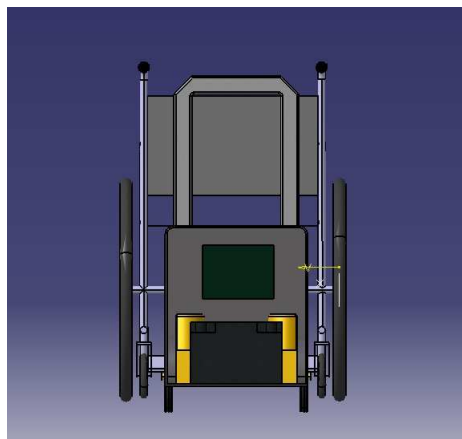


Figura 5 – Vista Traseira

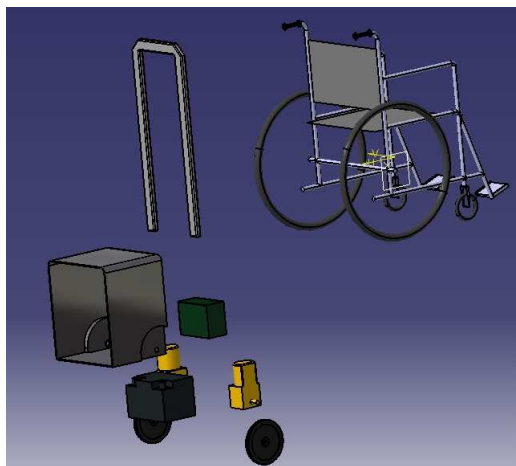


Figura 6 – Visão do Sistema



Figura 7 – Imagem Lateral

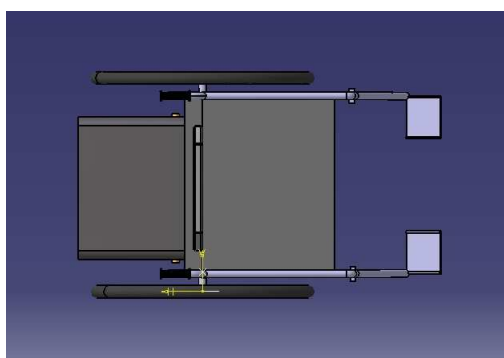


Figura 8 – Imagem Superior

4.2 Power Train

4.2.1 Motor

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).

Especificações a serem atendidas

- Velocidade máxima de 7,2 km/h apx: 2m/s;
- Peso máximo de 120 kg;
- Peso da bateria 10 kg;
- Peso da cadeira (valor aproximado) 20kg;
- Peso total estimado: 150 Kg;
- Considerando hipoteticamente o coeficiente de atrito (μ): 0,2.

Força de atrito:

$$\vec{F} = \vec{N} * \mu = 150 * 9,8 * 0,2 = 294N \quad (4.1)$$

Potência do motor:

$$P_x = \frac{F * v}{100} = \frac{294 * 2}{1000} = \frac{588}{1000} = 0,588kW \quad (4.2)$$

O motor para a utilização na aplicação deve seguir algumas características dentro das especificações do projeto. Serão utilizados dois motores para motorizar a cadeira de rodas. Com isso é necessário que cada motor tenha a potência mínima de: **294W**.

4.2.2 Baterias

4.2.2.1 Chumbo-Ácido

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 adequa 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:

- 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.

4.2.2.2 Carregando Baterias Chumbo-Ácido

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.

A bateria escolhida para o projeto foi uma bateria de chumbo ácido, muito utilizado 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.

4.2.2.3 Autonomia

A capacidade de armazenamento de energia de uma bateria é medida através da multiplicação da corrente de descarga pelo tempo de autonomia, sendo dado em Ampére-hora (Ah).

Cálculo da autonomia da bateria em horas:

$$Autonomia(h) = \frac{Capacidade da bateria(Ah)}{Consumo do circuito(A)}$$

Potência é dada por:

$$P = U * I \quad (4.3)$$

Para o projeto são necessários dois motores de no mínimo 294W de potência cada, ou seja, os dois motores terão, em conjunto, uma potência de 588W. Os motores a serem utilizados vão operar a uma tensão de 12V, com isso a corrente necessária é de:

$$588[W] = 12[V] * I[A] \quad (4.4)$$

$$I = \frac{588}{12} = 49A \quad (4.5)$$

O modelo e as características da bateria foram informadas abaixo:

- Bateria GetPower;
- Bateria de gel selada;
- Tensão: 12V;
- Capacidade: 26Ah;
- Peso: 8,6 Kg;
- Dimensões (Comp x Larg x Alt) : 166 x 175 x 125mm;
- Preço: R\$240,00(Mercado livre).

4.3 Interface com o usuário

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 3.

Interface	Comunicação	Monitoramento	Características
Joystick tradicional	Sem ou com fio, dependendo da aplicação.	Pouco, geralmente apenas o nível da bateria.	Contém mecanismo para encaixe na cadeira de rodas e ainda botões de emergência, os dados são enviados via bluetooth ou fio para o microcontrolador, onde é feito todo o processamento.
Joystick adaptado para o queixo	Com fio.	Nenhum.	Joystick fixo é adaptado para o controle com o queixo, utilizado por tetraplégicos.
Aplicativo em smartphone	Sem fio (VPN ou Bluetooth)	Total: nível da bateria, velocidade, inclinação e etc.	Um aplicativo de controle é instalado no celular, onde são mostradas as condições da cadeira e o usuário gera os comandos, todo o processamento é feito no microcontrolador, a aquisição e envio dos dados de monitoramento e as ações geradas pelo usuário.
Guidão e motor dianteiro	Mecânica.	Pouco ou nenhum.	Apenas para motores dianteiros.

Tabela 3 – Lista de dispositivos de controle de cadeiras de rodas elétricas.

4.3.1 Dispositivo de controle

Um mapeamento sobre como a cadeira de rodas automatizada será feita pode ser observado na figura 9.

Nesse esquemático pode ser observado que a interface com o usuário recebe um input do usuário, utilizando Joystick ou Aplicativo. O sinal emitido por esta interface será processado em um *Raspeberry Pi*, que em seguida irá movimentar o motor.

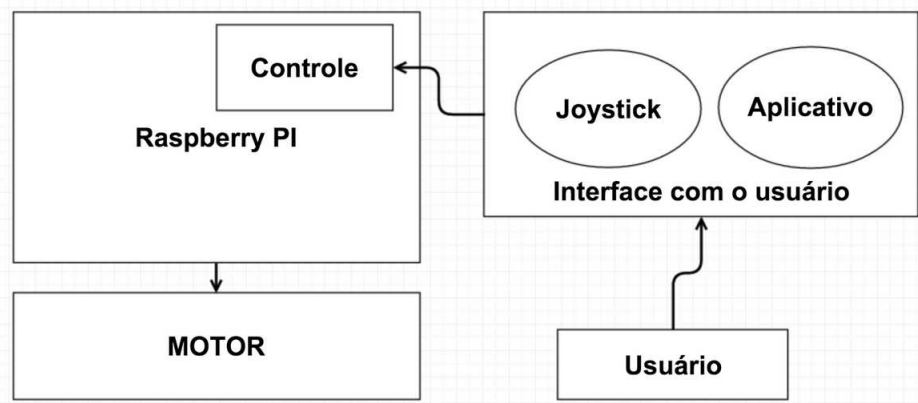


Figura 9 – Desenho do diagrama de blocos do sistema de controle

4.3.1.1 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.

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, esta 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 confortável. Este acoplamento deve ser simples para favorecer a característica de portabilidade do projeto como um todo.

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

4.3.1.2 Smartphone

O *smartphone* é um telefone celular com um sistema operacional móvel avançado que combina as características de um sistema operacional de computador pessoal com outros recursos úteis para uso móvel ou portátil (NUSCA, 2009).

Devido a portabilidade destes dispositivos e sua facilidade de integração com outros sistemas, uma possível solução para a interação do usuário com o sistema pode ser feita. Uma conexão entre o dispositivo e o sistema será feita através de Bluetooth (Android) ou "Virtual Private Network"(iOS e Android).

Para o projeto em questão o usuário pode optar por utilizar o *Smartphone* ou ainda o joystick.

4.3.1.3 Protótipo

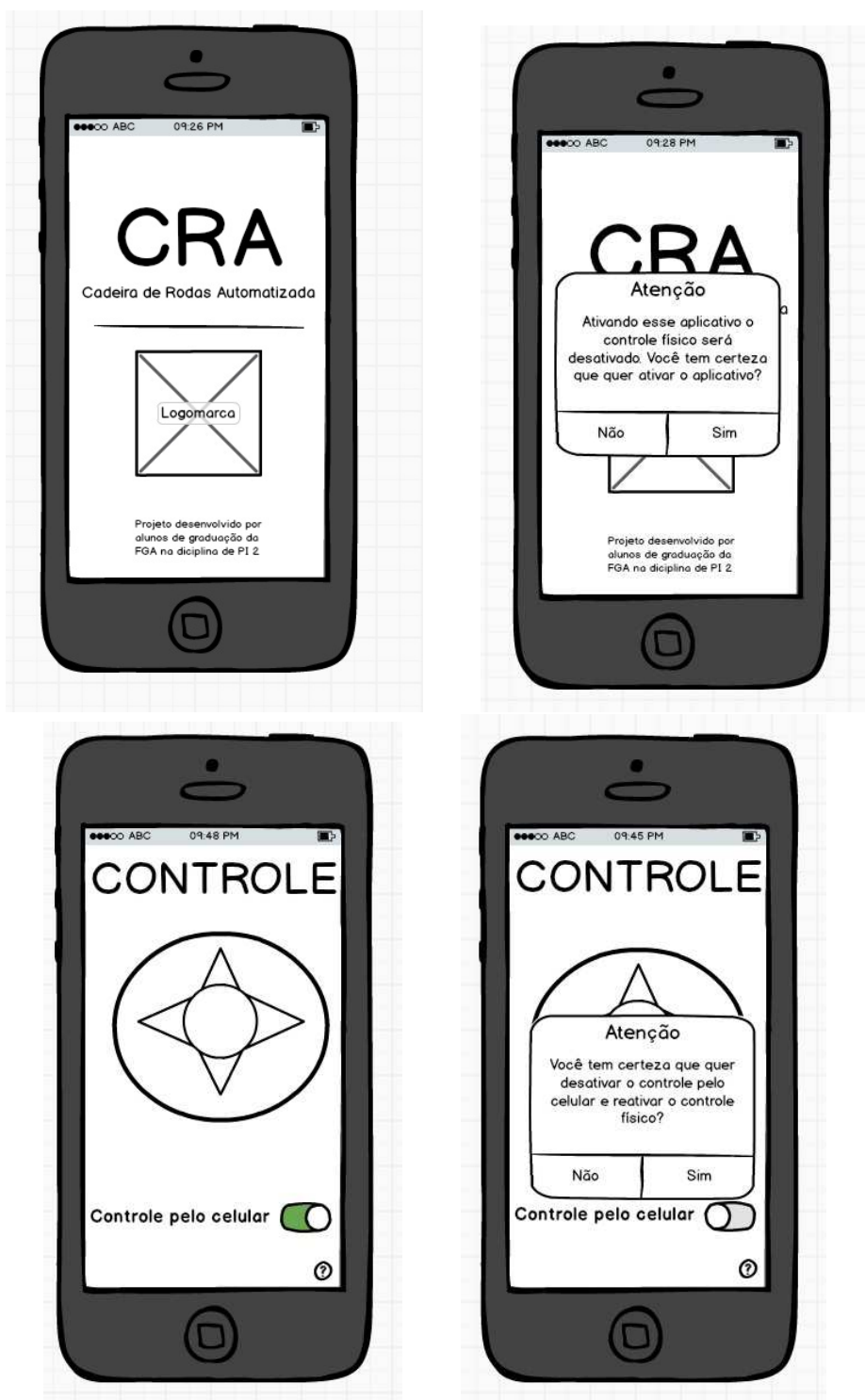


Figura 10 – Protótipo de aplicativo para interface entre usuário e motor

O protótipo na figura 10 foi feito com o intuito de mostrar o fluxo do aplicativo sugerido para o controle da cadeira de rodas automatizada.

4.3.1.4 Bluetooth

Bluetooth é um padrão de tecnologia de transmissão de dados sem fio para curtas distâncias, utilizando ondas de rádio UHF (de 2.4 à 2.485GHz). Essa tecnologia é utilizada pelos mais diversos dispositivos, como celulares, notebooks, desktops, sistemas embarcados, carros e etc, com esta é possível conectar uma série de dispositivos sem problemas de sincronização.

Para utilizar o bluetooth via celular basta acrescentar algumas linhas de código de controle do periférico à aplicação, porém, utilizar este meio de comunicação em um microcontrolador não é uma tarefa tão trivial, muitas vezes é necessário acoplar um módulo de comunicação bluetooth ao sistema e programar a comunicação em um nível mais baixo. Neste trabalho, decidiu-se que a comunicação bluetooth, exceto via celular, será implementada utilizando-se o módulo bluetooth HC-05, conforme a figura 11.

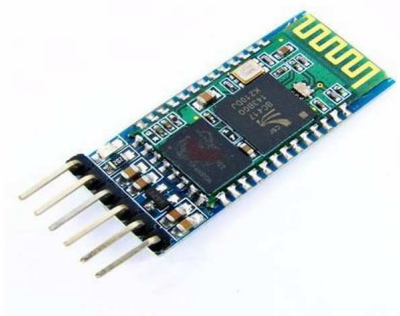


Figura 11 – Módulo Bluetooth HC-05

O módulo bluetooth HC-05 oferece uma forma fácil e barata de comunicação via Bluetooth, suporta tanto o modo mestre como escravo, além de ter uma fácil configuração e um alcance de até 10 metros.

4.3.2 Controladores de potência

Os motores de corrente contínua utilizam das forças eletromagnéticas para transformar energia elétrica em mecânica funciona com fontes retificadas, ou seja, que possuem polaridade fixa. Esse tipo de motor, possui dois terminais, um positivo e outro negativo que de acordo com o polaridade e o sentido da corrente controlam a repulsão dos eletroímãs e consequentemente o sentido da rotação do motor.

Uma das maiores vantagens dos motores de corrente contínua é o controle da velocidade que é feito com o dreno 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.

Geralmente, motores precisam de correntes 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. Na figura 12 tem-se o funcionamento dos motores de acordo com a combinação das chaves indicando que o seu sentido é proporcional ao da corrente.

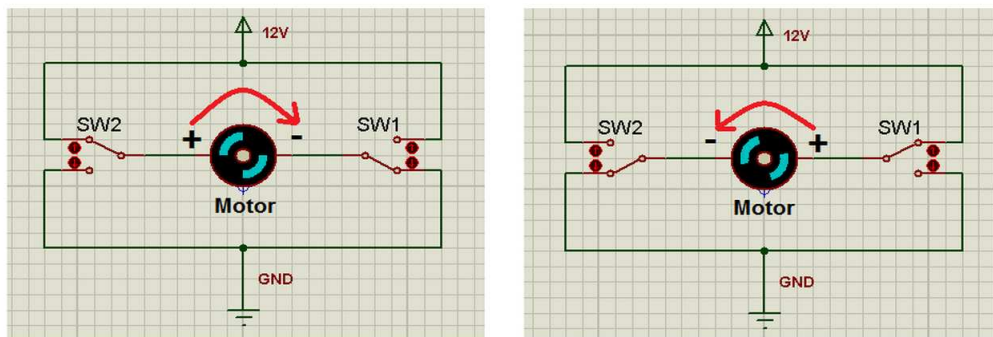


Figura 12 – Direcionamento dos motores

O controle feito por chaves é relativamente efetivo, barato e simples, contudo, essas facilidades podem causar alguns problemas. Por se tratar de um sistema físico, a chave, com o tempo, sofre desgaste físico e está propícia a problemas estruturais e até mesmo de acionamento por sistemas automatizados. Tem-se ainda a trepidação durante um acionamento que pode acabar gerando falsos positivos. Uma alternativa para esses problemas são os transistores operando no lugar das chaves.

O acionamento dos transistores é feito de forma elétrica, não possuindo assim desgaste físico e podem ser feitos usando baixas tensões ou correntes, o que torna o sistema mais simples. Considerando que esse tipo de componente pode atuar como porta lógica, é possível trabalhar com mais estados e uma margem maior para as necessidades do sistema. Outra vantagem é que existem vários tipos de transistores com diferentes características que podem ser agregadas ao projeto para funcionalidades como a proteção dos pinos, entre outros.

O uso de transistores como chaves permite que sejam criados sistemas mais complexos que permitem estados diferentes, como manter o motor parado. Um circuito geralmente utilizado para esse tipo de controle é a ponte H, que é basicamente um conjunto com alguns transistores construídos de modo que a corrente possa ser direcionada de acordo com a necessidade do sistema, como pode ser visto na figura 13.

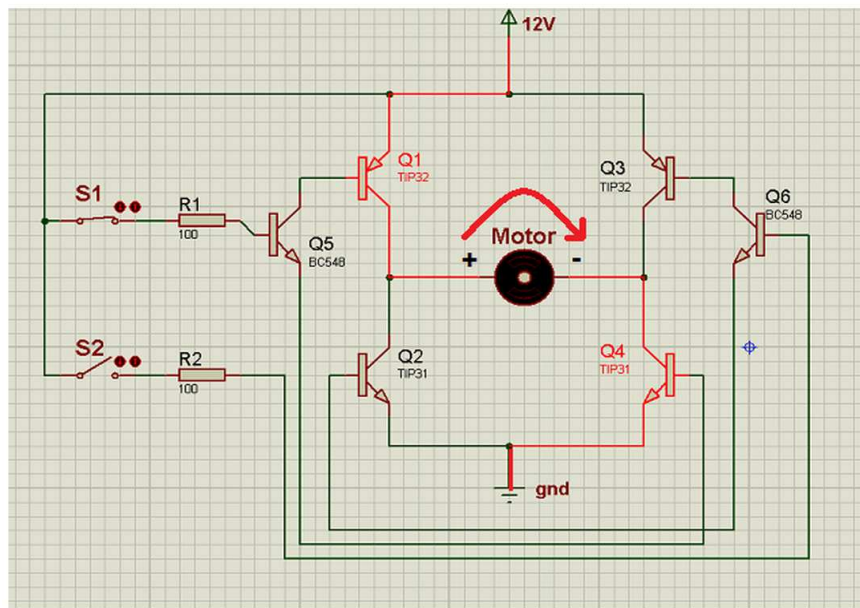


Figura 13 – Circuito com ponte H

O transistor usado na figura 13 é um transistor bipolar, que possui materiais polarizados e junções coladas, devido às suas características, não funciona muito bem em sistemas de potência, dificultando o seu uso para motores que drenam muita corrente. Para aplicações que exigem a passagem de corrente, são utilizados os transistores de efeito de campo, FET, que suportam mais corrente devido à sua alta impedância de entrada. Como o próprio nome diz, esse tipo de transistor é acionado com um campo elétrico na porta *Gate*. Devido a esse comportamento o acionamento fica praticamente isolado, o que permite uma maior passagem de corrente com uma proteção maior para os pinos de controle.

O acionamento dos transistores é feito a partir de uma onda quadrada, o PWM (*Pulse Width Modulation*). O PWM é basicamente um onda com vários pulsos que possuem a sua largura controlada, figura 14, que é chamado de *Duty Cycle*, essa largura determina o tempo com o qual os transistores ficarão ligados, controlando assim a passagem de corrente e a velocidade dos motores.

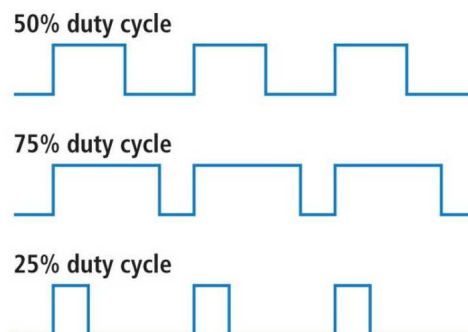


Figura 14 – Duty Cycle

Para o kit de automação da cadeira de rodas, como uma primeira visão, será utilizada a ponte H para controle dos motores. Um algoritmo de controle PWM usando o Raspberry Pi que deve responder aos comandos do usuário como direção, aceleração, frenagem, entre outros que serão posteriormente levantados. Na figura 15 pode ser observado o esquemático geral do sistema. Tem-se ainda o Distribuidor, uma placa para facilitar a alimentação do sistema, e o Regulador, para alimentar o Controlador e periféricos.

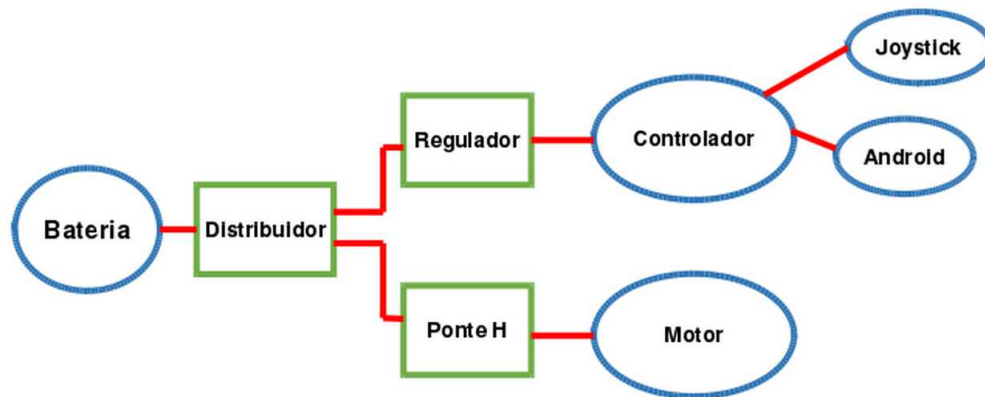


Figura 15 – Esquemático geral do sistema

4.3.3 Tecnologias

4.3.3.1 Raspberry Pi

É um pequeno computador que será responsável pelo controle do motor, seu modelo ainda será decidido. A escolha foi feita devido ao número de recursos oferecidos e o baixo custo desse componente.

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 16, 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).

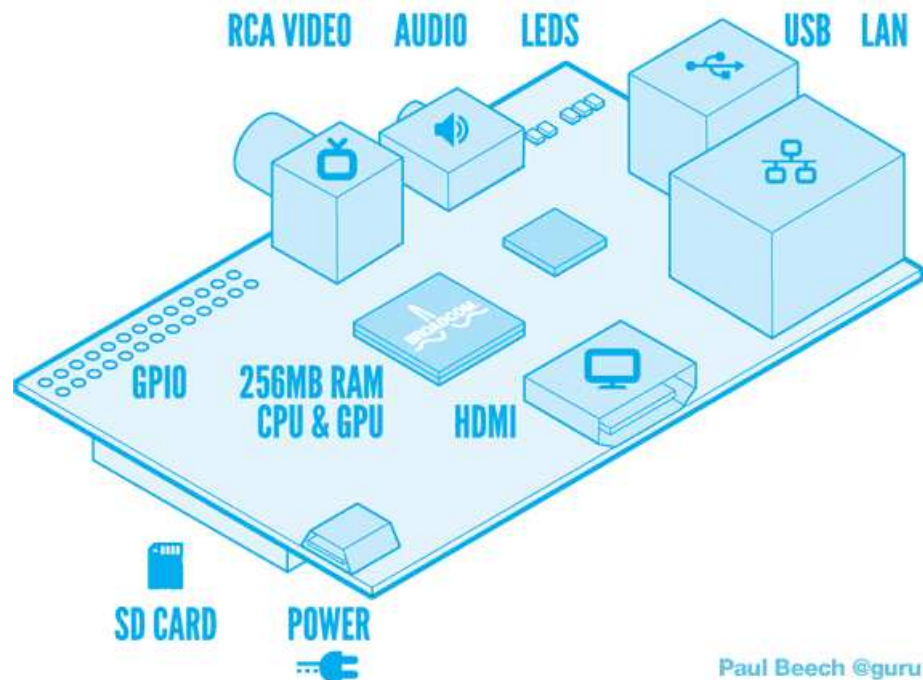


Figura 16 – Esquemático componentes Raspeberry Pi

4.3.3.2 Linguagem de programação

Uma das linguagens a ser adotada será o 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 sintaxe consisa e clara, juntamente com bibliotecas com recursos poderosos. Os módulos e frameworks ainda não foram decididos.

5 Perspectiva

5.1 Incremento atual

5.1.1 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 foi feito, alavancando os motivos e vantagens do uso do mesmo para suporte das cargas do anexo.
3. Ergonomia do produto: Estudo e modelagem do melhor design da cadeira de rodas manual com o anexo que a motoriza.

5.1.2 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.

5.1.3 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.

5.1.4 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.

5.2 Próximos passos

5.2.1 Estrutura

1. Fazer análise computacional das tensões equivalentes atuantes na estrutura, mediante critérios de falha de von Mises. Será utilizado o software ANSYS.
2. Escolha de material mediante norma ABNT 6061 - T6.

5.2.2 Power Train

1. Escolha do motor de CC a ser utilizado no projeto, levando em conta o custo, preço e adequação do mesmo no projeto. Motores escolhidos:
 - a) Zm 8070501 (12V 0,8 kW)
 - b) Zm 8070502 (12V 0,8 kW)
 - c) Zm 8010603 (12V 0,8 kW)
 - d) Zm 8010604 (12V 0,8 kW)
 - e) Zm 8010605 (12V 0,8 kW)
 - f) Zm 8010606 (12V 0,8 kW)

- g) Zm 8010607 (12V 0,8 kW)
 - h) Zm 8010608 (12V 0,8 kW)
2. Escolha e dimensionamento da bateria de maneira mais específica – tensão e capacidade adequadas assim como a quantidade necessária para o projeto e estimativa de preço.
 3. Cálculos mais aprofundados sobre autonomia, potência, eficiência, cálculo de forças e velocidades serão apresentados.

5.2.3 Interface com Usuário

1. Prova de conceito para comunicação VPN e Bluetooth para iOS;
2. Prova de conceito para comunicação VPN e Bluetooth para Android;
3. Prova de conceito para comunicação de Joystick (cabo e Bluetooth);

5.2.4 Controle

1. Definição de interface entre os componentes de controle;
2. Versão inicial do controle com smartphone;
3. Versão inicial do controle com joystick.

5.3 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 17 – Cronograma

Referências

- ABNT, A. B. D. N. T. *NBR 9050: Acessibilidade e edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos*. [S.l.], 2004. Citado na página 13.
- BARCELOS, A. et al. Sistema de controle e motorização de cadeira de rodas. *Associação Educacional Dom Bosco*, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 30.
- CONITEC, C. N. de Incorporação de Tecnologias no S. *Relatório número 50 PROCEDIMENTO CADEIRA DE RODAS MOTORIZADA NA TABELA DE ÓRTESES, PRÓTESES E MATERIAIS ESPECIAIS NÃO RELACIONADOS AO ATO CIRÚRGICO DO SUS*. 8 de maio de 2013. Acessado em 7 de Setembro de 2015. Disponível em: <<http://conitec.gov.br/images/Incorporados/CadeiradeRodasMotorizada-final.pdf>>. Citado na página 13.
- 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 31.
- Herbert A Everest e Harry C Jennings. *Folding wheel chair*. 1937. 2095411. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 29.
- 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 2 vezes nas páginas 14 e 27.
- MCGUIRE, M.; JENKINS, O. C. *Creating Games: Mechanics, Content, and Technology*. [S.l.]: A K Peters, Ltd., 2009. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 31.
- MEGGIOLARO, M. A.; GIRSAS, I. T. *PROJETO E CONTROLE DE UMA CADEIRA DE RODAS AUTOMATIZADA INTELIGENTE COM SENSORES DE ULTRASSOM*. 2011. Citado na página 14.
- NUSCA, A. Smartphone vs. feature phone arms race heats up; which did you buy? *ZDNet*, 2009. Citado na página 31.