

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
Campus DIVINÓPOLIS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

Fúlvia Stefany Silva de Oliveira

DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO MECATRÔNICO AUXILIAR NA ACESSIBILIDADE DE
PESSOAS USUÁRIAS DE CADEIRAS DE RODAS



Divinópolis
2014

Fúlvia Stefany Silva de Oliveira

DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO MECATRÔNICO AUXILIAR NA ACESSIBILIDADE DE
PESSOAS USUÁRIAS DE CADEIRAS DE RODAS

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada ao Colegiado de Graduação em Engenharia Mecatrônica como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico.

Áreas de concentração: Mecânica e Eletrônica.

Orientador: Prof. Dr. Renato de Sousa Dâmaso



Divinópolis
2014



Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
Campus Divinópolis
Graduação em Engenharia Mecatrônica

Monografia intitulada “DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO MECATRÔNICO AUXILIAR NA ACESSIBILIDADE DE PESSOAS USUÁRIAS DE CADEIRAS DE RODAS”, de autoria da graduanda Fúlvia Stefany Silva de Oliveira, aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

Prof. Dr. Renato de Sousa Dâmaso - Orientador
CEFET/MG *Campus* Divinópolis

Prof. Msc. Cláudio Parreira Lopes
CEFET/MG *Campus* Divinópolis

Prof. Dr. Valter Junior de Souza Leite
Coordenador do Curso de Engenharia Mecatrônica
CEFET-MG / *Campus* Divinópolis

Divinópolis, 26 de fevereiro de 2014

DEDICO ESTE TRABALHO AOS
MEUS PAIS SR. OSVALDO E D.
NENÊ, QUE SEMPRE ME APOIA-
RAM EM TODOS OS MOMENTOS
E NUNCA POUPARAM ESFORÇOS
PARA ME PROPORCIONAR SEMPRE
O MELHOR.

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais pelo carinho e apoio durante toda a minha vida.

Aos meus irmãos, que sempre estiveram presentes durante essa caminhada e à toda minha família e aos meus amigos, que torceram pelo meu sucesso.

Ao Alexandre, pelo companheirismo e palavras de incentivo e também pelas várias idas à rua Carijós, para comprar boa parte dos componentes eletrônicos usados neste trabalho.

Ao professor Renato de Sousa Dâmaso, pela orientação e auxílio durante todas as etapas de elaboração desta monografia.

Aos professores que participaram da banca de avaliação de TCC1, pelas sugestões de melhoria deste trabalho.

Aos colegas de curso Lucênia Resende Diniz, que contribuiu para este projeto durante a disciplina TCC1, ao Leonardo Elias, que tanto colaborou com o desenvolvimento da estrutura mecânica do dispositivo e ao Vinícius Reis, que me ajudou a resolver os problemas da placa de controle.

Aos demais professores, pelos ensinamentos que, com certeza, serão muito valiosos para a minha vida profissional.

Aos outros colegas de curso, que proporcionaram bons momentos ao longo desses anos de graduação.

*If the doors of perception were cleansed every thing
would appear to man as it is, infinite.*

William Blake

Resumo

Este trabalho faz parte de um projeto maior, cujo objetivo é o desenvolvimento de um dispositivo que possa ser acoplado a uma cadeira de rodas manual, para torná-la capaz de subir e descer um degrau. O dispositivo pensado para esse fim foi uma plataforma móvel com capacidade de locomoção no plano e de transposição desse tipo de obstáculo, além de uma estrutura composta por duas rampas, que podem ser posicionadas de forma automática sobre um degrau. Neste trabalho são apresentados o projeto mecânico da estrutura para posicionamento das rampas, assim como o projeto dos circuitos eletrônicos para o seu acionamento. Os circuitos desenvolvidos são divididos em circuito de controle e circuitos de potência. São utilizados recursos como um microcontrolador PIC16F877A e um *driver* para acionamento de motores de corrente contínua. Por fim, também é apresentado um sistema composto por um sensor ultrassônico e um servomotor para a identificação e medição da altura do degrau.

Palavras-chave: cadeira de rodas; ponte h; acionamento microcontrolado; sensor ultrassônico.

Abstract

This work is a part of a bigger project, which objective is the development of a device that can be mated to a manual wheelchair to make it capable to up and down a step. The device is about a mobile platform with the locomotion capacity in the plan and in the transposition of obstacles. Further, the device has a structure composed by two ramps, which can be positioned in an automatic form on a step. In this work, the mechanical design of the structure for ramps positioning and the project of the electronic circuits for its actuation are presented. The developed circuits are divided in control circuits and in power circuits. There will be used resources like a microcontroller PIC16F877A and a *driver* to operate the DC motors. At last, a system composed by a ultrasonic sensor and a servomotor used for the identification and measurement of the step height are presented as well.

Key-words: wheelchair; h bridge; microcontrolled actuation; ultrasonic sensor.

Sumário

Lista de Figuras	xx
Lista de Tabelas	xxi
Lista de Acrônimos e Notação	xxiii
1 Introdução	1
1.1 Relevância	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Metodologia	2
1.4 Estrutura da monografia	3
2 Revisão da Literatura	5
2.1 Trabalhos relacionados	5
2.2 Equipamentos comerciais	9
2.3 Norma ABNT NBR 9050	11
3 Estrutura Mecânica	13
3.1 Projeto da estrutura para posicionamento das rampas	14
3.1.1 Dimensionamento de rampas para acessibilidade	15
3.1.2 Dimensionamento das rampas	15
3.1.3 Estrutura para posicionamento das rampas	18
3.1.4 Construção do protótipo	21
4 Projeto Eletrônico	23
4.1 Circuito de controle	24
4.2 Circuitos de potência	27
4.2.1 Ponte H	27
4.2.2 Circuito para acionamento de motor de passo	32
5 Sistema de Identificação e Medição da Altura do Degrau	33
5.1 Princípio de funcionamento do sensor ultrassônico	33
5.2 Sistema implementado	34

5.3 Testes realizados	37
6 Conclusões e Perspectivas	41
A Diagramas Elétricos	43
Bibliografia	55

Lista de Figuras

2.1	Protótipo de cadeira de rodas com um mecanismo de duas pernas para subir escadas (Bang et al., 2011).	6
2.2	Cadeira com rodas planetárias híbridas capaz de subir escadas (Fang et al., 2011).	7
2.3	Mecanismos ativados por força humana para auxiliar a cadeira de rodas a transpor um meio-fio (Pedro et al., 2009).	8
2.4	Visão geral da roda dianteira que permite à cadeira transpor pequenos obstáculos (Yokota et al., 2011).	8
2.5	Exemplo de uso das rampas portáteis telescópicas (Kvistberga Produkter, <i>n/d</i>).	9
2.6	Esteira que pode ser acoplada à cadeira de rodas para torná-la capaz de subir escadas. Adaptado de Peter Auer GmbH (<i>n/d</i>).	10
2.7	Cadeira de rodas capaz de subir/descer escadas em funcionamento (Topchair SAS, <i>n/d</i>).	10
3.1	Cadeira de rodas da marca CDS, usada como referência para dimensionamento do carrinho.	14
3.2	Principais medidas usadas para o dimensionamento do dispositivo.	14
3.3	Dimensões, em milímetros, do perfil U adotadas nas simulações.	16
3.4	Resultado da simulação considerando o aço ABNT 1020 como material de fabricação.	17
3.5	Resultado da simulação considerando a liga de alumínio ABNT 5052 F Naval como material de fabricação.	17
3.6	Visão geral simplificada da estrutura para posicionamento das rampas.	18
3.7	Vista de planta da estrutura projetada para posicionamento das rampas.	19
3.8	Vista lateral da estrutura projetada para posicionamento das rampas.	19
3.9	Detalhes da estrutura para abertura das rampas com suas dimensões principais (mm).	20
3.10	Estrutura projetada para posicionamento das rampas: corte B-B.	20
4.1	Diagrama simplificado da eletrônica do carrinho.	23
4.2	Motor de corrente contínua que será usado para posicionamento das rampas.	24
4.3	Motores de passo reaproveitados de impressoras antigas.	24

4.4	Servomotor usado para posicionamento do sensor ultrassônico e para a abertura da rampas.	25
4.5	Placa de controle desenvolvida.	26
4.6	Placa para acionamento dos servomotores de 6V.	26
4.7	Configuração básica de um circuito ponte H.	27
4.8	Diagrama de blocos do <i>driver</i> HIP4080A. Fonte: Intersil (2001).	29
4.9	Pinagem do <i>driver</i> HIP4080A (Intersil, 2001).	29
4.10	Relação entre o valor do resistor e o tempo de atraso inserido na ativação do transistor (Intersil, 2001).	30
4.11	Placa da ponte H desenvolvida.	31
4.12	Placa que fornece os sinais para determinação do sentido de giro do motor.	31
4.13	Tensão de alimentação e tensão aplicada ao motor.	31
4.14	Placa desenvolvida para acionamento dos motores de passo.	32
5.1	Sensor ultrassônico usado no trabalho.	34
5.2	Sensor de ultrassom conectado a um servo motor para identificação e medição da altura do degrau.	34
5.3	Fluxograma para determinação da altura do degrau.	35
5.4	<i>Display</i> LCD indicando a leitura do sensor ultrassônico em mm.	37
5.5	Teste do sensor de ultrassom.	38
A.1	Diagrama esquemático da placa de controle.	45
A.2	Diagrama esquemático da placa de acionamento dos servomotores de 6V.	47
A.3	Diagrama esquemático da placa que fornece os sinais para determinação do sentido de giro do motor.	49
A.4	Diagrama esquemático da placa de ponte H.	51
A.5	Diagrama esquemático da placa de acionamento dos motores de passo.	53

Lista de Tabelas

3.1	Dimensionamento de rampas (ABNT, 2004).	15
3.2	Dimensionamento de rampas para situações excepcionais (ABNT, 2004).	15
5.1	Comparação entre os valores da distância real e da distância medida com o sensor de ultrassom.	38
5.2	Comparação entre os valores da distância real e da distância medida com o sensor de ultrassom em ângulo.	38
5.3	Comparação entre os valores da altura real e da altura calculada pelo sistema proposto.	39

Lista de Acrônimos e Notação

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LCD	<i>Liquid crystal display</i>
MOSFET	<i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor</i>
n/d	Não disponível
PIC	<i>Programmable Interface Controller</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
TBJ	Transistor bipolar de junção

Introdução

Um assunto que não é recente, mas que está sempre em destaque e merece atenção, é o desenvolvimento de dispositivos para a melhoria da autonomia e inserção dos portadores de deficiência física na sociedade.

Os usuários de cadeiras de rodas, por exemplo, precisam conviver com uma série de obstáculos diariamente. Quem observa as calçadas da cidade, percebe que são poucos os lugares que possuem rampas de acesso adequadas para cadeirantes. É comum presenciar a dificuldade deles de realizar tarefas simples, como subir e descer um degrau. Para transpor o meio-fio das calçadas, as pessoas que usam cadeiras de rodas precisam contar com o auxílio de uma outra pessoa, que muitas vezes não sabe como fazê-lo corretamente ou não toma os devidos cuidados. Esse problema poderia ser minimizado se as cadeiras de rodas fossem equipadas com algum dispositivo que pudesse auxiliar o cadeirante na tarefa de superar pequenos obstáculos, como transpor um meio-fio.

A ideia do desenvolvimento deste trabalho surgiu a partir da observação dessas situações, que despertou o interesse em utilizar os conhecimentos adquiridos na Engenharia como uma forma de resolver problemas do cotidiano e contribuir com soluções que possam melhorar a qualidade de vida das pessoas.

Esta monografia apresenta parte de uma solução para o problema descrito anteriormente, a partir do desenvolvimento de um dispositivo que, incorporado a uma cadeira de rodas manual, possa torná-la capaz de superar obstáculos. Para o projeto e construção do equipamento foram usados conhecimentos das áreas de Mecânica e Eletrônica, exigindo a integração de vários conceitos vistos ao longo do curso.

1.1 Relevância

De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) do Censo 2010, há mais de 13 milhões de portadores de deficiência motora no Brasil. Grande parte dessas pessoas necessita de cadeira de rodas para se locomover. Mas estima-se que apenas 4,7% dos domicílios urbanos possuam acesso para cadeirantes no seu entorno (IBGE, 2012). Para que o cadeirante possa se deslocar de maneira mais independente, é importante investir em pesquisas e no desenvolvimento de equipamentos voltados à acessibilidade.

Atualmente, é possível encontrar no mercado diversos produtos que podem melhorar a qualidade de vida da pessoa portadora de deficiência, como cadeiras de rodas motorizadas e capazes de subir/descer escadas, além de guinchos para elevação e plataformas de acessibilidade. No entanto, esses recursos são limitados ao uso de poucos. O preço desses equipamentos é elevado, já que muitos deles são importados.

Diante de tais dificuldades, várias pesquisas têm sido elaboradas no sentido de criar equipamentos assistivos de baixo custo. Na Universidade Estadual de São Paulo, por exemplo, foram desenvolvidos e dimensionados cadeira de rodas motorizada, guincho para transferência e plataforma de acessibilidade, visando sempre o conforto do cadeirante e o baixo custo de desenvolvimento (Rosado, 2004).

Na Universidade Federal do ABC, existe o grupo de Pesquisas Avançadas para Acessibilidade de pessoas com deficiência motora e Cadeirantes (PAAC), que atualmente trabalha no desenvolvimento de cadeiras de rodas mais acessíveis. Dentre os projetos em desenvolvimento pode-se citar o projeto e construção de cadeiras de rodas omnidirecional, cadeira de rodas motorizada para subir/descer escadas e cadeira de rodas com altura variável (PAAC, 2013). Outras pesquisas relacionadas ao tema são mostradas no Capítulo 2.

Apesar dos diversos trabalhos que já existem na área, há ainda muitos pontos que precisam ser melhor explorados, como o desenvolvimento de dispositivos mais simples e de baixo custo, para auxiliar os cadeirantes a superar obstáculos comuns no cotidiano.

1.2 Objetivos

Este trabalho faz parte de um projeto maior que tem como objetivo principal o projeto e construção de um dispositivo mecatrônico, que possa ser acoplado a cadeiras de rodas manuais, para auxiliá-las a subir e descer um degrau. O dispositivo idealizado compõe-se de uma plataforma móvel capaz de se locomover no plano e transpor obstáculos, além de uma estrutura composta por duas rampas, que podem ser posicionadas de forma automática sobre um degrau.

Para este trabalho, em específico, os objetivos são:

- conhecer e apresentar as principais soluções existentes para o problema da transposição de degraus com cadeiras de rodas;
- projetar e construir a estrutura mecânica para posicionamento das rampas;
- projetar e implementar os circuitos eletrônicos para acionamento da plataforma móvel como um todo;
- desenvolver um sistema para detecção do degrau e medição de sua altura.

O desenvolvimento da estrutura de locomoção da plataforma móvel, assim como a criação de rotinas para o controle e acionamento do dispositivo, estão previstos para outro trabalho de conclusão de curso.

1.3 Metodologia

A metodologia adotada neste projeto compreende etapas de revisão bibliográfica, projeto e construção do dispositivo, realização de testes e análise dos resultados.

A revisão bibliográfica foi realizada com o intuito de obter um melhor entendimento sobre o assunto. Foram pesquisados trabalhos relacionados ao tema nos portais Periódicos da CAPES, SciELO e na biblioteca digital IEEE Xplore. Nesta etapa também foi realizada uma busca sobre equipamentos comerciais e normas brasileiras para acessibilidade.

Durante a etapa do projeto mecânico do dispositivo, foi utilizado um software CAD 3D para desenho das peças e simulação da resistência das rampas. Algumas das peças da estrutura mecânica foram fabricadas nos laboratórios do CEFET-MG/Campus Divinópolis. Os principais materiais usados foram alumínio e *nylon*.

O projeto eletrônico foi realizado a partir de simulações no módulo ISIS do Proteus e depois testado em *protoboard*, antes de ser transferido para as placas de fenolite. Para a montagem das placas os principais componentes utilizados foram microcontrolador PIC, *driver* para acionamento de ponte H, resistores, capacitores, diodos e transistores de efeito de campo (MOSFETs).

O programa do microcontrolador foi elaborado em linguagem C no ambiente CCS C Compiler. A programação do microcontrolador foi feita utilizando-se o programador PICKit2.

1.4 Estrutura da monografia

Esta monografia está organizada em seis capítulos. Este primeiro capítulo apresenta uma introdução ao tema abordado, apontando a sua relevância, os objetivos do trabalho e a metodologia adotada.

O Capítulo 2 contempla uma breve revisão da literatura, mostrando alguns trabalhos relacionados, equipamentos comerciais existentes para o auxílio de cadeirantes na tarefa de subir degraus e escadas, além de uma introdução à norma brasileira que estabelece critérios para a adaptação de espaços urbanos às condições de acessibilidade.

O Capítulo 3, por sua vez, trata do projeto e parte da construção da estrutura mecânica para posicionamento das rampas. Nessa parte do texto também é explicado o motivo da escolha da estrutura proposta e o tipo e as dimensões dos obstáculos a serem transpostos pelo dispositivo.

O projeto eletrônico do dispositivo é abordado no Capítulo 4. Nele são detalhadas as placas eletrônicas elaboradas, ao mesmo tempo em que são mostradas as características de funcionamento dos principais componentes utilizados.

O Capítulo 5 apresenta o sistema proposto para a identificação do degrau e a medição de sua altura. São descritas as características técnicas e o princípio de funcionamento do sensor usado e também a rotina implementada no microcontrolador para o seu acionamento. Os resultados obtidos com o sistema são mostrados ao final do capítulo.

Por fim, o Capítulo 6 traz as principais conclusões obtidas com o desenvolvimento do trabalho, bem como perspectivas futuras apontadas para este trabalho.

Revisão da Literatura

Desde que surgiram, as cadeiras de rodas têm passado por diversas modificações que visam melhorar, principalmente, o conforto e a segurança do cadeirante. Ao pesquisar sobre o assunto em bases de dados de trabalhos técnicos e científicos, nota-se que, nos últimos anos, as melhorias estão sendo direcionadas para o desenvolvimento de cadeiras de rodas inteligentes, equipadas com sensores e mecanismos que possam propiciar mais autonomia ao seu usuário.

2.1 Trabalhos relacionados

Muitos estudos têm tratado do desenvolvimento de cadeiras capazes de superar obstáculos. Bang et al. (2011), por exemplo, propuseram uma cadeira de rodas para subir/descer escadas a partir de um mecanismo de duas pernas e sensores de distância a laser, que identificam automaticamente o tamanho dos degraus da escada. A cadeira se move a partir de duas rodas motrizes em contato com o chão, da mesma forma que cadeiras de rodas convencionais. No corpo da cadeira, entretanto, há um mecanismo dobrado, composto por duas pernas com sete graus de liberdade, que é utilizado para subir escadas. A Figura 2.1 mostra o protótipo, em funcionamento, desenvolvido pelos pesquisadores. Para subir as escadas, o cadeirante precisa estar de costas para elas. Apesar de ter apresentado bons resultados nos testes executados pelos autores do trabalho, a cadeira aparentemente possui uma estrutura bastante complexa e, provavelmente, de alto custo.

Fang et al. (2011) introduziram um novo modelo de cadeira de rodas motorizada multifuncional, em que as rodas traseiras são substituídas por dois conjuntos de rodas planetárias híbridas, cada qual consistindo em uma roda motorizada e outras duas livres. De acordo com os pesquisadores, a cadeira pode trabalhar em três modos: subida/descida de escadas, motorizado e manual. No modo para subir/descer escadas é preciso o auxílio de uma pessoa para que o cadeirante possa transpor as escadas com facilidade. O projeto foi elaborado considerando degraus de 260 mm de largura e 160 mm de altura. Para garantir a segurança do usuário e da pessoa que o auxilia, um mecanismo especial que é acionado por um atuador linear elétrico também foi projetado. A Figura 2.2 mostra o funcionamento da cadeira nesse modo de operação. Assim como no exemplo anterior, o cadeirante precisa estar de costas para as escadas. No modo motorizado, o usuário pode controlar o movimento da cadeira de rodas por meio de um



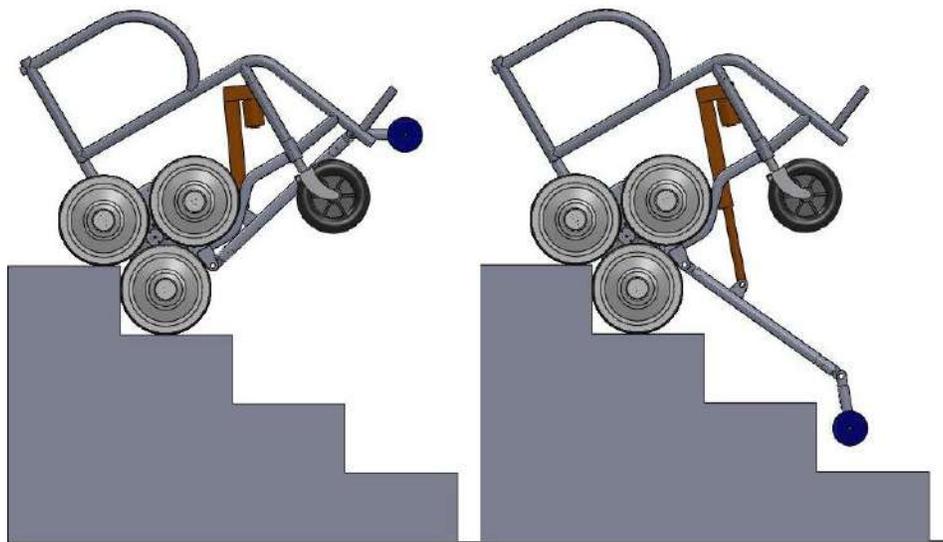
Figura 2.1: Protótipo de cadeira de rodas com um mecanismo de duas pernas para subir escadas (Bang et al., 2011).

joystick, como acontece com as cadeiras de rodas motorizadas disponíveis comercialmente. Por fim, no modo manual, a cadeira deve ser empurrada por outra pessoa, já que não há nenhum mecanismo propulsor. Os autores destacam que o protótipo desenvolvido apresenta tamanho e peso da estrutura bem menores, se comparados com os de outras cadeiras projetadas para transpor escadas.

Na literatura podem ser encontrados vários outros exemplos de cadeiras de rodas capazes de subir escadas. Mas nota-se que, em praticamente todos eles, a estrutura da cadeira é sempre muito complexa e de alto custo. Em alguns casos, o dispositivo é difícil de operar e a estabilidade na subida e descida nem sempre é assegurada.

Com o objetivo de obter dispositivos mais simples e de baixo custo, alguns pesquisadores têm trabalhado na adaptação de cadeiras de rodas para torná-las capazes de transpor obstáculos menores, mas que ainda assim representam uma melhoria considerável na autonomia das pessoas usuárias de cadeiras de rodas.

Pedro et al. (2009), por exemplo, estudaram a viabilidade de diferentes mecanismos ativados por força humana que proporcionassem a uma cadeira de rodas a capacidade de superar obstáculos urbanos, tais como meio-fios. Foram analisados três tipos de estruturas, sendo que



(a) Desenho do mecanismo proposto por Fang et al. (2011) para subir escadas.

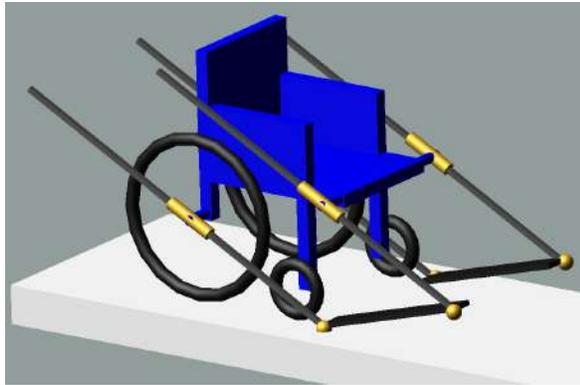


(b) Protótipo desenvolvido em funcionamento.

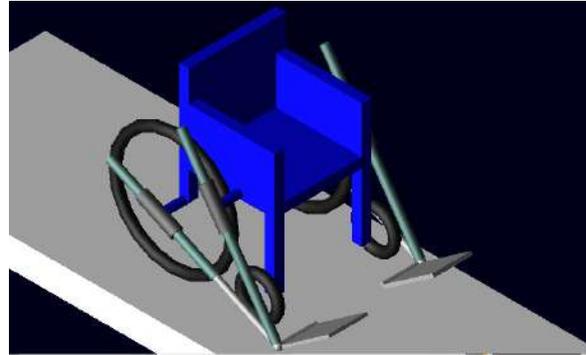
Figura 2.2: Cadeira com rodas planetárias híbridas capaz de subir escadas (Fang et al., 2011).

duas delas contavam com um sistema de barras para mover rampas acopladas à cadeira, que são mostradas na Figura 2.3, enquanto que a terceira, além dos elementos citados, também possuía uma caixa de redução para aumentar o torque aplicado pelo cadeirante. A partir de simulações computacionais, os autores verificaram que apenas um dos três mecanismos era capaz de auxiliar corretamente na tarefa de transpor guias de calçada. Cada um dos outros dois dispositivos

apresentou um tipo diferente de problema. Em um deles foi observada a existência de conflitos geométricos e, no outro, o escorregamento das rodas traseiras da cadeira de rodas. No artigo, os autores afirmam que, em trabalhos futuros, pretendem melhorar o dimensionamento e iniciar a construção de um protótipo do dispositivo que se mostrou funcional.



(a) Primeira solução.



(b) Segunda solução.

Figura 2.3: Mecanismos ativados por força humana para auxiliar a cadeira de rodas a transpor um meio-fio (Pedro et al., 2009).

Yokota et al. (2011) desenvolveram um tipo de roda dianteira que permite à cadeira de rodas subir obstáculos de pequena dimensão (cerca de 50mm), que podem estar até mesmo numa direção oblíqua à ela. O mecanismo é baseado em placas de apoio que fazem uma ampliação imaginária do raio da roda e numa função de bloqueio de rotação da roda na direção de guinada, o que possibilita transpor obstáculos na direção oblíqua. A Figura 2.4 mostra uma visão geral dessa roda.



Figura 2.4: Visão geral da roda dianteira que permite à cadeira transpor pequenos obstáculos (Yokota et al., 2011).

Como pode ser visto, o aumento do raio é feito por duas placas adicionadas na lateral da roda, enquanto que seu bloqueio é realizado de forma ativa por uma embreagem eletromagnética.

A grande vantagem desse mecanismo, de acordo com os pesquisadores, é que ele pode ser incorporado a praticamente todos os modelos de cadeira de rodas sem a necessidade de realizar qualquer alteração adicional na estrutura da cadeira.

2.2 Equipamentos comerciais

Comercialmente também já estão disponíveis diversos equipamentos para melhorar a acessibilidade de cadeirantes. Um exemplo são as rampas portáteis telescópicas, que permitem ao usuário escolher o comprimento adequado de acordo com o espaço disponível e a inclinação necessária para transpor o obstáculo, seja ele apenas um degrau ou uma escada de pequena dimensão. A Figura 2.5 ilustra o uso de um modelo de rampas portáteis, produzidas pela empresa sueca *Kvistberga Produkter*. Fabricadas em alumínio, as rampas possuem piso anti-derrapante e borracha anti-escorregamento na região de apoio do patamar superior (*Kvistberga Produkter, n/d*).



Figura 2.5: Exemplo de uso das rampas portáteis telescópicas (*Kvistberga Produkter, n/d*).

Outros acessórios comuns são as esteiras que podem ser adaptadas a cadeiras de rodas manuais. As esteiras da empresa alemã *Peter Auer GmbH*, por exemplo, permitem que, com o auxílio de uma pessoa, sejam transpostas escadas com inclinação de até 40° e degraus de altura máxima de 22 cm (*Peter Auer GmbH, n/d*). A Figura 2.6 mostra a esteira modelo TR-93B, que pode ser fixada na cadeira conforme sua altura, largura, distância ao adaptador e ângulo.

Em menor número, também é possível encontrar cadeiras para subir/descer escadas, como a *TopChair-S*, fabricada pela empresa francesa *Topchair*. Essas cadeiras podem subir escadas de inclinação de até $33,02^\circ$ com degraus de no máximo 20 cm de altura. No modo para subir escadas, a autonomia é de 300 degraus, enquanto que no modo normal a autonomia é de até 35 km (*Topchair SAS, n/d*). A Figura 2.7 ilustra essa cadeira para subir/descer escadas em funcionamento.



Figura 2.6: Esteira que pode ser acoplada à cadeira de rodas para torná-la capaz de subir escadas. Adaptado de Peter Auer GmbH (*n/d*).



Figura 2.7: Cadeira de rodas capaz de subir/descer escadas em funcionamento (Topchair SAS, *n/d*).

2.3 Norma ABNT NBR 9050

Uma outra forma de garantir a acessibilidade de usuários de cadeiras de rodas é através da normatização do acesso a edificações e espaços urbanos. No Brasil, essas regras são regulamentadas pela Norma ABNT NBR 9050:2004, que “estabelece critérios e parâmetros técnicos a serem observados quando do projeto, construção, instalação e adaptação de edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos às condições de acessibilidade” (ABNT, 2004). A norma foi elaborada com o objetivo de propiciar, à maior quantidade possível de pessoas, a utilização de maneira segura e autônoma do ambiente, independente da limitação de mobilidade ou percepção da pessoa.

Dentre os diversos pontos tratados na NBR 9050, o dimensionamento de rampas destinadas à acessibilidade é o mais importante para o desenvolvimento deste trabalho e será detalhado no capítulo seguinte.

Estrutura Mecânica

O dispositivo proposto para a solução do problema descrito no Capítulo 1 trata-se de uma plataforma móvel com duas rampas laterais, acopladas a uma estrutura que permite que elas sejam colocadas adequadamente sobre um degrau. A estrutura de locomoção, que será tratada em outro trabalho de conclusão de curso, deve ser capaz de se movimentar no plano e também de subir e descer um degrau. O acionamento do dispositivo será feito, inicialmente, por um botão presente na placa de controle. O carrinho poderá ser colocado apenas em cadeiras de rodas convencionais, pois somente esses modelos possuem espaço para abrigá-lo. As adaptações que devem ser feitas na cadeira para que ela abrigue o carrinho são consideradas simples mas, no entanto, não fazem parte do escopo deste trabalho.

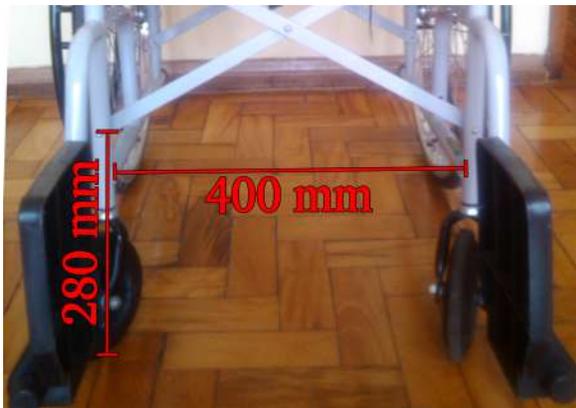
A configuração da plataforma móvel foi escolhida após a análise de várias possibilidades. Uma das soluções consideradas foi inspirada no trabalho de Pedro et al. (2009). A dificuldade encontrada nessa estrutura foi o recolhimento do dispositivo de maneira automática. Além disso, outros inconvenientes foram identificados. Como pode ser visto pela Figura 2.3, mostrada na Seção 2.1, os autores não consideraram na simulação os pedais da cadeira de rodas. Pela posição em que as rampas se encontram, ao acioná-las, elas iriam se chocar com esses pedais. O local onde as rampas foram colocadas também seria inadequado porque aumentaria a largura da cadeira, impossibilitando o cadeirante de passar por portas mais estreitas.

Outras alternativas foram analisadas e cada uma apresentou algum tipo de inviabilidade, mas a dificuldade do recolhimento automático do dispositivo era comum a todas elas. A partir dessa observação surgiu a ideia de desenvolver um dispositivo que pudesse se desacoplar da cadeira para posicionar as rampas no degrau e voltar para ela após a passagem do cadeirante, como uma plataforma móvel.

O dimensionamento do dispositivo foi feito levando em consideração as dimensões de uma cadeira de rodas modelo CDS 101, produzida pela empresa CDS. A cadeira, mostrada na Figura 3.1, é fabricada em aço carbono, com assento e encosto em *nylon*, dobrável, com freios laterais, rodas dianteiras de 06” e rodas traseiras de 24”. O seu peso é 14 Kg, enquanto sua capacidade máxima de carga é 85 Kg (CDS, 2013). As principais medidas usadas para o dimensionamento do carrinho são mostradas na Figura 3.2.



Figura 3.1: Cadeira de rodas da marca CDS, usada como referência para dimensionamento do carrinho.



(a) Detalhe da vista frontal da cadeira.



(b) Detalhe da vista lateral da cadeira.

Figura 3.2: Principais medidas usadas para o dimensionamento do dispositivo.

3.1 Projeto da estrutura para posicionamento das rampas

A primeira parte do projeto dessa estrutura consistiu no dimensionamento das rampas. Para determinar o tamanho delas, foi preciso definir primeiro as dimensões dos obstáculos a serem superados. Em pesquisa realizada, não se encontrou uma norma geral para padronização do tamanho dos meio-fios, mas verificou-se que uma medida comum para a altura deles é 150 mm. Para ser um pouco mais flexível e usual, definiu-se que o dispositivo deveria proporcionar à

cadeira a capacidade de transpor obstáculos de 100 a 200 mm de altura.

3.1.1 Dimensionamento de rampas para acessibilidade

De acordo com a Norma ABNT NBR 9050:2004, a inclinação das rampas destinadas à acessibilidade deve ser calculada através da seguinte equação:

$$i = \frac{h \times 100}{c} \quad (3.1)$$

em que i é a inclinação em porcentagem, h é a altura do desnível e c é o comprimento da projeção horizontal.

As inclinações admissíveis são relacionadas na Tabela 3.1 e na Tabela 3.2. A Tabela 3.2 deve ser considerada quando são esgotadas as possibilidades de soluções que atendam integralmente as inclinações estabelecidas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Dimensionamento de rampas (ABNT, 2004).

Inclinação admissível em cada segmento de rampa: i (%)	Desníveis máximos de cada segmento de rampa h (m)	Número máximo de segmentos de rampa
5,00 (1:20)	1,50	Sem limite
$5,00 (1:20) < i \leq 6,25 (1:16)$	1,00	Sem limite
$6,25 (1:16) < i \leq 8,33 (1:12)$	0,80	15

Tabela 3.2: Dimensionamento de rampas para situações excepcionais (ABNT, 2004).

Inclinação admissível em cada segmento de rampa: i (%)	Desníveis máximos de cada segmento de rampa h (m)	Número máximo de segmentos de rampa
$8,33 (1:12) \leq i < 10,00 (1:10)$	0,20	4
$10,00 (1:10) \leq i \leq 12,5 (1:8)$	0,075	1

3.1.2 Dimensionamento das rampas

O comprimento da projeção horizontal das rampas foi calculado aplicando-se a equação 3.1 para as alturas de 100 e 200 mm. Nessa equação, a variável inclinação foi substituída pelo valor apresentado na Tabela 3.2 correspondente a desníveis de até 0,20 m de altura. A partir desses resultados, calculou-se o comprimento efetivo das rampas usando trigonometria. Assim, para a altura de 100 mm as rampas deveriam ter um comprimento de 1,2 m e para a altura de 200 mm, o comprimento deveria ser de 2,4 m.

Os valores encontrados são impraticáveis por dois motivos: o cadeirante deveria se posicionar muito longe da calçada para acionar o dispositivo e o dispositivo deveria contar com um mecanismo para dobrar as rampas, o que seria complexo e caro de se implementar.

Analisando as dimensões da cadeira de rodas, verificou-se que um comprimento adequado para as rampas seria 600 mm. Para esse valor, a inclinação é de 16,6% a 33,3%, para degraus com altura de 100 a 200 mm. Mesmo não atendendo às especificações da ABNT, adotou-se o comprimento de 600 mm para as rampas. Nessas dimensões, o cadeirante ainda tem condições de subir a rampa, mas precisará aplicar mais força para conseguir fazê-lo.

As outras dimensões das rampas foram determinadas a partir da consulta a tabelas de fabricantes de perfis do tipo U. Esse tipo de perfil foi escolhido por causa das abas laterais, que impedem que as rodas da cadeira saiam da rampa no momento da passagem do cadeirante, oferecendo mais segurança a ele.

Com o objetivo de verificar se as rampas resistiriam à passagem do cadeirante, foi feita uma análise estática utilizando-se um *software* de simulação 3D. A Figura 3.3 mostra as dimensões do perfil simulado. A espessura e é um parâmetro variável.

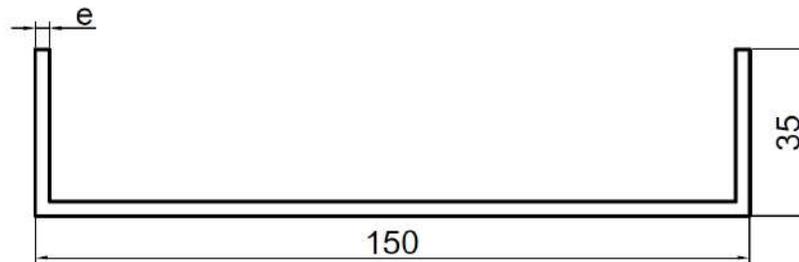


Figura 3.3: Dimensões, em milímetros, do perfil U adotadas nas simulações.

Em uma primeira simulação, foi considerado o aço ABNT 1020 como material para a fabricação, devido ao seu custo reduzido. A espessura adotada foi de 1,9 mm, que é o menor valor encontrado nas tabelas consultadas. As duas extremidades foram consideradas fixas pois elas estarão apoiadas durante a passagem do cadeirante. A carga aplicada é relativa ao peso da cadeira de rodas (14 Kg) e ao peso de uma pessoa de até 85 Kg, e foi aplicada de forma concentrada no centro da rampa, que é o local onde há maior solicitação. É bom ressaltar aqui que a simulação realizada é apenas orientativa, uma vez que o modelo utilizado é bem simplificado em relação à estrutura real.

A Figura 3.4 mostra o resultado da simulação para o aço ABNT 1020. O fator de segurança mínimo encontrado foi 6,36 e a deformação máxima foi $1,850 \times 10^{-4}$ mm. Ou seja, o material resiste bem aos esforços aos quais ele seria submetido. Se fosse fabricada em aço, cada uma das rampas pesaria 1,95 Kg.

Pensando em diminuir o peso das rampas, a espessura do perfil foi reduzida para 1 mm. Nessas condições, o peso reduziu quase pela metade: de 1,95 Kg passou para 1,03 Kg. Ainda assim, o material resiste relativamente bem. O fator de segurança mínimo é 2,38 e a deformação máxima é $3,874 \times 10^{-4}$ mm.

Outra simulação foi realizada trocando-se o aço por uma liga de alumínio resistente. A liga escolhida foi a ABNT 5052 F Naval. Nesse caso, foi considerada uma espessura de 3 mm para o perfil. O resultado da simulação para a liga de alumínio, considerando as mesmas condições de carregamento anteriores, é mostrado na Figura 3.5. O fator de segurança mínimo foi 2,87 e a

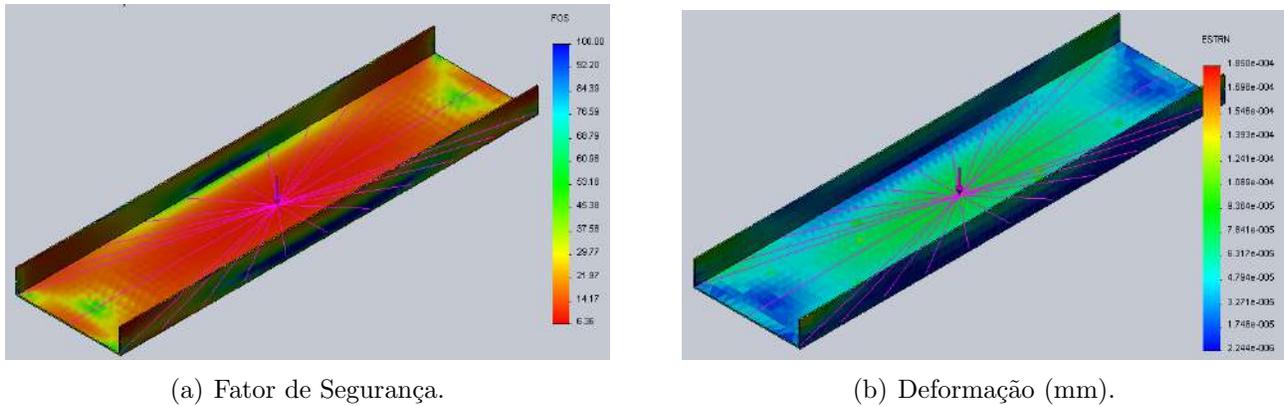


Figura 3.4: Resultado da simulação considerando o aço ABNT 1020 como material de fabricação.

deformação máxima foi $2,809 \times 10^{-4}$ mm, valores bem próximos aos encontrados na simulação com o aço em sua menor espessura. O peso, por sua vez, foi exatamente o mesmo: 1,03 Kg.

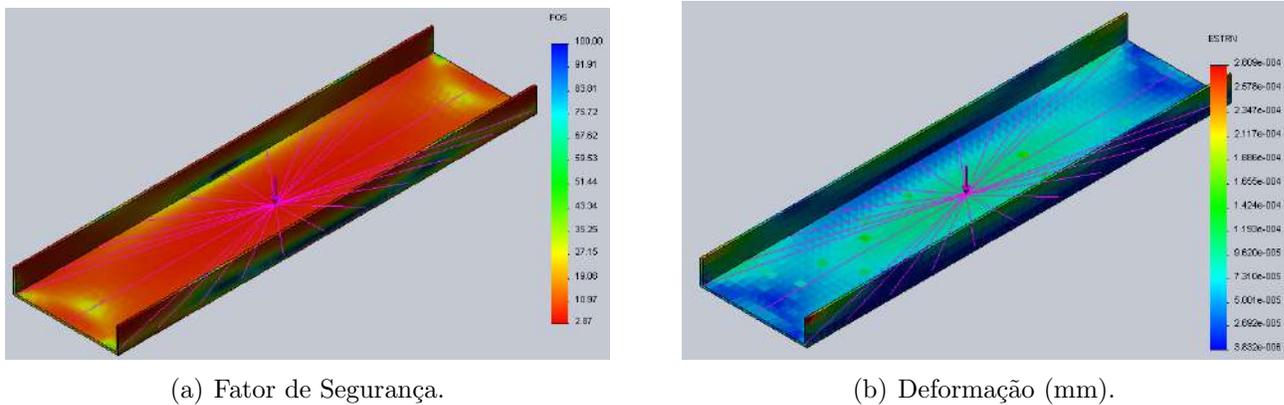


Figura 3.5: Resultado da simulação considerando a liga de alumínio ABNT 5052 F Naval como material de fabricação.

Analisando os resultados encontrados, a melhor opção parece ser o perfil de aço ABNT 1020 com 1 mm de espessura, por ser mais barato e possuir o mesmo peso que o de alumínio. O inconveniente, nesse caso, é a falta de perfis tabelados com a espessura especificada.

A opção escolhida para este trabalho, no entanto, foi o reaproveitamento de um tubo retangular de alumínio que estava disponível no laboratório de Robótica. O tubo foi cortado nas dimensões especificadas no próprio laboratório. Cada uma das rampas obtidas pesa cerca de 0,85 Kg.

A escolha do material utilizado é válida porque este trabalho trata apenas do desenvolvimento de um protótipo, e não de um produto final. Isso significa que as rampas não sofrerão o desgaste causado pelo uso contínuo, o que permite que sejam utilizados materiais de menor resistência.

3.1.3 Estrutura para posicionamento das rampas

Existem duas localizações possíveis para as rampas no carrinho. Uma seria sobre ele e a outra, nas laterais. Independente disso, é preciso realizar três tipos de movimentos para posicioná-las no meio-fio: colocá-las em frente às rodas da cadeira, fornecer a inclinação necessária de acordo com o tamanho do degrau e regular a altura para que uma extremidade encoste no chão e a outra no obstáculo. Combinar esses três movimentos é difícil, principalmente quando o espaço disponível para acomodar as estruturas que realizarão essas movimentações é pequeno. Além disso, é preciso assegurar que a estrutura para posicionamento não interfira na estrutura do sistema de locomoção.

Considerando os movimentos que devem ser executados para o posicionamento das rampas, foi projetada a estrutura mostrada de forma simplificada na Figura 3.6. Os mecanismos responsáveis por cada um dos movimentos estão destacados em cores diferentes. As Figuras 3.7 e 3.8 mostram a estrutura detalhada, com todos os componentes e elementos de fixação.

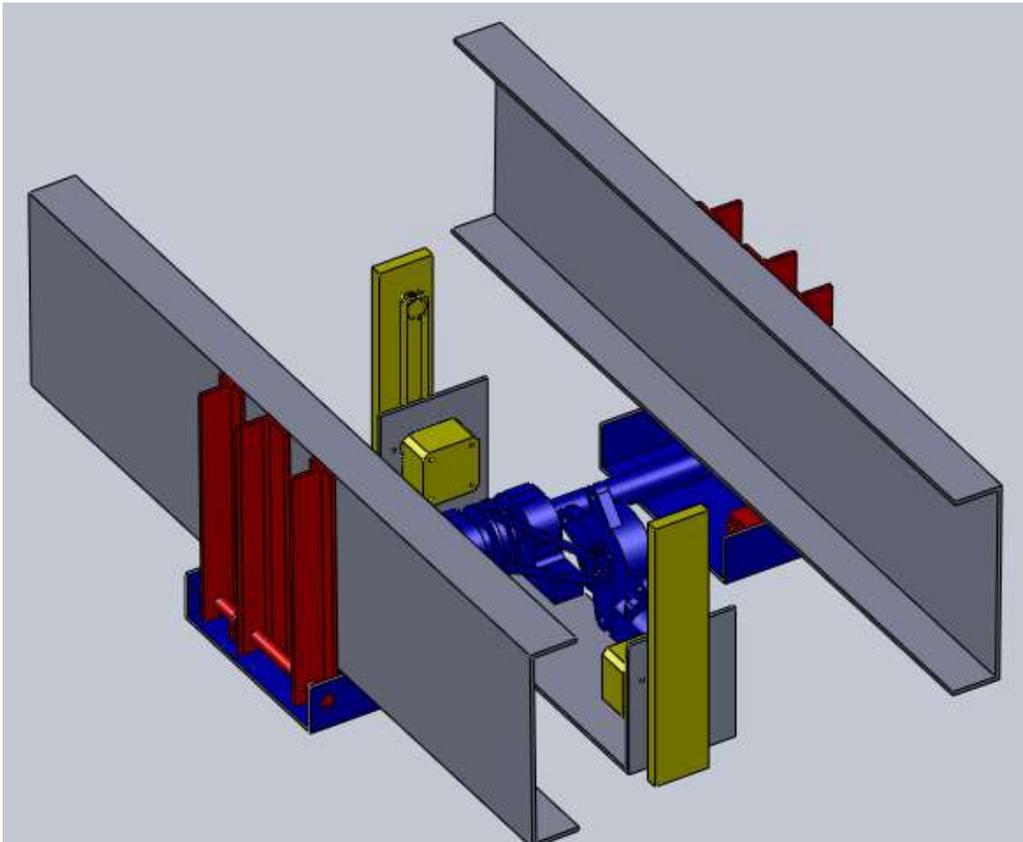


Figura 3.6: Visão geral simplificada da estrutura para posicionamento das rampas.

Decidiu-se que as rampas ficariam na lateral do carrinho, pois esta pareceu a solução mais simples para colocá-las em frente às rodas da cadeira. Para realizar essa tarefa, um motor deve ser capaz de girar as rampas 90° para a direita, enquanto outro motor gira as rampas 90° para a esquerda. Como as rampas são consideradas leves, para a execução desses movimentos foram escolhidos dois servomotores de alto torque. A Figura 3.9 mostra detalhes da estrutura para abertura das rampas.

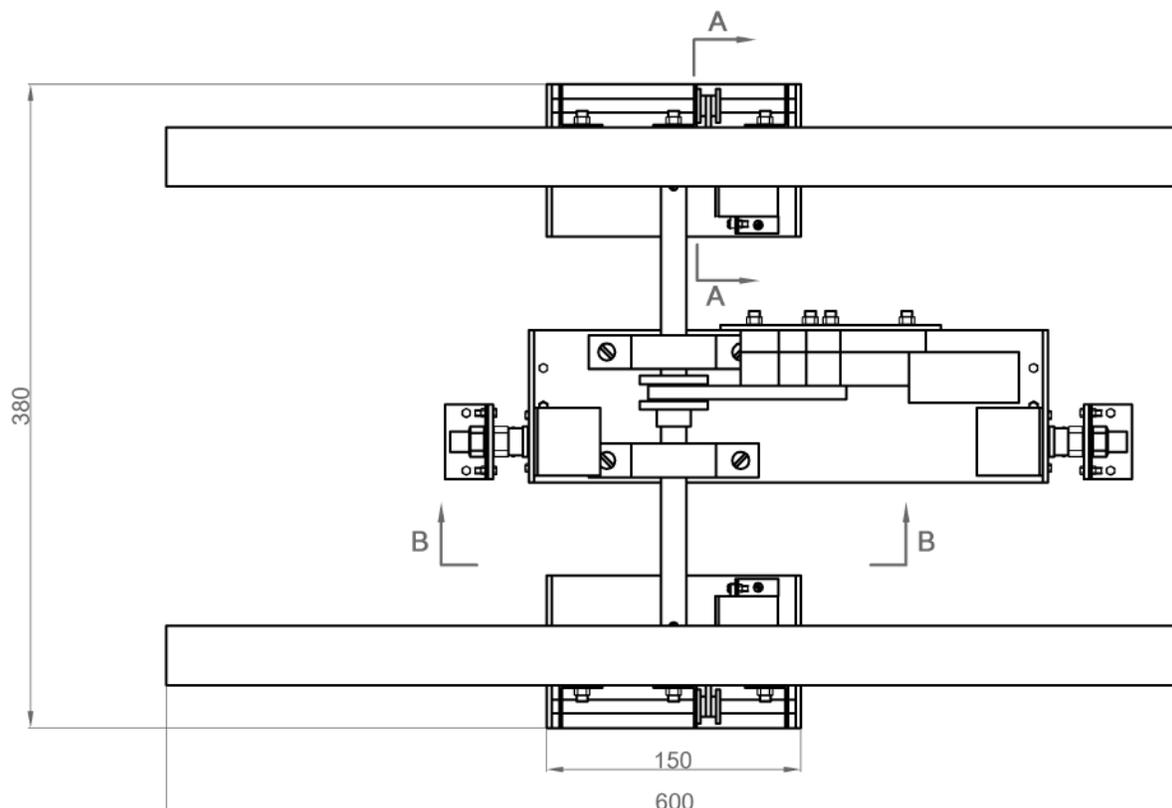


Figura 3.7: Vista de planta da estrutura projetada para posicionamento das rampas.

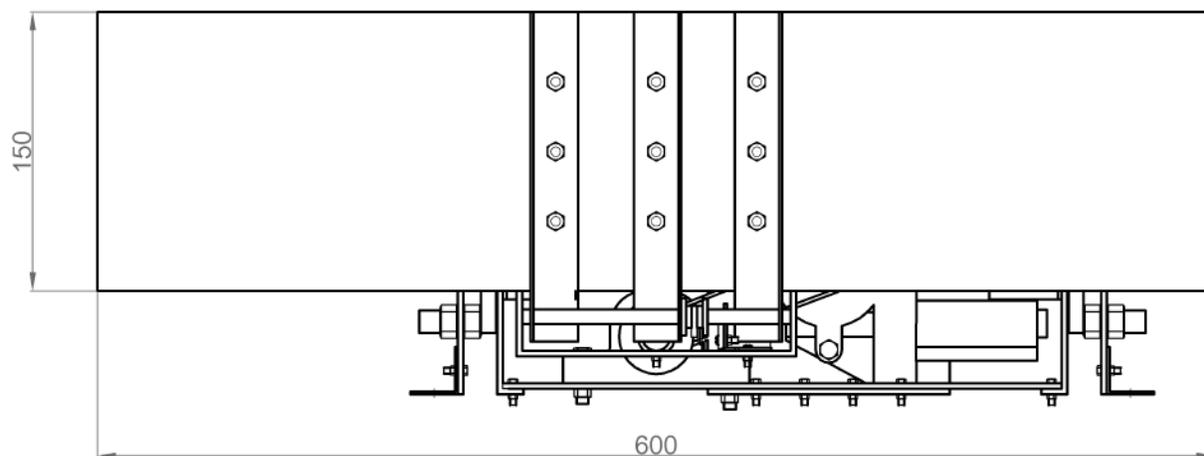


Figura 3.8: Vista lateral da estrutura projetada para posicionamento das rampas.

A inclinação necessária é dada por um eixo preso na mesma estrutura que faz a abertura das rampas. O movimento desse eixo é gerado por uma polia conectada através de uma correia

CORTE A-A

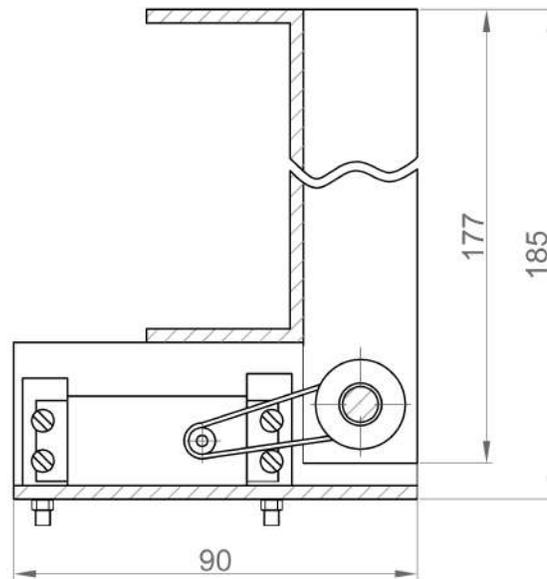


Figura 3.9: Detalhes da estrutura para abertura das rampas com suas dimensões principais (mm).

CORTE B-B

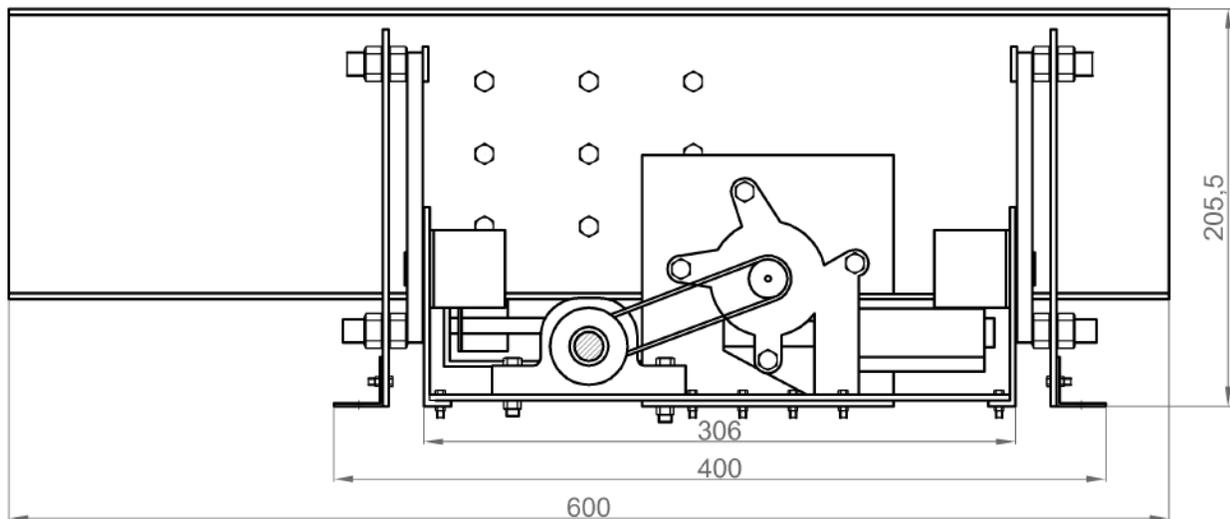


Figura 3.10: Estrutura projetada para posicionamento das rampas: corte B-B.

a um motor de corrente contínua, conforme ilustrado na Figura 3.10. Esse eixo, que sustenta as rampas, é apoiado em apenas um local da parte de abertura das rampas. Este é um ponto

crítico do projeto. Considerando as rampas, os motores, o eixo e os mancais, a estrutura pesa cerca de 5 Kg. O ideal é que a estrutura possuísse mais pontos de apoio. Entretanto, todas as opções consideradas entram em conflito com a estrutura de locomoção do carrinho.

A princípio, a regulagem da altura para que ambas as extremidades das rampas permaneçam apoiadas seria realizada pelo deslocamento vertical por meio de guias lineares. No entanto, para reduzir os custos, essas guias foram substituídas por uma correia conectada a um motor de passo. A correia é fixa e funciona como uma cremalheira para a engrenagem do motor. Detalhes dessa estrutura podem ser vistos nas Figuras 3.7 e 3.10.

3.1.4 Construção do protótipo

O protótipo está sendo construído em alumínio e *nylon*. Apesar de possuírem preço mais alto que o aço, esses materiais foram escolhidos por serem mais leves.

As peças estão sendo usinadas nos próprios laboratórios do CEFET *Campus* Divinópolis e a conclusão da montagem mecânica do dispositivo está prevista para abril de 2014.

Projeto Eletrônico

O projeto eletrônico da plataforma móvel foi dividido em duas partes: circuito de controle e circuitos de potência. A Figura 4.1 mostra um diagrama simplificado dos principais elementos da eletrônica do carrinho.

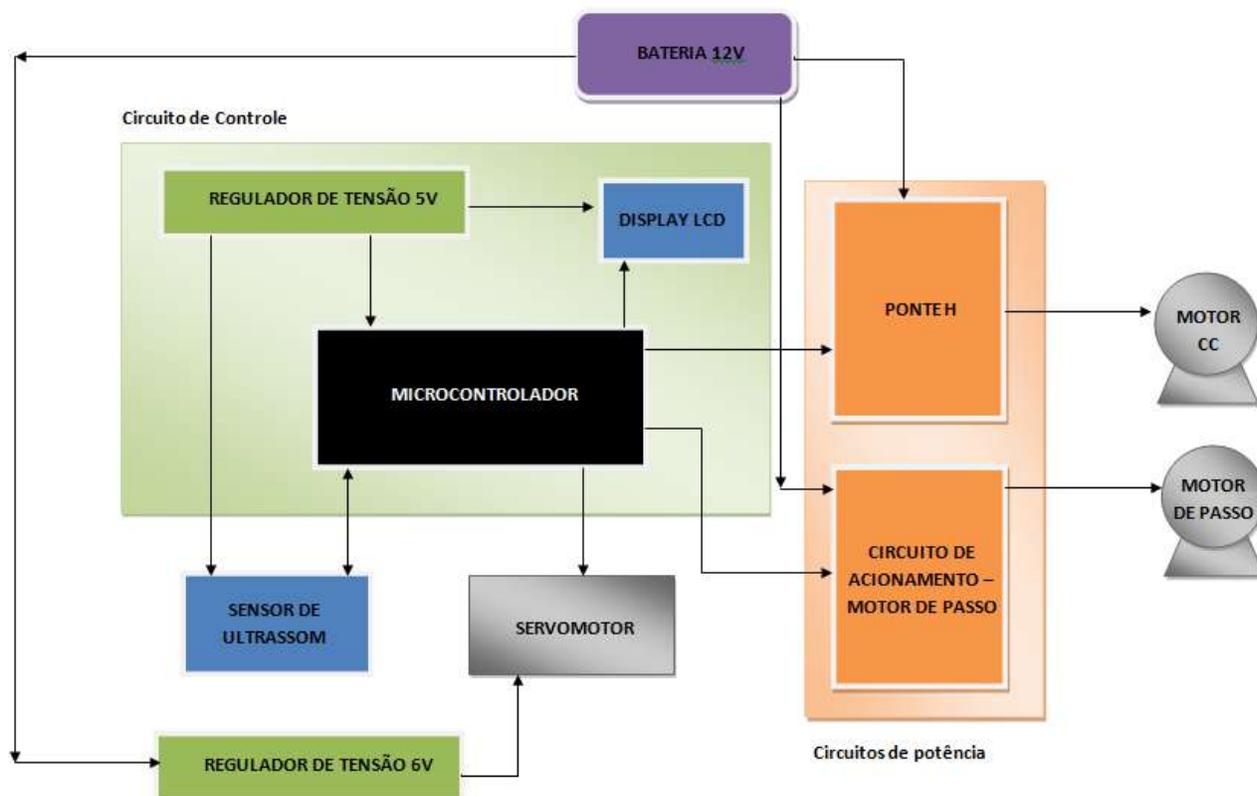


Figura 4.1: Diagrama simplificado da eletrônica do carrinho.

Como mostrado pelo diagrama da Figura 4.1, neste trabalho são usados três tipos de motores: motor de corrente contínua, motor de passo e servomotor.

Um motor de corrente contínua é utilizado na estrutura para posicionamento das rampas. Outros três motores desse tipo devem ser usados na estrutura para locomoção da plataforma

móvel. A Figura 4.2 mostra o motor de corrente contínua que é usado para posicionamento das rampas. Este é um motor de vidro elétrico que deve ser alimentado por 12V.



Figura 4.2: Motor de corrente contínua que será usado para posicionamento das rampas.

Os motores de passo são usados na estrutura de posicionamento das rampas, para fazer o movimento de compensação da altura. A Figura 4.3 mostra os motores de passo conseguidos para este trabalho. Eles foram reaproveitados de impressoras antigas.

Esses motores são do tipo unipolar, pertencentes à categoria NEMA 17.



Figura 4.3: Motores de passo reaproveitados de impressoras antigas.

O servomotor usado no sistema para medição da altura do degrau e também para a abertura das rampas é mostrado na Figura 4.4. Trata-se de um servomotor de alto torque, alimentado por 6V, que foi adquirido inicialmente somente para ser usado na tarefa de abertura das rampas.

4.1 Circuito de controle

O circuito de controle é o responsável por enviar e receber os sinais para o acionamento e o controle do carrinho. O seu principal componente é o microcontrolador PIC16F877A, cujas características mais importantes são (Microchip, 2003):



Figura 4.4: Servomotor usado para posicionamento do sensor ultrassônico e para a abertura da rampas.

- frequência de operação de 20 MHz
- 8K de memória de programação *flash* (palavras de 14-bit)
- 368 *bytes* de memória de dados
- 256 *bytes* de memória EEPROM
- portas de entrada/saída: A, B, C, D, E
- 3 *timers*
- 2 módulos *Capture/Compare/PWM*
- 8 canais de entrada para módulo A/D 10-bit
- 2 comparadores analógicos
- comunicação serial e paralela.

A alimentação do PIC é fornecida por um regulador de tensão LM7805 que recebe 12V da bateria e fornece 5V estáveis em sua saída. Para proteger o circuito da inversão de polaridade na alimentação, foi adicionado um diodo na entrada dos reguladores de tensão. Um capacitor também foi colocado para a redução de possíveis ruídos.

A placa desenvolvida conta com um botão de *reset* e outro botão que, no momento, é utilizado para teste das funções implementadas. Cinco pinos foram reservados para a gravação *in-circuit*, para evitar que o microcontrolador seja removido do circuito a cada nova gravação. Além disso, a placa também possui um *display* LCD para visualização dos dados adquiridos pelo sensor ultrassônico. O *display* não possui utilidade para o usuário final. Ele serve apenas para auxiliar na verificação do funcionamento do sensor. Optou-se por mantê-lo na versão final porque ele pode ser útil nas etapas de teste do outro trabalho de conclusão de curso que faz parte deste projeto. Nessa placa foram adicionados vários terminais para a conexão de motores, sensores e outros dispositivos que possam vir a ser incorporados em trabalhos futuros.

Os sinais para acionamento dos servomotores de 6V são direcionados para uma outra placa, que possui um regulador LM7806 para fornecer a tensão de alimentação requerida pelos servos, além de transistores e resistores que auxiliam no acionamento desses motores.

A Figura 4.5 mostra a placa de controle desenvolvida. A placa para acionamento dos servomotores é mostrada na Figura 4.6. Os diagramas esquemáticos das placas são mostrados no Apêndice A.

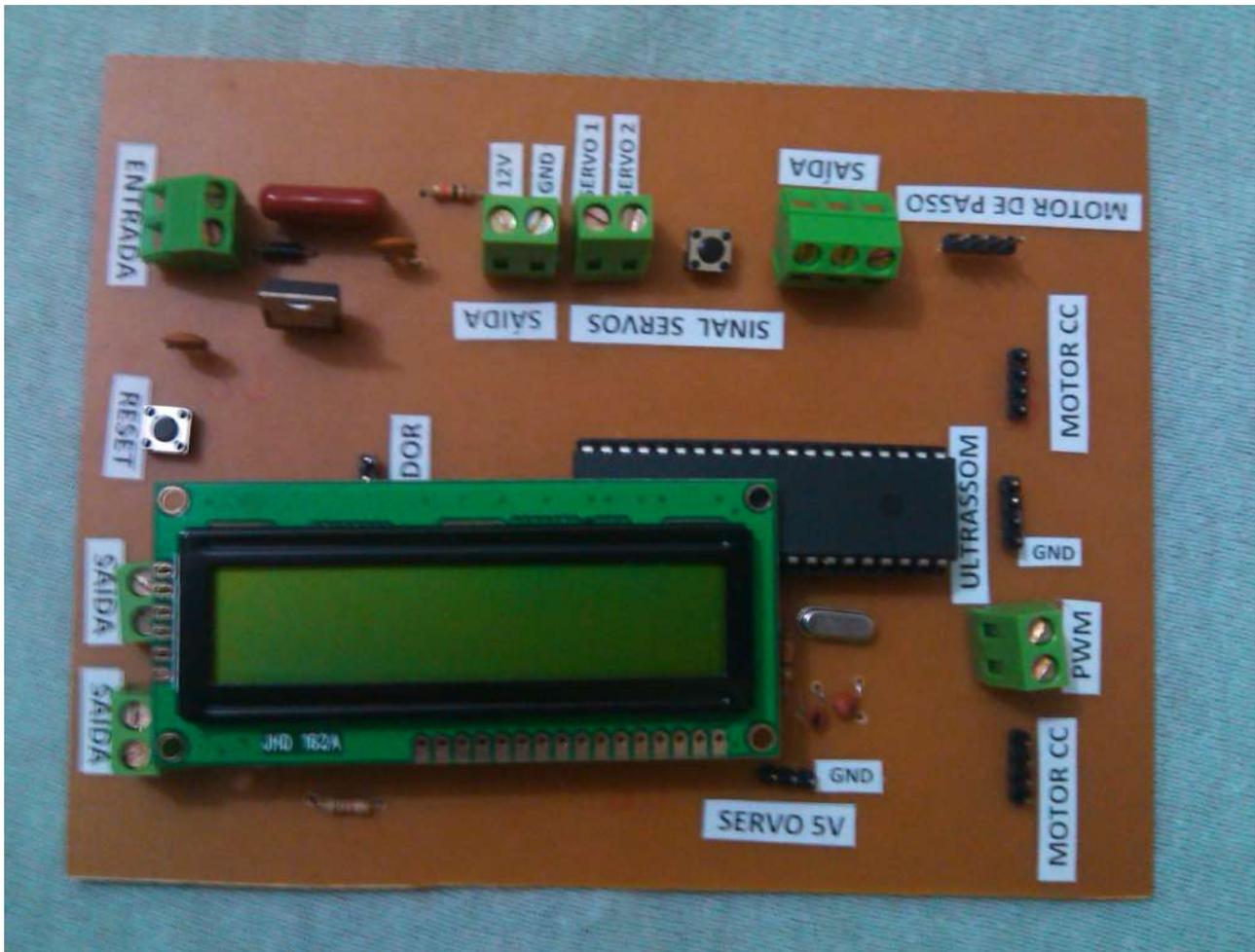


Figura 4.5: Placa de controle desenvolvida.



Figura 4.6: Placa para acionamento dos servomotores de 6V.

4.2 Circuitos de potência

Os circuitos de potência fazem a interface entre o microcontrolador e os componentes de potência (motores). Neste trabalho foram desenvolvidos dois circuitos de potência, sendo um para o acionamento de motores de corrente contínua e o outro para acionamento de motores de passo.

4.2.1 Ponte H

A ponte H é um circuito que, a partir de um sinal elétrico de baixa potência, é capaz de controlar desde o sentido de giro até a potência e a velocidade de motores de corrente contínua. Sua configuração básica é composta por quatro elementos de chaveamento dispostos como mostrado na Figura 4.7.

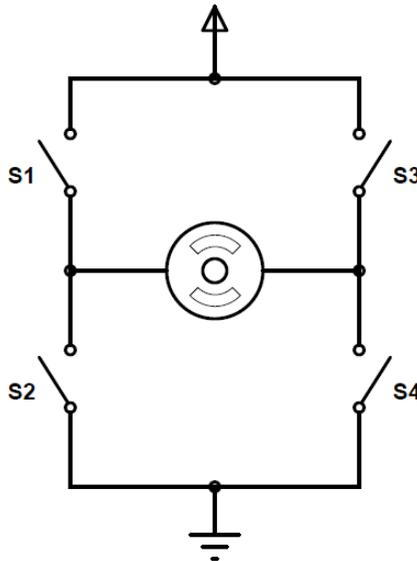


Figura 4.7: Configuração básica de um circuito ponte H.

O modo de funcionamento da ponte H é bem simples. Deve-se ter duas chaves energizadas por vez para fornecer a tensão de alimentação ao motor. Se S1 e S4 são energizadas, o lado esquerdo do motor estará conectado à fonte de alimentação, enquanto o lado direito está ligado ao terra. Por outro lado, se S2 e S3 são energizadas, o lado esquerdo do motor estará ligado à fonte e o lado direito, ao terra. Assim, a cada etapa de chaveamento, a corrente flui num sentido, permitindo o controle do sentido de giro do eixo do motor.

Pela observação da Figura 4.7 pode-se perceber que as chaves de um mesmo lado da ponte não podem ser acionadas ao mesmo tempo, pois isso causaria um curto circuito na fonte de alimentação. Essa condição é conhecida como *shoot-through*.

Os elementos de chaveamento de uma ponte H podem ser transistores bipolares (TBJs), MOSFETs, ou até mesmo relés. Neste trabalho, optou-se por montar a ponte com MOSFETs do tipo N. Esse tipo de transistor foi escolhido porque ele é capaz de fornecer correntes mais elevadas.

O circuito de acionamento dos MOSFETs deve ser capaz de fornecer os níveis de tensão e de corrente necessários para que o transistor entre e saia de condução adequadamente. Considerando um MOSFET na posição da chave S1, por exemplo, deve-se ter o pino *drain* ligado à fonte de alimentação e o *source* conectado ao terminal do motor. O pino *gate* irá receber o sinal que controlará o dispositivo. Para que o MOSFET opere na região desejada, a tensão aplicada ao *gate* (V_G) tem que ser maior que a tensão medida entre os terminais *gate* e *source* (V_{GS}) e maior que a tensão do pino *drain* (V_D). Como o *drain* está ligado à fonte de alimentação, que é a maior tensão do circuito, para que a condição $V_G > V_D$ seja atingida, é necessário usar uma configuração chamada *charge – pump*, ou bomba de carga, que normalmente consiste num circuito dobrador de tensão. Essa estratégia pode ser inadequada em alguns casos, porque existe um valor limite para a tensão aplicada ao *gate*. Se esse limite for excedido, o componente esquentará muito, levando à sua queima.

Outro problema comum no acionamento da ponte é a situação *shoot-through*. Os tempos para que o MOSFET entre e saia de condução são diferentes. Em geral, o tempo de desativação é maior que o tempo de ativação. Dependendo da frequência de chaveamento, pode acontecer de um par de MOSFETs não estar totalmente desligado quando o outro par é acionado. Nessa situação, haverá um curto-circuito instantâneo.

A partir dessas características, percebe-se que o circuito de acionamento da ponte H não é algo trivial. Existem alguns *drivers* disponíveis comercialmente que tratam todos os pontos citados aqui, além de proporcionar outros elementos de proteção.

Placa projetada

A ponte H projetada é composta por quatro MOSFETs IRF3205, que podem suportar tensões de até 55V e correntes de até, teoricamente, 110A (International Rectifier, 2001). No entanto, a corrente é limitada pelo tipo de encapsulamento do transistor, sendo o valor real de no máximo 75A.

O acionamento da ponte é realizado por um *driver* de ponte completa, o HIP4080A, fabricado pela Intersil. O *driver* permite que sejam controlados cada par de MOSFETs a partir de quatro sinais de entrada. Dois sinais são usados para habilitação e desativação do circuito, enquanto os outros dois são usados para determinar qual dos lados da ponte será ativado. Uma combinação de técnicas de *bootstrap* e *charge-pump* é utilizada para alimentar o circuito que aciona as metades superiores da ponte H. A técnica de *bootstrap* fornece a alta corrente instantânea necessária para ligar os dispositivos de potência, enquanto a bomba de carga proporciona a tensão de polarização adequada para os MOSFETs. O *driver* ainda permite a programação de um tempo de atraso na ativação dos transistores, garantindo assim que não haja *shoot-through* (Intersil, 2001). Um dos grandes diferenciais deste CI é a presença de um comparador interno, que permite a geração de um sinal PWM no próprio circuito. A Figura 4.8 mostra o diagrama de blocos do circuito integrado, em que está representado o esquema de metade do circuito.

A pinagem do HIP4080A é mostrada na Figura 4.9. Para entrar em funcionamento, o *driver* precisa de alguns componentes externos. As fontes de *bootstrap* são fornecidas pelos pinos BHB e ABH, onde devem ser conectados o catodo de um diodo e o lado positivo de um capacitor. A maneira como deve ser feito o dimensionamento do capacitor é mostrada em Intersil (2001).

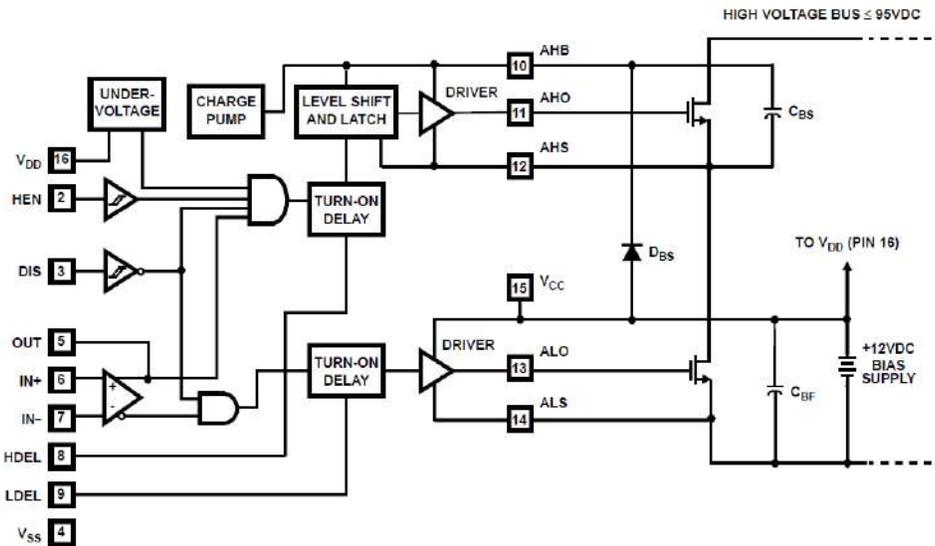


Figura 4.8: Diagrama de blocos do *driver* HIP4080A. Fonte: Intersil (2001).

Um ponto importante, mas que não está claro na nota de aplicação, é quanto ao tipo de diodo a ser utilizado. Durante a montagem do circuito, percebeu-se que o diodo de *bootstrap* precisa ser do tipo recuperação ultra-rápida. Se o tempo de recuperação reversa do diodo for grande, o CI não irá funcionar, como aconteceu em diversos testes realizados.

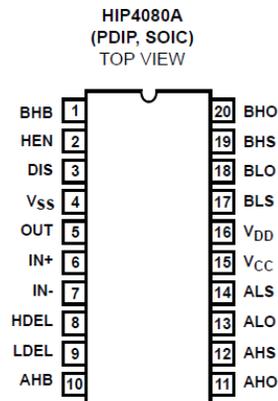


Figura 4.9: Pinagem do *driver* HIP4080A (Intersil, 2001).

Entre os pinos da fonte de alimentação, VSS e VDD, recomenda-se utilizar um capacitor cerâmico cuja capacitância esteja na faixa de $0.22\mu F$ a $0.5\mu F$. O capacitor é usado para filtrar possíveis sinais de ruído.

Os terminais de *gate* dos MOSFETs devem ser conectados aos pinos BHO, BLO, AHO e ALO. Para controlar a corrente aplicada ao MOSFET, resistores devem ser colocados entre o *gate* e os pinos anteriormente citados. Não há nenhuma informação sobre o dimensionamento desses resistores. Neste trabalho, o valor dos resistores foi determinado empiricamente, observando-se a tensão de saída aplicada ao motor e a temperatura do MOSFET. O melhor resultado foi encontrado quando utilizados resistores de 560Ω . O tempo de atraso na ativação dos transistores

é definido através de resistores conectados aos pinos HDEL e LDEL. A Figura 4.10 mostra a relação entre o valor do resistor e o tempo de atraso inserido. O ideal é que o tempo de atraso seja maior que o tempo de desativação do transistor utilizado. O tempo de desativação dos MOSFETs usados neste trabalho é de 50 ns (International Rectifier, 2001). Assim, um resistor de $147k\Omega$, por exemplo, seria suficiente. No entanto, optou-se por utilizar resistores de $249k\Omega$ por segurança, porque os resistores conectados ao *gate* dos MOSFETs podem alterar os tempos de ativação e desativação do componente.

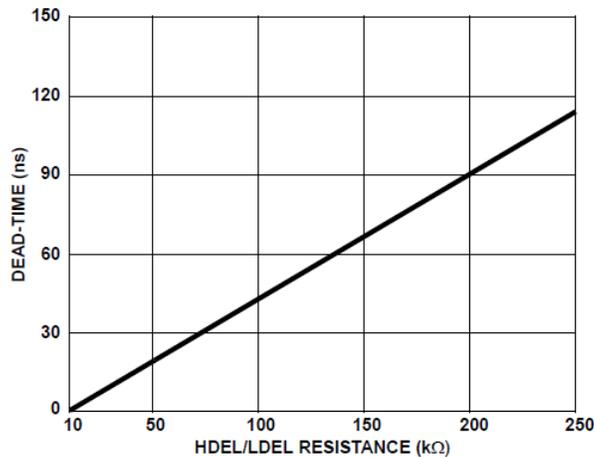


Figura 4.10: Relação entre o valor do resistor e o tempo de atraso inserido na ativação do transistor (Intersil, 2001).

A Figura 4.11 mostra a placa da ponte H desenvolvida. Além dos componentes citados, também foram incluídos diodos zener entre os terminais de *drain* e *source* de cada MOSFET para oferecer maior proteção. Dissipadores de calor serão colocados nos MOSFETs para garantir o seu funcionamento, minimizando assim os riscos de que os mesmos venham a queimar. O diagrama esquemático do circuito pode ser visto no Apêndice A.

Tanto o CI quanto o motor são alimentados pelos 12 V da bateria. O circuito recebe quatro sinais de entrada: PWM (HEN), desativação (DIS) e dois sinais para determinar o sentido de giro do motor (IN+ e IN-). A placa de controle, no entanto, fornece apenas três sinais: HEN, DIS e IN. Os sinais IN+ e IN- são obtidos a partir da inversão do sinal IN, em uma placa que possui um circuito inversor CD4049. Esse CI foi colocado em uma placa à parte porque quando adicionado ao esquemático da placa de controle ou da placa da ponte H, o programa usado para elaboração do *layout* das placas não consegue fazer o roteamento das trilhas. A Figura 4.12 mostra a placa que fornece os sinais para determinação do sentido de giro do motor. A placa foi desenvolvida para alimentar até quatro circuitos de ponte H.

A Figura 4.13 ilustra o funcionamento adequado da ponte H projetada, ao comparar a tensão de alimentação do circuito com a tensão aplicada ao motor. Na imagem, a tensão do motor está com o valor máximo maior que o da tensão de alimentação. Essa medida equivocada é causada por um *ripple* presente na tensão do motor. Desconsiderando isso, pode-se perceber que os valores das duas tensões são praticamente o mesmo. A perda verificada no componente foi de aproximadamente 1V.

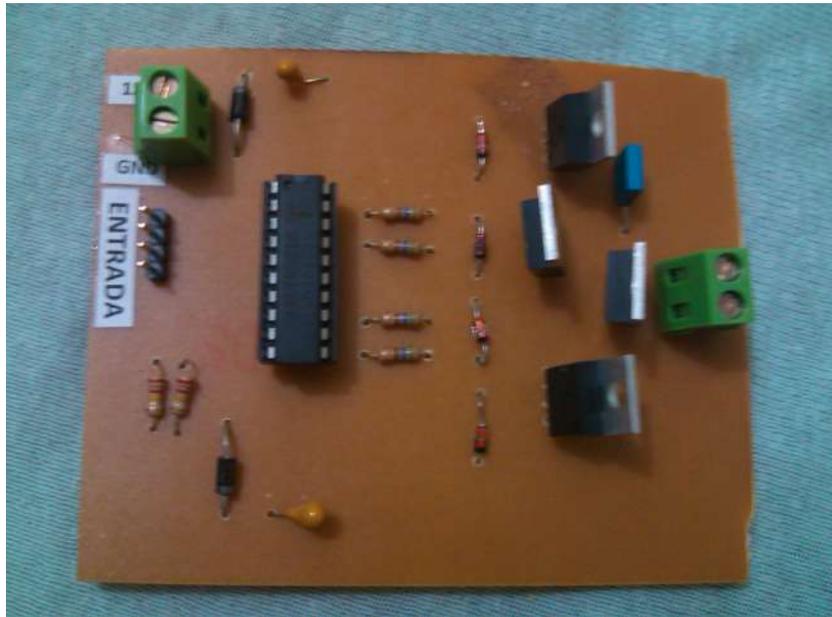


Figura 4.11: Placa da ponte H desenvolvida.

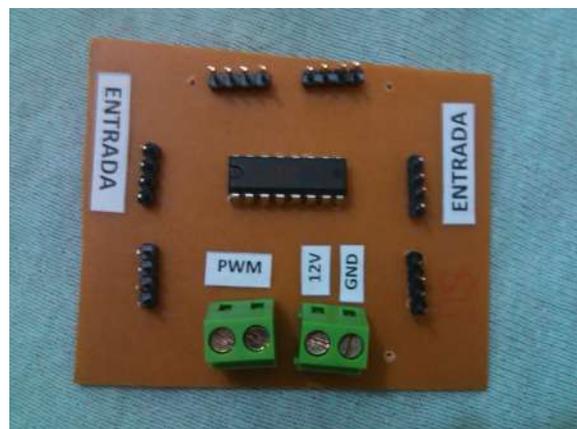
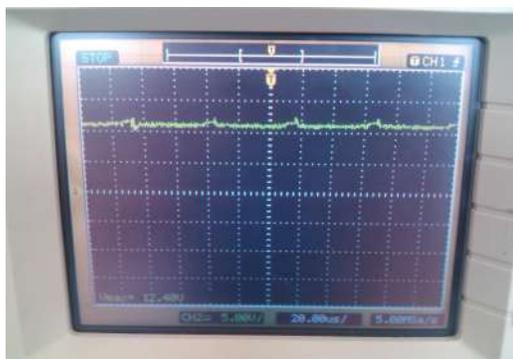
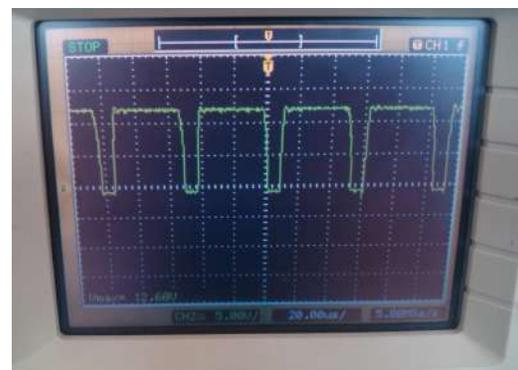


Figura 4.12: Placa que fornece os sinais para determinação do sentido de giro do motor.



(a) Tensão de alimentação.



(b) Tensão aplicada ao motor.

Figura 4.13: Tensão de alimentação e tensão aplicada ao motor.

4.2.2 Circuito para acionamento de motor de passo

O circuito para acionamento do motor de passo projetado é composto por quatro transistores que funcionam como chaves. Quando o transistor recebe um pulso de nível alto em sua base, ele entra em condução, fazendo circular corrente na bobina correspondente.

São usados transistores TIP122, que possuem corrente de coletor de 5A (Fairchild Semiconductor, 2008).

Na base de cada transistor é colocado um resistor para limitar a corrente. Diodos de roda livre também são colocados como forma de proteção, pois quando o transistor é desativado, a bobina correspondente se opõe à variação da corrente, causando uma sobretensão no transistor, o que pode levar à queima do componente.

A Figura 4.14 mostra a placa desenvolvida para acionamento dos motores de passo. O circuito é alimentado pelos 12V da bateria. O diagrama esquemático do circuito é mostrado no Apêndice A.

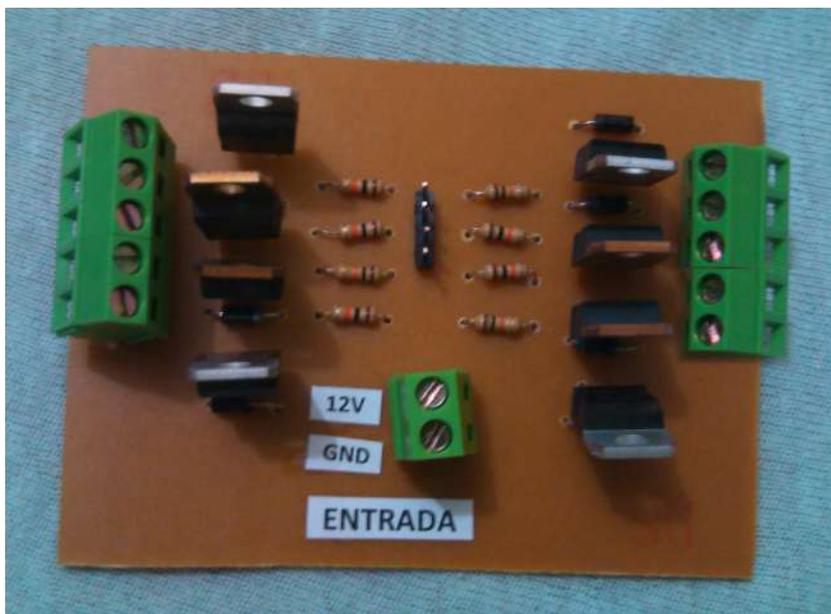


Figura 4.14: Placa desenvolvida para acionamento dos motores de passo.

A placa foi desenvolvida considerando que serão usados dois motores em anti-paralelo. Sendo assim, a placa pode receber o mesmo sinal do microcontrolador para acionar os motores. Para inverter o sentido de giro, basta inverter a sequência dos trens de pulsos enviados ao motor, o que é tratado na saída da placa.

Sistema de Identificação e Medição da Altura do Degrau

O sistema para identificação e medição da altura do degrau é baseado no uso de um sensor de ultrassom conectado a um servomotor. Os sensores ultrassônicos têm sido amplamente empregados em aplicações que procuram facilitar o controle de cadeiras de rodas motorizadas, como descrito em Fezari and Khati (2008). As vantagens de sua utilização são a grande disponibilidade de diferentes modelos a um preço acessível e a boa precisão do sensor para uma ampla faixa de funcionamento.

5.1 Princípio de funcionamento do sensor ultrassônico

O sensor ultrassônico é um tipo de sensor que determina a distância de um objeto localizado à sua frente a partir do princípio da reflexão de ondas sonoras.

O sensor possui um emissor e um receptor de ondas sonoras de alta frequência. Um pulso de curta duração é gerado por um circuito oscilador. Se houver um obstáculo na direção deste pulso, haverá a reflexão dele. O eco produzido é então detectado pelo receptor do sensor. O tempo entre a emissão e a reflexão das ondas sonoras é medido. Conhecendo-se a velocidade do som no meio, é possível calcular a distância em que se encontra o objeto.

A precisão da medida encontrada pelo sensor está relacionada, entre outros fatores, às características do formato e posicionamento do objeto. Superfícies planas refletem o som praticamente na mesma direção em que ele foi emitido. Superfícies muito irregulares, por outro lado, podem provocar diferentes padrões de reflexão. Da mesma forma, objetos posicionados em ângulo grande em relação ao emissor, podem refletir as ondas para longe do receptor, impossibilitando a detecção do eco.

Neste trabalho é usado o módulo ultrassônico HC-SR04. Este sensor é capaz de identificar objetos que estejam a uma distância de 20 a 400 mm e com um ângulo máximo de 15° em relação ao sensor, com precisão de aproximadamente 3 mm (Cytron Technologies, 2013). O pulso emitido deve ter pelo menos 10 μ s de duração. A tensão de alimentação do sensor é 5V.



Figura 5.1: Sensor ultrassônico usado no trabalho.

5.2 Sistema implementado

Como mencionado no início deste capítulo, o sistema para identificação e medição da altura do degrau é baseado em um sensor ultrassônico conectado a um servomotor, conforme ilustra a Figura 5.2. A distância do sensor ao chão h_1 é conhecida, assim como o ângulo θ do servomotor. A distância d é fornecida pelo sensor de ultrassom. A partir desses dados, a altura h do degrau pode ser calculada por trigonometria:

$$h = (d \times \sin \theta) + h_1 \quad (5.1)$$

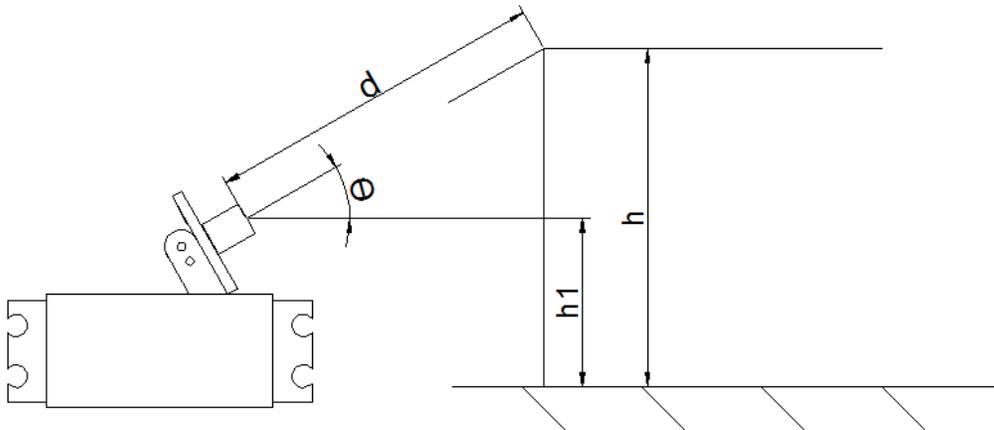


Figura 5.2: Sensor de ultrassom conectado a um servo motor para identificação e medição da altura do degrau.

O funcionamento básico do sistema é simples. Primeiramente, o sensor detecta a presença do degrau. Depois disso, o servo gira num determinado ângulo θ . A distância entre o sensor e o degrau é determinada. Esse procedimento é repetido até que não seja mais identificado o obstáculo pelo sensor. São armazenados o último ângulo e a última distância medidos. A altura é calculada pela Equação 5.1.

A Figura 5.3 mostra o fluxograma da rotina para determinação da altura do degrau.

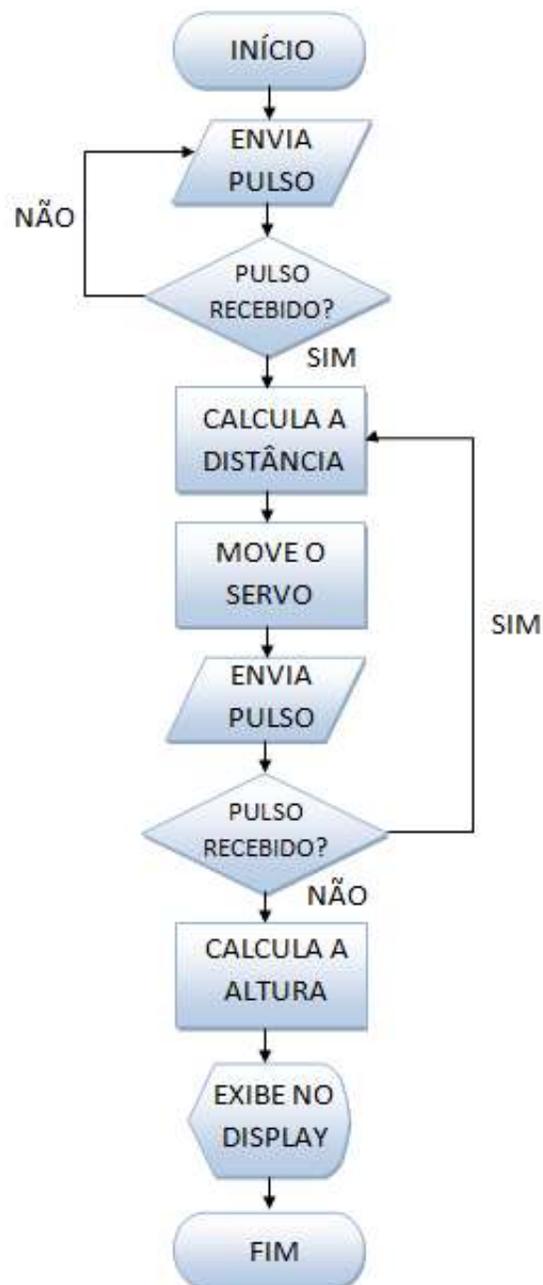


Figura 5.3: Fluxograma para determinação da altura do degrau.

O programa foi escrito em linguagem C e compilado através do compilador CCS C Compiler. O primeiro passo da rotina mostrada no fluxograma é o envio de um pulso de $20\mu s$ para o pino RD1 do PIC, conforme o trecho abaixo:

```
//Pino RD1 = TRIG
output_high(TRIG);           // Coloca o pino TRIG em nível alto
delay_us(20);                // Espera 20us
```

```

output_low(TRIG);                // Coloca o pino TRIG em nível alto

while(!input(ECHO)){            // Espera pelo nível alto no pino ECHO
    cont++;                      // ou até o estouro do contador cont
    if(cont>60000)break;
}

```

O programa aguarda por um nível alto no pino RD0, denominado *ECHO* na rotina, ou até o estouro do contador *cont*, conforme mostrado no trecho acima. O contador foi inserido para que, no caso de não haver nenhum objeto posicionado na frente do sensor, o programa não fique esperando infinitamente por um sinal. O valor do contador foi definido a partir de uma recomendação do manual de utilização do sensor.

Quando uma borda de subida é detectada no pino *ECHO*, o contador do TIMER0 do PIC é iniciado. Sua finalização acontece quando o sinal do pino *ECHO* passa de nível alto para nível baixo. A duração do pulso recebido pelo pino *ECHO* é proporcional à distância entre o sensor e o objeto. O cálculo da distância é feito considerando-se a velocidade do som no ar de $340m/s$.

Depois de identificar a presença de um obstáculo, o programa faz a movimentação do servomotor. Para movimentar o servo, é necessário enviar um pulso cuja duração é proporcional ao ângulo de giro do eixo do motor. Normalmente, um pulso de $1000\mu s$ move o servo para a posição 0° , enquanto um pulso de $2000\mu s$ o movimenta para a posição 180° . Para que o servo gire um determinado ângulo e permaneça naquela posição, é necessário enviar o pulso repetidas vezes. É usual que o pulso seja enviado pelo menos 50 vezes. O trecho de código usado para movimentação do servo é mostrado abaixo.

```

void mov_servo(){

    int i;

    PW = PW + 10;
    if(PW > 2000)
        PW = PW_inicial;

    for(i=1;i<=50; i++){
        output_high(SERVO);
        delay_us(PW);
        output_low(SERVO);
        delay_ms(20);
    }
}

```

A largura do pulso enviado é determinada pela variável *PW*. A cada chamada do procedimento para a movimentação do servo, o pulso enviado é aumentado em $10\mu s$, o que corresponde

a $1,8^\circ$. Se o valor de PW for maior que o pulso correspondente à posição máxima do servo, PW é inicializada com o pulso da posição inicial.

Após cada movimentação do servo, a distância entre o sensor e o objeto é medida como explicado anteriormente. No final de cada iteração, são armazenados os valores da distância medida e do ângulo do servomotor. Esse procedimento é repetido até que o sensor não encontre nenhum obstáculo à sua frente ou que o número máximo de iterações seja atingido. Um número máximo de iterações também foi definido aqui para que, assim como na função para a espera do pulso do sensor ultrassônico, o microcontrolador não entre em *loop* infinito no caso de não conseguir encontrar o limiar do degrau.

Se o laço anterior for interrompido antes de ser atingido o número máximo de iterações, a altura do degrau é calculada a partir da Equação 5.1, em que a medida do ângulo é dada em radianos. O valor encontrado é então mostrado em um *display* LCD. Para a escrita no *display*, foram usadas as funções da biblioteca *mod_lcd*, que possui diversas funções para manipulação de módulos LCD. Essa biblioteca não é nativa do compilador CCS, mas pode ser facilmente encontrada na Internet para *download*.

A Figura 5.4 mostra o display LCD indicando a leitura do sensor ultrassônico em mm. O número que aparece logo depois da medida representa o valor do pulso enviado ao servomotor.



Figura 5.4: *Display* LCD indicando a leitura do sensor ultrassônico em mm.

5.3 Testes realizados

Antes de testar o programa completo, mostrado no fluxograma da Figura 5.3, o sensor ultrassônico foi testado na posição horizontal e em ângulo para verificar se o seu funcionamento estava correto. Algumas das medidas encontradas são relacionadas na Tabela 5.1 e na Tabela 5.2, em que o sensor estava posicionado em ângulo em frente ao objeto.

Considerando os dados da Tabela 5.1, observa-se que o sensor pode indicar o valor exato da distância, mas que, na maior parte das vezes, o valor medido pelo sensor é um pouco maior ou

Tabela 5.1: Comparação entre os valores da distância real e da distância medida com o sensor de ultrassom.

Medida real (mm)	Sensor (mm)
80	80
90	84
93	95
154	158
93	95

Tabela 5.2: Comparação entre os valores da distância real e da distância medida com o sensor de ultrassom em ângulo.

Ângulo (aproximado)	Medida real (mm)	Sensor (mm)
33°	120	125
44°	140	142
48°	150	157
53°	170	172
58°	191	200

um pouco menor que o valor real. Os dados apresentados na Tabela 5.2 mostram que, quando colocado em ângulo, o sensor também obtém boas medidas. No conjunto de dados apresentado, o erro é menor que 5%.

A Figura 5.5 mostra o teste do sensor realizado quando o circuito ainda estava montado em uma prontoboard. Nesse caso, o erro de medição foi de 5%.

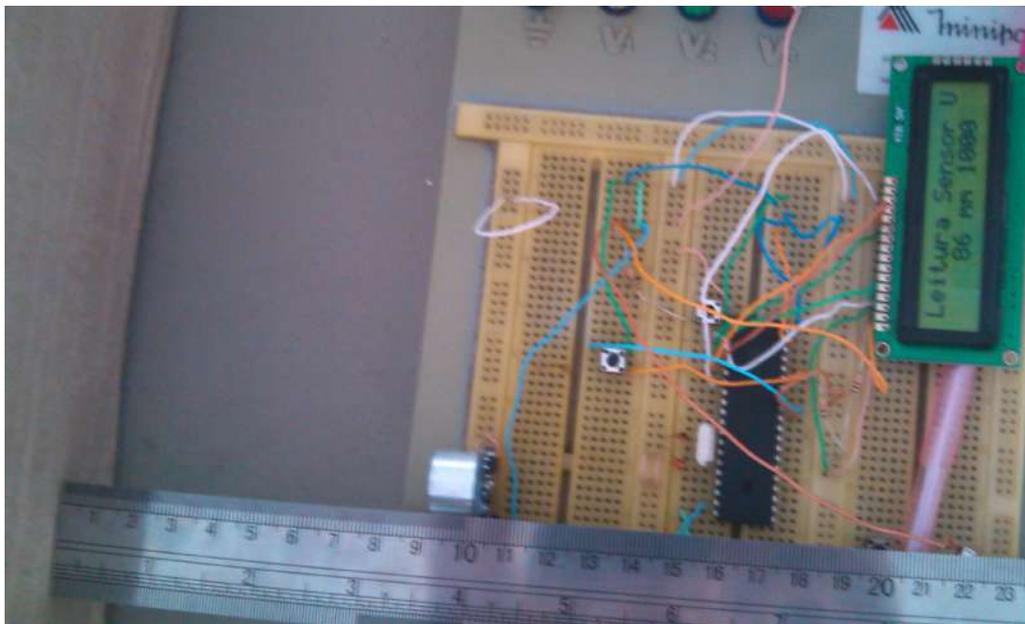


Figura 5.5: Teste do sensor de ultrassom.

Em alguns momentos, o sensor se mostrou instável, indicando medidas bem diferentes das reais. Acredita-se que isso tenha sido causado por algum tipo de ruído ou pelo posicionamento do objeto em relação ao sensor. Assim como indicado pelo *datasheet* do fabricante do sensor, medidas menores que 20 mm não foram identificadas corretamente pelo sensor.

A Tabela 5.3 mostra os resultados obtidos com o teste do sistema integrado. Como era esperado, o erro encontrado foi maior, chegando a ser igual a 22,4% no pior caso. Isso é devido, em partes, à imprecisão das medidas dadas pelo sensor e pelo ângulo de giro do servomotor. Outra fonte de erro está na medida da altura h_1 . Nos cálculos realizados não foi considerado que, à medida que o ângulo θ aumenta, o valor de h_1 também aumenta.

Tabela 5.3: Comparação entre os valores da altura real e da altura calculada pelo sistema proposto.

Medida real (mm)	Sistema (mm)
98	113
117	125
136	152
162	184
65	84

Conclusões e Perspectivas

Este trabalho procurou apresentar uma solução criativa e original para o problema de transpor um degrau por cadeiras de rodas. Apesar de ainda apresentar certo grau de complexidade, a solução proposta é mais simples do que outras encontradas na literatura, por não exigir grandes alterações na estrutura da cadeira de rodas.

O projeto mecânico de parte da solução proposta foi elaborado, mas atrasos não previstos na execução do cronograma do trabalho, como dificuldade de compra de componentes e dificuldade na elaboração do próprio projeto mecânico, impossibilitaram a sua construção. Mesmo após a entrega desta monografia, essa questão será trabalhada para que o desenvolvimento do outro trabalho de conclusão de curso que faz parte deste projeto não seja prejudicado.

Apesar de o protótipo não ter sido construído, os outros objetivos definidos para este trabalho foram atingidos.

Os circuitos eletrônicos para acionamento do dispositivo foram projetados, testados e implementados da maneira esperada. Aqui merece ser destacado o funcionamento adequado da ponte H desenvolvida, que sempre apresentou algum tipo de problema em outros trabalhos realizados no CEFET Divinópolis. Essa é uma contribuição relevante para trabalhos futuros. A implementação com um circuito integrado acionador de ponte H foi trabalhosa, principalmente por não haver muitas referências disponíveis sobre o CI utilizado, mas tem grandes possibilidades de resolver o problema de aquecimento e queima de MOSFETs verificados em outros trabalhos.

No que diz respeito à placa de controle desenvolvida, pequenas alterações talvez sejam necessárias em aplicações futuras, dependendo dos dispositivos que serão adicionados.

Um sistema para medição da altura do degrau também foi testado e implementado. Como não foram feitos testes com o dispositivo completo, não é possível dizer se os erros de medição encontrados interferem significativamente no funcionamento do dispositivo como um todo. Contudo, acredita-se que os resultados obtidos podem ser melhorados a partir de um refinamento do programa elaborado.

Como perspectivas, espera-se que o projeto mecânico da estrutura de posicionamento seja melhorado. Essa melhoria, entretanto, precisa ser feita em conjunto com o projeto da estrutura de locomoção, para que seja encontrada a melhor configuração para ambas.

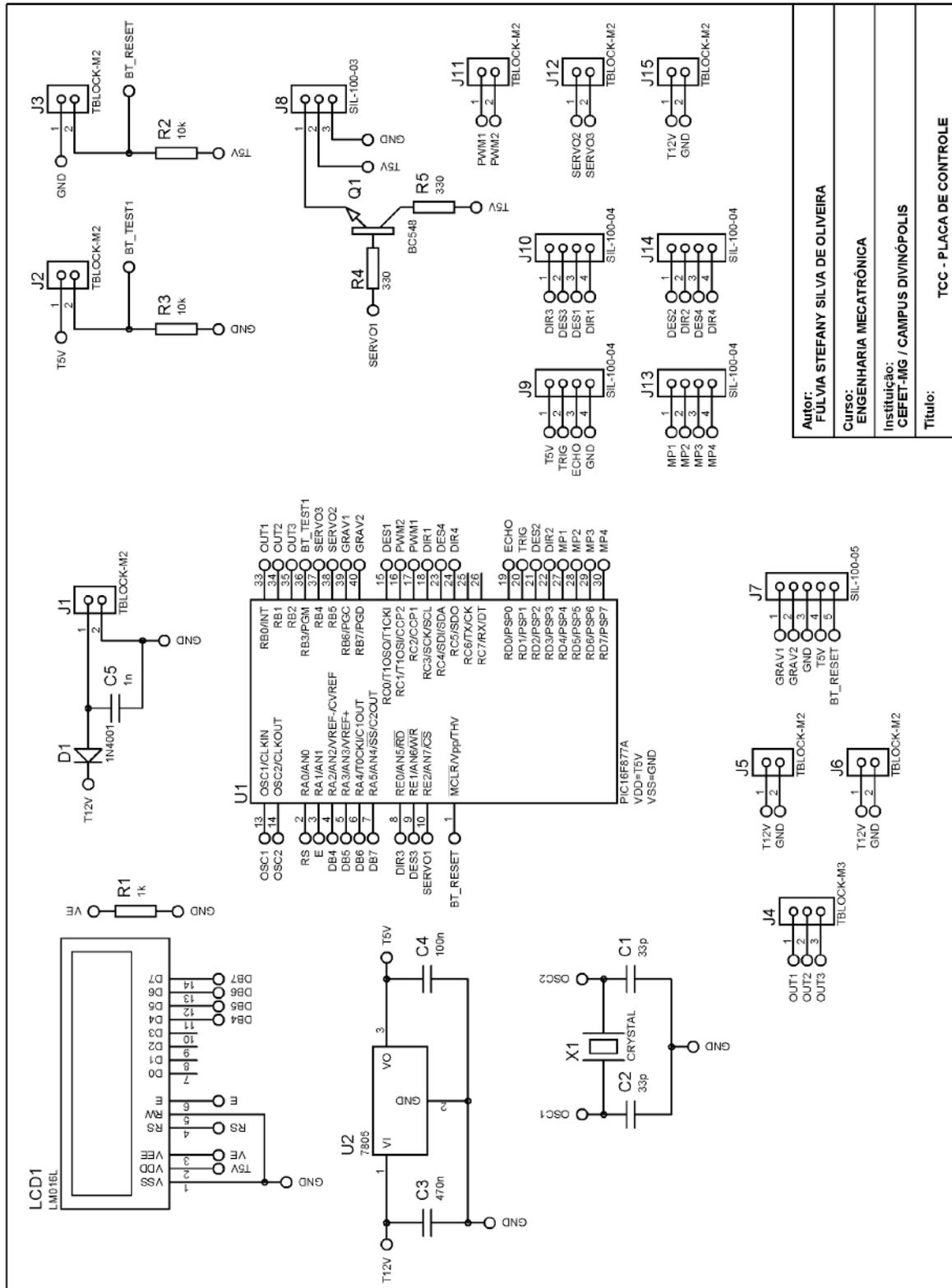
Além disso, espera-se também que novos sensores e módulos de comunicação sejam incorporados para tornar o dispositivo mais robusto. No projeto atual, o acionamento do carrinho deve

ser feito por um botão na placa de controle. Mas para ser usual, é necessária a incorporação de um módulo de comunicação para que o dispositivo seja acionado por um controle remoto, por exemplo.

Como exemplo de sensores a serem incluídos no dispositivo, pode-se destacar o uso de sensores de toque para verificar se as extremidades das rampas estão de fato apoiadas no degrau após o seu posicionamento. Uma outra melhoria que poderia ser incluída, e que possui fácil implementação, é a colocação de luzes indicadoras na plataforma móvel. Essas luzes serviriam para indicar se o carrinho ainda está realizando o posicionamento das rampas ou se o posicionamento já foi finalizado. Assim, o cadeirante tem condições de saber qual é o momento adequado para subir nas rampas com segurança.

Apêndice **A**

Diagramas Elétricos



Autor:
FULVIA STEFANY SILVA DE OLIVEIRA

Curso:
ENGENHARIA MECATRÔNICA

Instituição:
CEFET-MG / CAMPUS DIVINÓPOLIS

Título:
TCC - PLACA DE CONTROLE

Figura A.1: Diagrama esquemático da placa de controle.

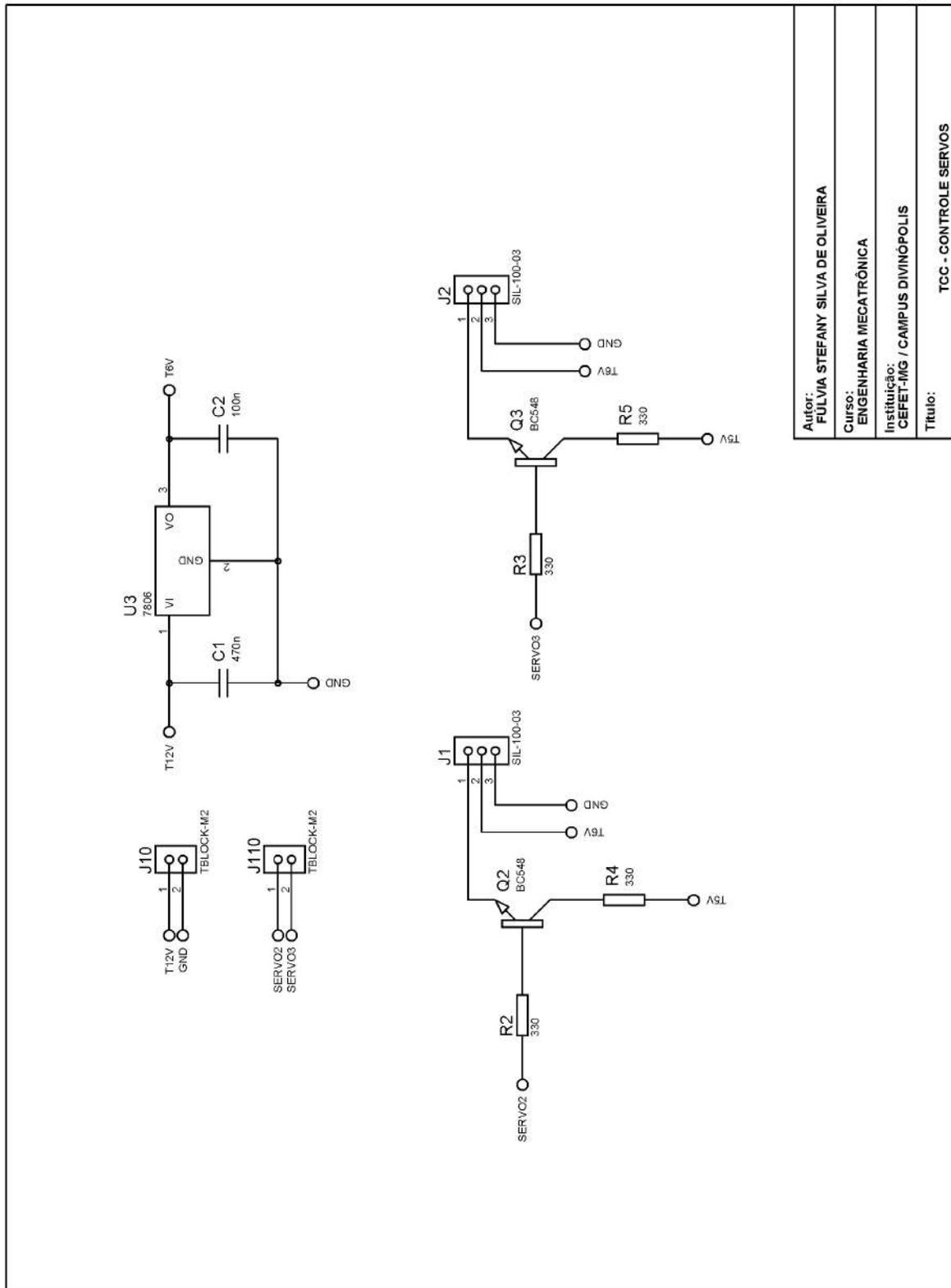
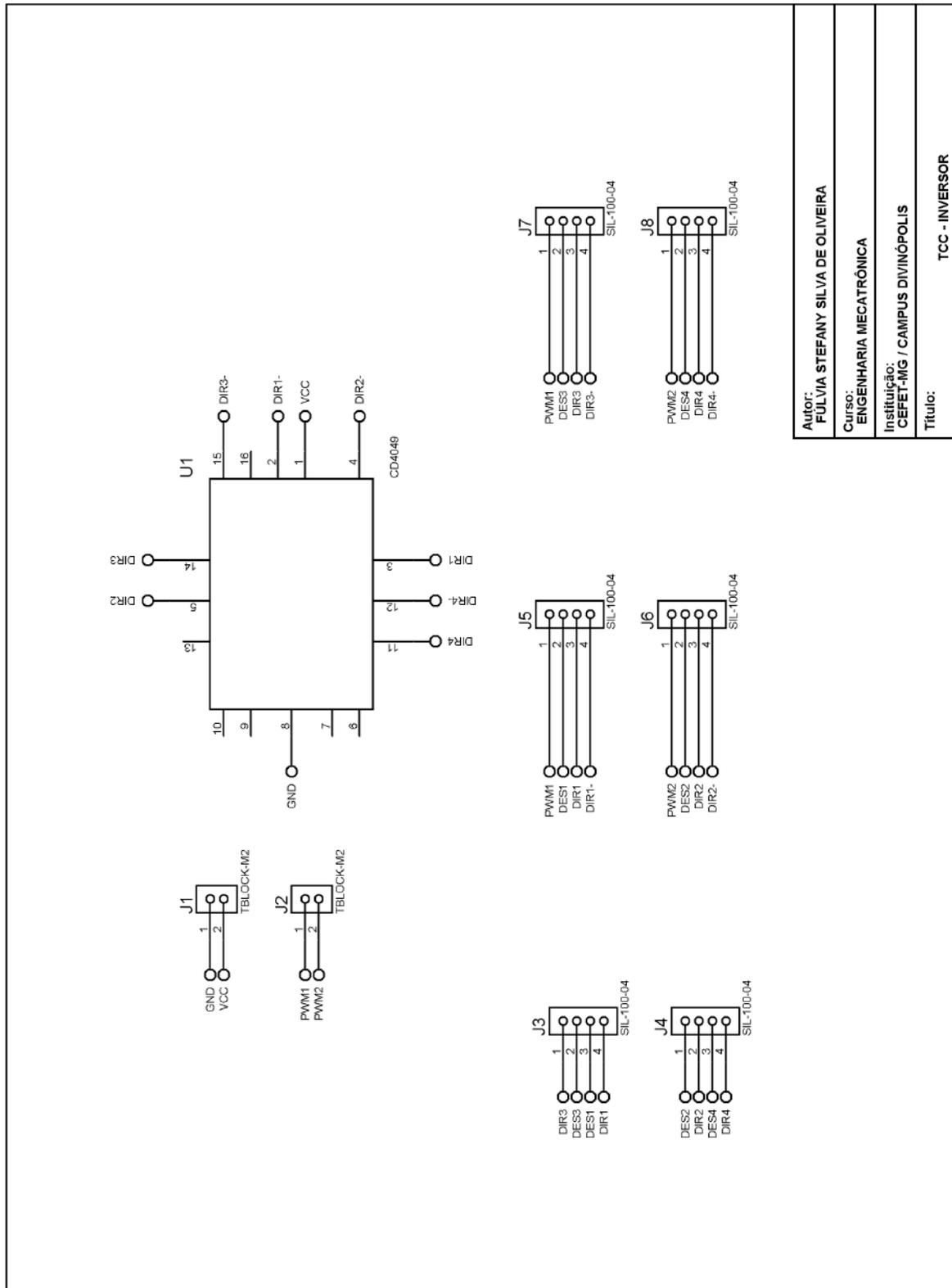


Figura A.2: Diagrama esquemático da placa de acionamento dos servomotores de 6V.



Autor: FULVIA STEFANY SILVA DE OLIVEIRA
Curso: ENGENHARIA MECATRÔNICA
Instituição: CEFET-MG / CAMPUS DIVINÓPOLIS
Título: TCC - INVERSOR

Figura A.3: Diagrama esquemático da placa que fornece os sinais para determinação do sentido de giro do motor.

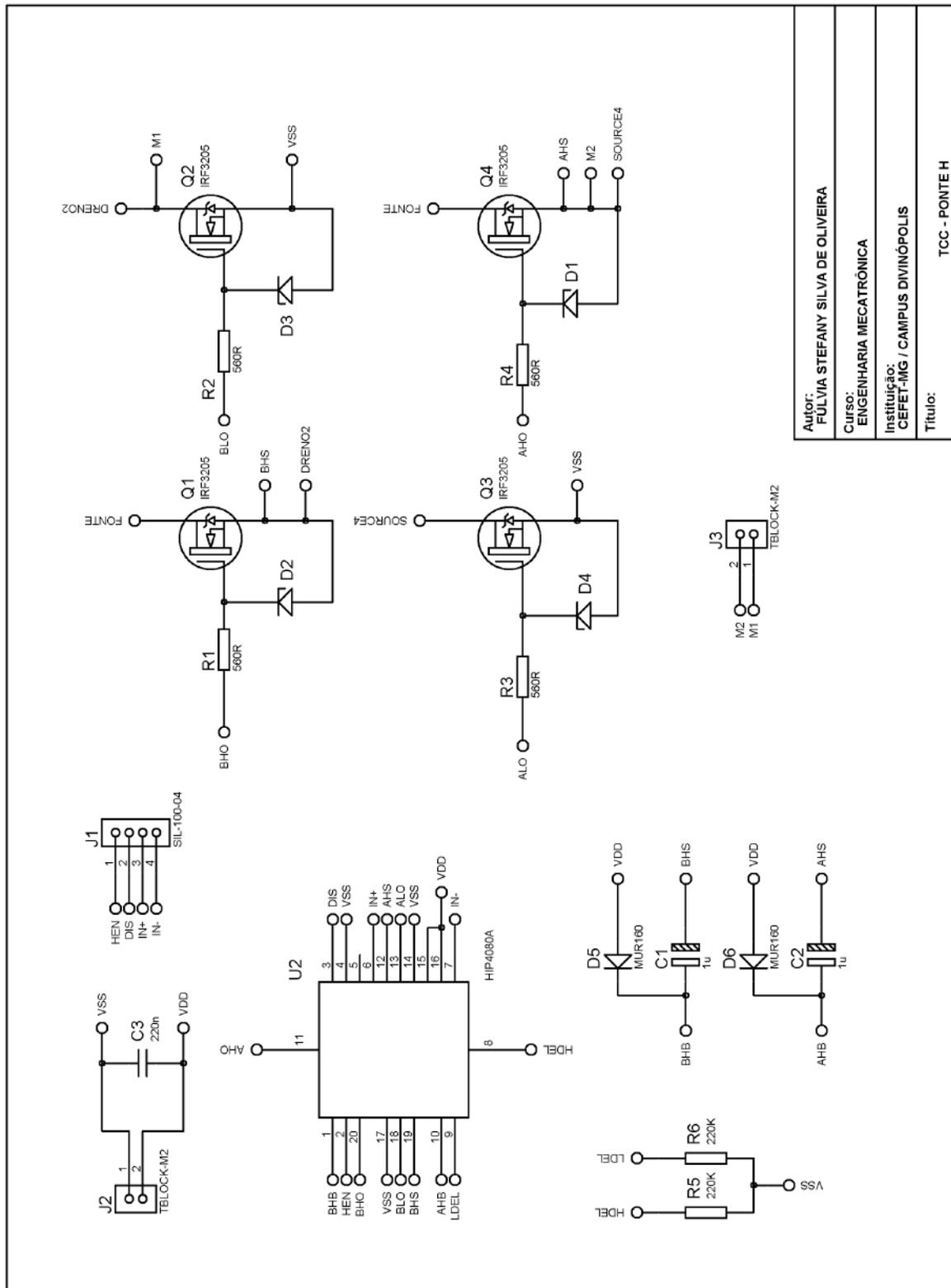


Figura A.4: Diagrama esquemático da placa de ponte H.

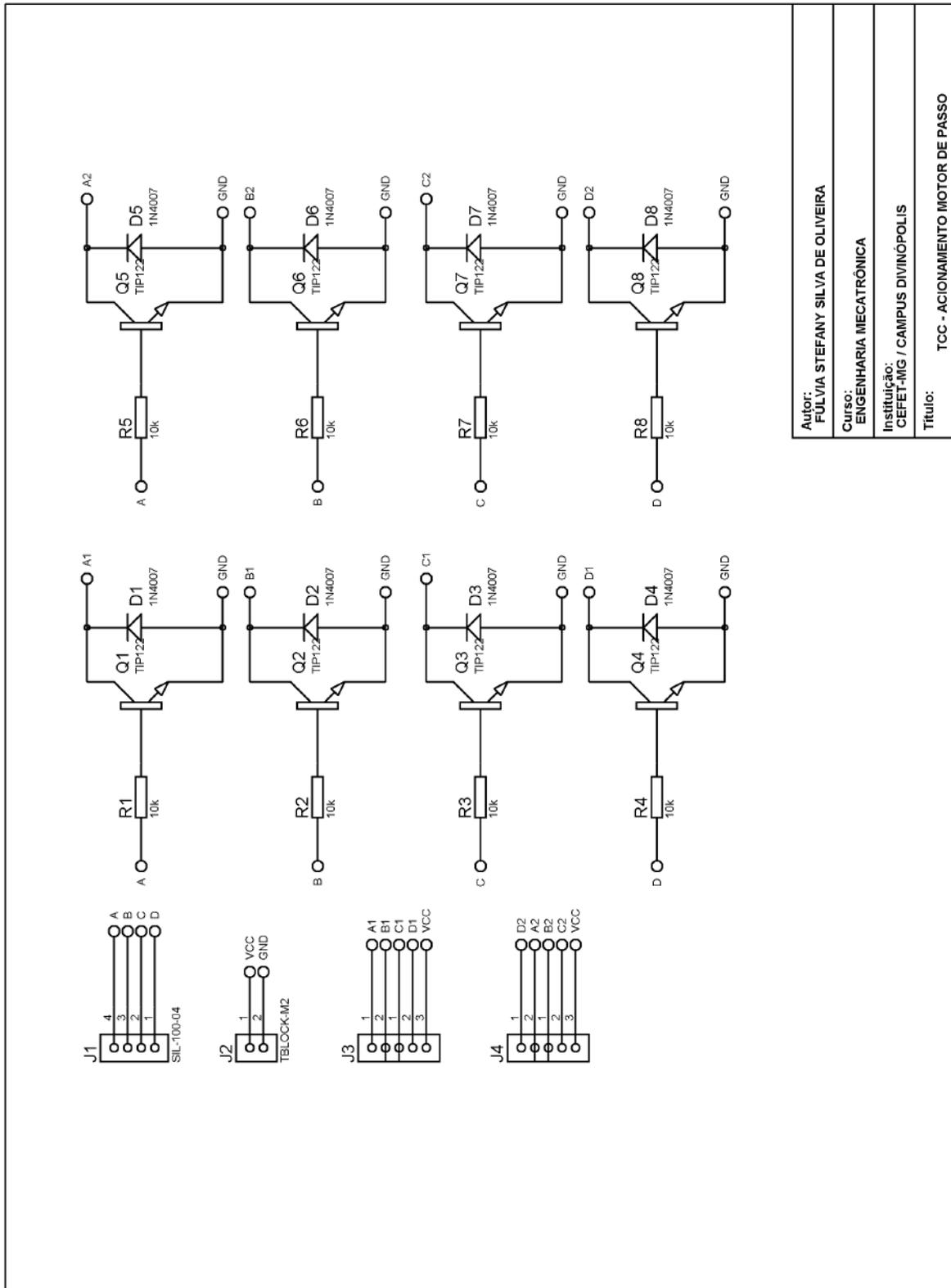


Figura A.5: Diagrama esquemático da placa de acionamento dos motores de passo.

Bibliografia

- ABNT. ABNT NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. 97 páginas, 2004.
- Y. Bang, C. Lee, J. Yoo, K. Lee, and I. Kim. Two-legged stair-climbing wheelchair and its stair dimension measurement using distance sensors. *11th International Conference on Control, Automation and Systems*, October 2011.
- CDS. Cadeira de rodas modelo cds 101 / 102. Disponível em: [http : //www.cdscadeiraderodas.com.br/p_cds101.htm](http://www.cdscadeiraderodas.com.br/p_cds101.htm). Acesso em 09 de agosto de 2013., 2013.
- Cytron Technologies. Product user's manual - HC-SR04 ultrasonic sensor. Disponível em: [http : //www.cytron.com.my/viewProduct.php?pcode = SN - HC - SR04name = Ultrasonic20Ranging20Module](http://www.cytron.com.my/viewProduct.php?pcode = SN - HC - SR04name = Ultrasonic20Ranging20Module). Acesso em 08 de novembro de 2013., 2013.
- Fairchild Semiconductor. TIP120/TIP121/TIP122 NPN epitaxial darlington transistor. Datasheet, 2008.
- L. Fang, T. Lu, K. Yuan, S. Xiaojun, and L. Li. Design and development of an electric-powered stair-climbing wheelchair. *8th World Congress on Intelligent Control and Automation*, June 2011.
- M. Fezari and A. Khati. New speech processor and ultrasonic sensors based embedded system to improve the control of a motorised wheelchair. *Design and Test Workshop, IDT 3rd International*, pages 345–349, December 2008.
- IBGE. Censo 2010 revela: mais da metade dos domicílios situavam-se em locais sem bueiros. Disponível em: [http : //saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view = noticia&id = 1&busca = 1&idnoticia = 2140](http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view = noticia&id = 1&busca = 1&idnoticia = 2140). Acesso em 14 de maio de 2013., 2012.
- International Rectifier. IRF3205 HEXFET power MOSFET. Datasheet, 2001.
- Intersil. HIP4080A, 80v high frequency h-bridge driver. Application Note, 2001.
- Kvistberga Produkter. Perfo light portable ramps. Disponível em: [http : //www.escada.facil.pt/catalogos/RAMPAS_Perfolight.pdf](http://www.escada.facil.pt/catalogos/RAMPAS_Perfolight.pdf). Acesso em 19 de junho de 2013., n/d.

- Microchip. PIC16F87XA data sheet. Microchip Technology Incorporated, 2003.
- PAAC. Pesquisas avançadas para acessibilidade de pessoas com deficiência motora e cadeirantes. projetos em desenvolvimento. Disponível em: [http : //pgene.ufabc.edu.br/PAAC/conteudo/projetos/projetos.html](http://pgene.ufabc.edu.br/PAAC/conteudo/projetos/projetos.html). Acesso em 29 de maio de 2013., 2013.
- F. M. Pedro, F. F. Farias, J. M. Souza Neto, and F. C. Trigo. Estudo da viabilidade de um mecanismo ativado por força humana que proporcione a uma cadeira de rodas a capacidade de transpor guias. *Anais do 17o. Simpósio Internacional de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo- SIICUSP*, 2009.
- Peter Auer GmbH. Stair-crawler TR-93B. Disponível em: [http :](http://www.escadafacil.pt/catalogos/TR-93.pdf) [//www.escadafacil.pt/catalogos/TR-93.pdf](http://www.escadafacil.pt/catalogos/TR-93.pdf). Acesso em 19 de junho de 2013., *n/d*.
- V. O. G. Rosado. Concepção e dimensionamento de equipamentos assistivos para pessoas portadoras de deficiência no ensino do curso de engenharia mecânica. *Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia (COBENGE)*, 2004.
- Topchair SAS. Topchair-s: Le fauteuil roulant monte-marches. Disponível em: [http :](http://www.topchair.fr/documentations/wp-content/uploads/2013/04/4-pages-France.pdf) [//www.topchair.fr/documentations/wp-content/uploads/2013/04/4-pages-France.pdf](http://www.topchair.fr/documentations/wp-content/uploads/2013/04/4-pages-France.pdf). Acesso em 19 de junho de 2013., *n/d*.
- S. Yokota, T. ITO, T. Yamaguchi, D. Chugo, and H. Hashimoto. An assistive wheelchair caster unit for step climbing. *37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, pages 2100–2105, November 2011.