

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

LUCAS TERUO
LUIZ CARLOS GIACOMOSSO JUNIOR
JONATHAN DE OLIVEIRA

EMPILHADEIRA ROBÓTICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2015

LUCAS TERUO
LUIZ CARLOS GIACOMOSSO JUNIOR
JONATHAN DE OLIVEIRA

EMPILHADEIRA ROBÓTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Controle e Automação e Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Luiz Moritz

CURITIBA

2015

**Lucas Teruo
Jonathan de Oliveira
Luiz Carlos Giacomossi Junior**

Empilhadeira Robótica

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista e de Engenheiro de Controle e Automação, dos cursos de Engenharia Elétrica e de Engenharia de Controle e Automação do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 09 de dezembro de 2015.

Prof. Emerson Rigoni, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Profa. Annemarle Gehrke Castagna, Mestre
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Guilherme Luiz Moritz, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Guilherme Luiz Moritz, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Glauber Gomes de Oliveira Brante, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Amauri Amorin Assef, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica

AGRADECIMENTOS

É impossível pronunciar a gratidão a todos que nos ajudaram e nos deram suporte durante essa jornada. Portanto, desde já pedimos desculpas àqueles que não foram mencionados, mas que tenham certeza que contribuição não será esquecida.

Aos nossos pais, que estiveram sempre por perto e nos apoiaram incondicionalmente. Mesmo nos momentos mais difíceis e desafiadores, não desistiram de nós e se fizeram presentes.

Agradecemos ao nosso Professor Dr. Guilherme Luiz Moritz pela sua dedicação e pela orientação deste projeto e por meio dele, nós nos reportamos a toda a comunidade da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pelo apoio incondicional.

Agradecemos principalmente ao Heleno José da Silva Sampaio, que foi de fundamental importância na confecção deste projeto, durante a montagem e desenvolvimento mecânico.

A todos os amigos e companheiros da universidade, gostaríamos de expressar nossa satisfação de poder conviver com eles durante a realização deste projeto.

Agradecemos aos pesquisadores e professores da banca examinadora pela atenção e contribuição dedicadas a este estudo.

RESUMO

TERUO, Lucas, OLIVEIRA, Jonathan de, e GIACOMOSSI JR., Luiz C. **Empilhadeira Robótica**. 2015. 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Controle e Automação e Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

A empilhadeira mais utilizada atualmente é a do tipo manual, sendo assim, ainda são comumente manuseadas pelos operadores industriais para realizar o transporte de cargas em questão. As referidas cargas podem ser de origem simples ou até das mais robustas, de qualquer forma exigem uma atenção adicional maior com o seu manuseio. Dessa forma, um operador mal treinado e que não saiba utilizar a empilhadeira de forma adequada pode causar sérios problemas ao seu local de trabalho, pois pode gerar perdas no estoque, danos à carga transportada e também a outros trabalhadores que estejam ao seu alcance e conseqüentemente, sérios prejuízos para a indústria. Neste projeto será apresentado o projeto do protótipo de uma empilhadeira robótica em escala reduzida, junto ao seu funcionamento e componentes escolhidos para a sua confecção, a qual será comandada por controle remoto e por processos microcontrolados. Através desse enfoque, a ideia é de tornar o processo de transporte de cargas automatizado de modo a torná-lo mais rápido, preciso e seguro, tendo a segurança dos usuários e das cargas envolvidas no processo como fundamental. Para tal, serão utilizados princípios de robótica e processos micro controlados.

Palavras-chave: Transporte inteligente. Empilhadeira robótica. Sistema automatizado. Transporte de cargas.

ABSTRACT

TERUO, Lucas, OLIVEIRA, Jonathan de, e GIACOMOSSI JR., Luiz C. **Forklift Robotics**. 2015. 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Controle e Automação e Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

The forklift currently most used is the manual type, so also are commonly handled by industrial operators to carry out cargo transportation in question. These fillers may be single source and even the most robust anyway require greater attention to additional handling. Thus, a poorly trained and do not know how to use the forklift properly operator can cause serious problems to your workplace because it can generate inventory losses, damage to cargo as well as other workers who are at your fingertips and consequently , serious damage to the industry. This project will be presented the prototype of a robotic forklift design small-scale, next to its operation and components chosen for their production, which will be remote-controlled by microcontroller processes. Through this approach, the idea is to make the automated cargo transportation process faster, more accurate and safer, and the safety of users and the burdens involved in the process as fundamental. To this end, the principles of robotics and micro-controlled processes are used.

Keywords: Forklift robotics. Intelligent transportation. Automated system. Cargo transportation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ponte Rolante	12
Figura 2 – Empilhadeira Industrial.....	13
Figura 3 – Pallet pbr	14
Figura 4 – Esquemático do Sistema de Controle	20
Figura 5 – Controle do <i>videogame</i> Playstation.....	22
Figura 6 – Empilhadeira Elétrica Manual	24
Figura 7– Empilhadeira Manual.....	24
Figura 8 – <i>DigiBeetle</i> : Versão preliminar.....	25
Figura 9 – Torre de elevação: barras de apoio.....	27
Figura 10 – Rolamentos internos para elevação de carga	27
Figura 11 – Motor CC para elevação de carga.....	28
Figura 12 – Torre de elevação acoplada	29
Figura 13 – Ponto de acoplamento na Torre de elevação.....	29
Figura 14 – Diferencial Automotivo 3:1	30
Figura 15 – Diferencial Automotivo 3:1 no eixo da tração	31
Figura 16 – Acoplamento do sistema de tração nas rodas dianteiras	32
Figura 17 – Acoplamento do Motor CC ao eixo principal do diferencial	32
Figura 18 – Acoplamento do Motor CC ao eixo principal do diferencial	33
Figura 19 – Sistema de direção: posição nula.....	33
Figura 20 – Sistema de direção: movimento para a direita	34
Figura 21– Sistema de direção: movimento para a esquerda	34
Figura 22 – Sensor Ultrassônico	37
Figura 23 – MaxSonar EZ0	39
Figura 24 – Sensor Ultrassônico HC–SR04	39
Figura 25 – Bat Sensor Ultrasonic.....	40
Figura 26 – Sensor Ultrassônico US–015	40
Figura 28 – Motor CC utilizado em automóveis.....	44
Figura 28 – Servo Motor SpringRC 33 kg Baja	46
Figura 29 – Encaixe dos garfos.....	47
Figura 30 – Motor CC Akiyama	48
Figura 31 – Bateria para motocicletas.....	53
Figura 32 – Ponte–H 12V 40A.....	55
Figura 34 – Placa Eletrônica: Ponte–H 12V 40A.....	56
Figura 34 – Esquemático da Placa principal	57
Figura 35 – Placa principal não conectada	58
Figura 36 – Placa principal com identificação	58
Figura 38 – Placa principal com Tiva C.....	59
Figura 39 – Regulador de Tensão.....	60
Figura 40 – Circuito de Acionamento da buzina.....	60
Figura 40 – Placa de acionamento do farol principal.....	61
Figura 41 – Farol de ré acionado	62
Figura 42 – Farol de ré acoplado	62
Figura 43 – Farol frontal acoplado.....	63
Figura 44 – Modelo Conceitual do <i>DigiBeetle</i>	65
Figura 45 – <i>DigiBeetle</i> : maquete de papelão	65

Figura 46 – Encaixes dos Garfos do <i>DigiBeetle</i>	67
Figura 47 – Garfos do <i>DigiBeetle</i> : vista frontal.....	67
Figura 48 – <i>DigiBeetle</i> : vista frontal.....	68
Figura 49 – <i>DigiBeetle</i> : vista lateral parcial	68
Figura 50 – <i>DigiBeetle</i> : vista superior.....	69
Figura 51 – <i>DigiBeetle</i> : vista lateral completa	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo de Sensores ultrassônicos	40
Tabela 2 – Dados dos motores de tração e elevação	52
Tabela 3 – Dados dos motores de direção e elevação de carga.....	53
Tabela 4 – Comparativo de desempenho	76

LISTA DE SIGLAS

A	Ampere
A.h	Ampere Hora
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
cm	Centímetro
g	Gramma
IHM	Interface Homem Máquina
Kg	Quilograma
Kgf.cm	Quilograma Força Centímetro
kHz	Quilohertz
LED	<i>Light-Emitting Diode</i>
NiCd	Níquel Cadmio
NiMH	Níquel Metal Hidreto
m	Metro
mA	Mili-Ampere
mm	Milímetro
PIC	<i>Peripheral Interface Computer</i>
PID	Proporcional-Integral-Derivativo
RPM	Rotação por Minuto
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
VCC	Tensão Corrente Contínua
Tiva	Tiva C Series EK-TM4C123GXL

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. CONTEXTO DO TEMA	12
1.2. OBJETIVO	16
1.3. JUSTIFICATIVA.....	17
1.4. METODOLOGIA	18
1.5. ESTRUTURA DO <i>DIGIBEETLE</i>	20
1.6. CONTROLE DE MOVIMENTAÇÃO E FUNCIONALIDADES DA EMPILHADEIRA	22
2. ESTRUTURA MECÂNICA	24
2.1 MODELO DEFINITIVO	24
2.1.1 Dimensões.....	25
2.1.2 Sistema De Elevação	26
2.1.3 Sistema De Tração E Direção.....	30
3. SENSORES	35
3.1 TIPOS DE SENSORES	35
3.1.1 Sensor De Proximidade	35
3.1.2 Sensor De Distância.....	36
3.2 SENSOR ULTRASSÔNICO	36
3.2.1 Vantagens Do Sensor Ultrassônico	37
3.2.2 Desvantagens Do Sensor Ultrassônico	37
3.3 CARACTERÍSTICAS DOS SENSORES ULTRASSÔNICOS.....	38
3.4 ESPECIFICAÇÃO E COMPARATIVO DOS SENSORES ULTRASSÔNICOS	39
4 MOTORES	42
4.1 INTRODUÇÃO AO USO DE MOTORES	42
4.2 MOTOR DE ELEVAÇÃO	43
4.3 ESCOLHA DO MOTOR DE DIRECIONAMENTO	44
4.4 MOTOR DO GARFO	46
4.5 MOTOR DE TRAÇÃO	47
5 ESCOLHA DA BATERIA	49
5.1 BATERIA DE CHUMBO-ÁCIDO	49
5.1.1 Vantagens	50
5.1.2 Desvantagens	50
5.2 BATERIA DE LÍTIO-ÍON	50
5.2.1 Vantagens	51
5.2.2 Desvantagens	51
5.3 BATERIA DE NÍQUEL CÁDMIO	51
5.3.1 Vantagens	52
5.3.2 Desvantagens	52
5.4 ESCOLHA DA BATERIA	52
6 CONFECÇÃO DO <i>DIGIBEETLE</i>	54
6.1 CONFECÇÃO ELETRÔNICA.....	54
6.1.1 Placa De Acionamento.....	54
6.1.2 Placa Principal	56
6.1.3 Placa reguladora de tensão	59
6.1.4 Placa De Controle Da Buzina	60
6.1.5 Placa de acionamento dos faróis	61
6.2 PROGRAMAÇÃO DO FIRMWARE.....	63

6.3 CONFECÇÃO MECÂNICA.....	64
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES	70
7.1 .CONTROLE DO PLAYSTATION	70
7.1.1 Dificuldades.....	70
7.1.2 Possíveis Melhorias	71
7.2 SENSORES ULTRASSÔNICOS.....	71
7.2.1 Dificuldades.....	71
7.2.2 Possíveis Melhorias	71
7.3 SISTEMA DE TRAÇÃO	72
7.3.1 Dificuldades.....	72
7.3.2 Possíveis melhorias	73
7.4 SISTEMA DE ELEVAÇÃO	73
7.4.1 Dificuldades.....	73
7.4.2 Possíveis Melhorias	73
7.5 ALIMENTAÇÃO	74
7.5.1 Dificuldades.....	74
7.5.2 Possíveis Melhorias	75
7.6 CIRCUITO DE POTÊNCIA.....	75
7.6.1 Dificuldades.....	75
7.6.2 Possíveis Melhorias	76
7.7 COMPARATIVO GERAL DE DESEMPENHO DO <i>DIGIBEETLE</i>	76
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
REFERÊNCIAS.....	78

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTO DO TEMA

O transporte de materiais é considerado a arte e a ciência do fluxo de materiais, em todas as suas fases de processo: embalagem, movimentação e estocagem. Tomando como foco apenas o transporte dos mesmos, pode-se afirmar que esta é uma tarefa que demanda um grande esforço (CARVALHO, 2014).

Este esforço pode ser observado em virtude do desenvolvimento e aprimoramento das máquinas de transporte, cujos principais objetivos são a redução de custos, um aumento de capacidade produtiva e também a melhoria das condições de trabalho e dos processos industriais.

A maioria dos processos industriais requer constantemente o transporte de cargas que podem chegar até centenas de toneladas. Por tal motivo é desejável um deslocamento de materiais de modo seguro e minucioso. De modo a realizar esta função são utilizadas as chamadas empilhadeiras para cargas de pequeno e médio porte, e para cargas relativamente mais pesadas, as pontes rolantes.

As pontes rolantes, como exemplo na Figura 1, são lentas e pouco eficazes para o transporte de pequenas cargas, pois seu manuseio requer um operador altamente treinado e qualificado.



Figura 1 – Ponte Rolante
Fonte: PFG Prevenção (2015).

Segundo Soares (2011, pg. 18), estas pontes suportam suas cargas em pleno ar, logo todas as suas cargas estão sujeitas à energia mecânica. Isso impõe que caso o operador execute movimentos bruscos ou inseguros, a carga fica submetida à movimentos indesejados.

Esta situação acaba induzindo uma translação à ponte rolante, e isso altera significativamente a rota da carga, podendo gerar uma possível trajetória de colisão com as pessoas e objetos ao redor.

Para contornar estas situações de risco, o uso mais constante de empilhadeiras seria mais viável para os fins industriais visto que são equipamentos mais fáceis de manuseio, pois o transporte de cargas não fica em pleno ar, logo a estabilidade do sistema é mais confiável em comparação com as pontes rolantes. A Figura 2 representa um dos modelos atualmente utilizados em indústrias.



Figura 2 – Empilhadeira Industrial

Fonte: Garcia Guindastes (2015).

As empilhadeiras são uma boa escolha quando se deseja realizar um transporte de cargas mais rápido e preciso, pois o operador consegue operá-la com um contato direto (Empilhadeira Guia, 2015).

Basicamente as empilhadeiras podem ser dos tipos manuais, elétricas e a combustão, embora existam diversos subtipos de empilhadeiras.

Com relação aos seus elementos principais, pode se citar as rodas e os garfos. As rodas são utilizadas para facilitar o transporte de grandes pesos, já que muitas vezes um *pallet* pode estar carregado com um peso relativamente alto (uma

tonelada, por exemplo). Logo, suas rodas devem ser capazes de aguentar grandes forças.

Os garfos por sua vez são as barras que suportam os *pallets* e as cargas propriamente ditas. Seus tamanhos e larguras são fatores importantes para se considerar.

Em relação aos *pallets*, citados anteriormente, estes são estruturas feitas exclusivamente com o intuito de facilitar o transporte das cargas por meio de paleteiras ou empilhadeiras, e também facilitam o processo de armazenagem, pois torna a estocagem padronizada.

No Brasil, o modelo adotado é o de madeira (*Pallet pbr*) que foi padronizado em 1990. Suas medidas padrões são 1,00 x 1,20 m. A Figura 3 ilustra modelo nacional.



Figura 3 – Pallet pbr

Fonte: Paletes (2015).

Como este projeto visa a construção de um protótipo em escala reduzida, o *pallet* padrão brasileiro não poderá ser encaixado devidamente. Logo, será utilizado nesse processo um suporte de cargas em escala reduzida para se adequar ao referido protótipo.

Segundo Carvalho (2014, pg. 1), com a utilização de máquinas específicas para a movimentação de cargas e materiais, pode-se obter uma maior segurança no ambiente de trabalho, diminuindo assim o risco de acidentes com funcionários. Além disso, outro benefício que pode-se observar é a redução da fadiga, pois no momento em que o operador utiliza a máquina para realizar o serviço pesado e de risco, o seu esforço braçal é praticamente eliminado. Todos estes fatores geram conforto ao operador, tornando seu processo e atuação mais eficientes e seguros.

Como pode se perceber, é mais comum o transporte de cargas de uma empresa ser feita por meio de equipamentos móveis tais como a empilhadeira, no

entanto, mesmo que seja relativamente capaz de suportar pesos consideráveis, este equipamento ainda requer o contato direto para manuseá-la, puxando ou empurrando por exemplo. Logo, o operador fica exposto a eventuais acidentes envolvendo as cargas, visto que o mesmo se encontra à uma distância bem próxima dos objetos transportados.

Este trabalho diz respeito ao desenvolvimento de um protótipo de uma Empilhadeira Robótica, ou seja, sua aplicação se torna mais voltada para a segurança e conforto do operador por meio da automação.

É importante tomar nota que os custos referentes à elaboração de uma empilhadeira robótica em grandes escalas são bem elevados, já que é necessária uma pesquisa técnica mais aprofundada, além do desenvolvimento de um sistema mais robusto voltado especificamente para fins industriais, tornando o projeto inviável ao tempo estimado.

Este problema será contornado com a elaboração de um protótipo em pequena escala, ou seja, a referida empilhadeira será confeccionada em uma escala reduzida para efeitos de cálculo e por questões de custos.

A confecção deste protótipo será uma maneira eficiente e prática de verificar se é possível realizar melhorias por meio de sistemas microcontrolados em transportes de carga, tornando-os mais seguros e eficientes. Através dos testes realizados, foi possível constatar que a implementação de processos microcontrolados à empilhadeira obteve resultados satisfatórios, podendo esta aplicação ser reproduzidas em escalas maiores.

Nesse caso, é preciso estabelecer alguns limites de operação do protótipo, tais como a sua capacidade de carregamento. Esta capacidade estará limitada a uma faixa de 5 kg a 10 kg. Foram utilizados pesos de academia (anilhas) de 5 kg para simulação das cargas.

É importante ressaltar que o foco deste trabalho estará voltado para suas características elétricas, eletrônicas e computacionais do protótipo. Isto implica que o seu acabamento mecânico se dará de uma forma menos sofisticada visto que se trata de um projeto em menor escala.

A ideia principal deste projeto é a de tornar o processo de transporte de cargas automatizado, pois assim o manuseio das cargas consegue ser mais

dinâmico, mais preciso e seguro, tendo a segurança dos usuários e das cargas envolvidas no processo como prioridade. Para tal, serão utilizados princípios de robótica e processos microcontrolados.

Esta empilhadeira robótica será denominada como *DigiBeetle*, por uma questão de simplificação, e sua função basicamente será a de transportar cargas de diversos pesos de um local para outro.

Nos capítulos seguintes será abordada a programação dos microcontroladores, breves definições e princípios de funcionamento dos equipamentos utilizados, custos no mercado atual e resultados obtidos com o protótipo.

Este trabalho abordará assuntos referentes ao desenvolvimento do *DigiBeetle*, cada seção foi dividida em capítulos.

O Capítulo 2 aborda a elaboração e construção da estrutura mecânica do projeto.

O Capítulo 3 trata dos diversos tipos de sensores, suas limitações, comparativos, e por fim a escolha definitiva para este projeto.

O Capítulo 4 foca na escolha e aplicação dos motores elétricos.

O Capítulo 5 envolve a escolha da bateria através de um comparativo entre vários modelos.

O Capítulo 6 trata da confecção eletrônica e mecânica do *DigiBeetle*.

Por fim, os Capítulos 7 e 8 abordam os resultados obtidos, discussões, possíveis melhorias e os resultados finais.

1.2. OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho consiste em desenvolver o projeto conceitual e o modelo de um protótipo de empilhadeira em escala reduzida para sua utilização em fins que deseja se uma movimentação de cargas de pesos diferenciados de maneira segura e prática.

1.3. JUSTIFICATIVA

A ideia deste projeto surgiu da necessidade de tornar os processos logísticos em geral mais seguros, tanto para as cargas transportadas como para as pessoas que trabalham no ramo, pois tornando tais processos automatizados pode-se reduzir consideravelmente os acidentes e riscos presentes.

Outro ponto que pode-se destacar é o desafio tecnológico de sua implementação, visto que o mesmo aborda a integração de áreas distintas da engenharia, tais como mecânica, elétrica, eletrônica e também mecatrônica.

Em algumas situações o ritmo dos serviços prestados requer o uso mais constante da empilhadeira, isto é, há muitas cargas a serem transportadas em um pequeno intervalo de tempo.

Isso faz com que o operador realize o seu controle de forma mais rápida, acelerando a movimentação do sistema e assim comprometendo a segurança do processo de movimentação de cargas.

O ato de realizar tais movimentos pode causar uma instabilidade considerável na carga, tornando seu deslocamento mais complexo e mais suscetível a quedas se for considerada uma situação ideal, onde não tenha obstruções em seu trajeto. Mas em uma situação real, pode-se perceber que há diversos fatores que impossibilitam um transporte livre. Entre estes fatores, pode-se destacar simplesmente a questão de espaço, pois o movimento dentro da fábrica fica reduzido e torna o controle da empilhadeira mais limitado.

Outro fator muito importante é a presença humana que deve ser levada em conta, pois o trânsito de pessoas na fábrica às vezes pode coincidir com o trajeto da empilhadeira de forma imprevisível, causando acidentes graves, tais como atropelamentos.

Dessa forma nota-se que a obstrução do percurso, seja por uma simples caixa caída, até uma pessoa passando ao mesmo tempo pelo mesmo local, e o manuseio inadequado pode comprometer seriamente este transporte, e uma implementação, torna-se necessária.

Com base nisso, a principal motivação deste trabalho é manter e melhorar a segurança dentro das indústrias, e em conjunto, tornar os transportes de carga mais eficientes, pois quando se trata da segurança das pessoas, medidas devem ser tomadas para contornar e eliminar possíveis fatores que possam colocar uma vida em risco.

É importante ressaltar que segurança é um indício de qualidade, e isso deve estar presente em qualquer processo que envolva uma prestação de serviços.

De acordo com Correa e Junior (2007, pg. 190), a maioria dos acidentes é causada por desatenção, falta de motivação, conflitos entre os problemas pessoais e os do trabalho, entre outros fatores.

Além disso, o operador em uma empilhadeira convencional é obrigado a pilotá-la, logo, ele fica muito próximo à carga, no qual o risco é maior. Dessa forma, optou-se por controlar a empilhadeira à distância, por meio de um controle remoto, para evitar que caso danos sejam causados no ambiente de trabalho, não sejam impactantes também ao seu operador.

Com base nisso, o objetivo deste trabalho é mesclar as ações humanas com a automação, tornando o processo mais seguro para todos, pois reduzindo as ações humanas e monitorando as ações executadas através de um sistema inteligente diminuirá drasticamente o risco de acidentes.

É importante ressaltar que o foco deste trabalho não é retirar as ações humanas do sistema, apenas reduzi-las, pois da mesma forma que um indivíduo pode cometer erros, uma máquina também pode estar sujeita a falhas e panes no sistema. Dessa forma, controlar e monitorar o processo são as melhores alternativas para se aumentar o grau de confiabilidade e segurança do local.

1.4. METODOLOGIA

Primeiramente foi realizado um estudo sobre os motores a serem utilizados para as diversas funcionalidades tais como movimentação e direção do *DigiBeetle*, e também a elevação das cargas propostas.

Com base nas características dos motores foram pesquisadas formas de acioná-los. Primeiramente foram feitas simulações computacionais e por fim confeccionados em placas de circuitos.

Além disso, foram estudados formas de controle remoto, de modo que foi escolhido o controle de Playstation para tal aplicação.

Para cumprir os requisitos de segurança deste sistema, foram escolhidos sensores de proximidade. Somado a isso, foram incluídos faróis de sinalização e uma buzina de alerta.

Para integrar, monitorar e controlar todas estas funcionalidades, foi designado o microcontrolador Tiva C Series. Sua escolha se deu em virtude da familiaridade da equipe com o mesmo e seu desempenho em comparação com outros microcontroladores de outros fabricantes. Para garantir a autonomia deste projeto, foi designada uma bateria.

Em paralelo a confecção eletrônica foi estudado também os modelos de empilhadeiras convencionais para a implementação mecânica. Em primeira instância, foi elaborado um desenho como base inicial para o projeto, posteriormente um modelo 3D através do *SolidWorks*.

Com base neste modelo 3D conceitual e também na necessidade de se ter uma noção da dimensão final do *DigiBeetle*, foi desenvolvida uma maquete de papelão que em seu estágio final foi substituída pelos componentes definitivos para este projeto, utilizando-se de chapas de alumínio, metal, entre outros.

1.5. ESTRUTURA DO DIGIBEETLE

A Figura 4 apresenta os diferentes componentes que serão utilizados na composição do protótipo.

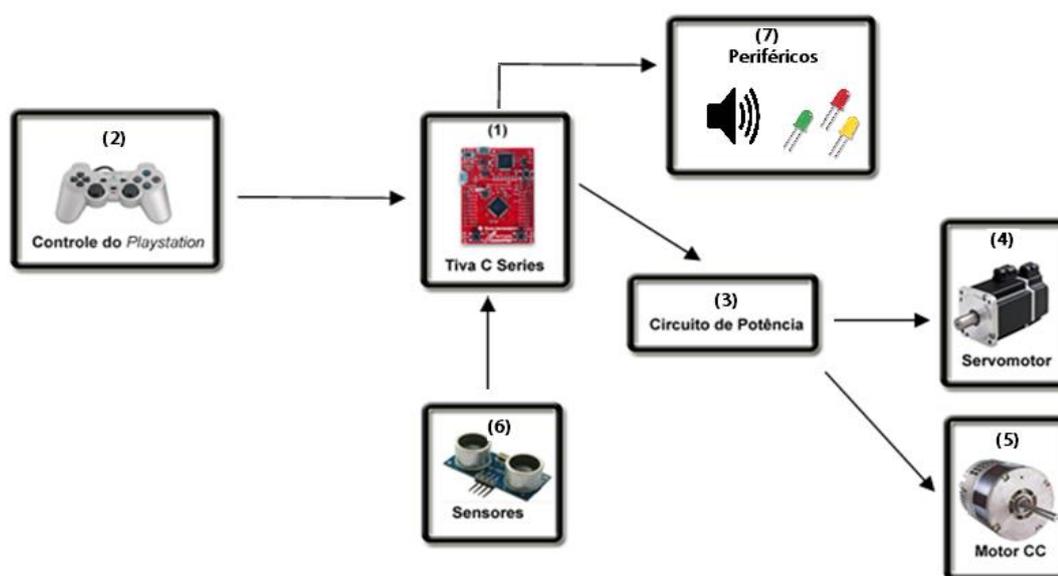


Figura 4 – Esquemático do Sistema de Controle
Fonte: Autoria própria.

A ideia básica do projeto consiste e está centralizada no Tiva C Series (1), que é o cérebro do projeto, por se tratar do microcontrolador de maior potência computacional, o qual interpreta as informações recebidas do “Controle de Playstation” (2), processa os dados e envia os comandos necessários para o “Circuito de Potência” (3) para o acionamento correto dos motores (4) e (5).

O Tiva é responsável pelo processamento do sistema, composta pela tomada de decisões relacionadas à movimentação e funcionalidades dos motores, sendo assim responsável por grande parte do funcionamento do projeto.

Basicamente o Tiva (1) irá processar os dados recebidos e posteriormente realizará uma tomada de decisão, isto é, informará os demais componentes sobre a ação a ser tomada. Essa informação será enviada por meio de *bits*, em ‘1’ ou ‘0’, ou

seja, se a empilhadeira encontrar um obstáculo, o microcontrolador tomará a decisão e informará por meio de um *bit* em '1' para a parada do dispositivo móvel.

Um circuito de potência, em (3), é composto por duas pontes H e transistores. Todos estes componentes são necessários para realizar um acionamento eficaz e seguro dos motores, protegendo assim os componentes eletrônicos mais sensíveis presentes nos controladores.

Os motores apresentados em (4) e (5) são acionados através do circuito de potência descrito acima, no qual é controlado por sinais provenientes do Tiva C (1). A função que cada motor exercerá neste projeto será apresentada com mais detalhes no Capítulo 4.

A função dos sensores, em (6), é fundamental para o funcionamento completo e seguro do projeto, atuando principalmente contra colisões. Foram utilizados sensores ultrassônicos para capturar os dados de distância que serão transmitidos para o Tiva (1).

O sensor ultrassônico gera um sinal que é enviado para o microcontrolador Tiva (1) que interpretará e calculará a distância entre o *DigiBeetle* e o obstáculo.

Desse modo, se o objeto adentrar uma zona muito próxima a do *DigiBeetle*, o sinal será transmitido ao Tiva (1) para que o mesmo envie comandos de redução de velocidade do motor de tração gradualmente e proporcional à distância, de modo que o operador tenha tempo o suficiente para realizar manobras evasivas.

O sensor escolhido para esta função foi o HC-SR04, sendo que os parâmetros de sua escolha são tratados na sequência, no Capítulo 3.

O controle de movimentação do *DigiBeetle* será realizado a partir do uso de um *Joystick*, em (2), adaptado do *videogame* Playstation. Este atuará de maneira tal, que enviará para o Tiva C Series (1) os dados gerados pelo usuário de modo a controlar os motores, que serão responsáveis pela movimentação do protótipo e suas funcionalidades.

Pelo fato da possibilidade do referido controle ser sem fio, será possível garantir a segurança do usuário, pois como estará operando a empilhadeira por um controle remoto, estará assim permitindo o usuário permanecer a uma distância de aproximadamente 15 metros (por meio da tecnologia Bluetooth 2.0 presente em tais

controles), segura da empilhadeira, livrando-o de qualquer risco entre carga-usuário.

Em (7) estão presentes os periféricos, tais como os faróis de sinalização e iluminação, e alerta sonoro.

1.6. CONTROLE DE MOVIMENTAÇÃO E FUNCIONALIDADES DA EMPILHADEIRA

Para realizar a parte de movimentação do *DigiBeetle*, será feita uma adaptação do *joystick* do *videogame* Playstation, sendo ele com fio ou sem fio, tendo em vista que o seu protocolo não se altera para ambos modelos. A Figura 5 ilustra o modelo escolhido.



Figura 5 – Controle do *videogame* Playstation
Fonte: Autoria própria.

Com base na Figura 5, este controle possui dois *joysticks* analógicos, como observado em (1) e (2). O sinal proveniente do *joystick* analógico esquerdo é utilizado para a movimentação do protótipo para “frente” ou para “trás”. Já o analógico direito é usado para a movimentação lateral (esquerda e direita).

O controle apresenta quatro botões direcionais, em (3), presentes na parte esquerda. São utilizados somente os direcionais “para cima” e “para baixo”, os quais possuem a função de controlar o motor responsável pela elevação da carga”.

Na mesma Figura 5 em (4) e (5), encontram-se os botões de funções secundárias. Abaixo é apresentada a função de cada botão:

- “O”: acende um pequeno farol de sinalização;
- “X”: desliga um pequeno farol de sinalização;
- “Δ”: enviará um sinal sonoro de alerta (buzina);
- “R1”: ativa a função de segurança dos sensores;
- “R2”: desliga a função de segurança dos sensores.

Os botões remanescentes ficam isentos de qualquer funcionalidade no momento, podendo ser acrescentadas funções no projeto futuro.

2. ESTRUTURA MECÂNICA

Primeiramente, foram estudadas as estruturas mecânicas das empilhadeiras convencionais para a confecção do *DigiBeetle*. Apesar da parte mecânica não ser realmente o foco deste projeto, ela deve possuir um bom acabamento para não comprometer o desempenho do sistema de modo geral. Desta forma, foram estudados modelos já existentes para a confecção e montagem do protótipo.

É importante ressaltar que os motores apresentados neste capítulo serão abordados mais detalhadamente no Capítulo 4.

2.1 MODELO DEFINITIVO

Para o melhor desenvolvimento do projeto, foi feito um estudo nas melhores possibilidades e configurações de empilhadeiras convencionais. As Figuras 6 e 7 apresentam os modelos no qual o protótipo está baseado.



Figura 6 – Empilhadeira Elétrica Manual
Fonte: Transall (2015).



Figura 7– Empilhadeira Manual
Fonte: AJR Rental (2015).

O protótipo em questão é a junção destes dois modelos, pois na Figura 6 é possível perceber que o operador não fica situado sobre a empilhadeira, o que torna o processo mais seguro. Já na Figura 7, será utilizado o arranjo dos componentes em geral, tal como o arranjo das rodas, posição de encaixe dos garfos, etc. Desse modo, o *DigiBeetle* terá um compartimento específico para os componentes, seguindo o modelo da Figura 7, e além disso, não necessitará de uma alocação para o operador, como visto na Figura 6.

2.1.1 Dimensões

Para que o projeto fosse o mais real possível, o protótipo final foi confeccionado baseado em uma empilhadeira convencional. Com suas dimensões correspondendo a escala de 1:5 de uma empilhadeira real. O tamanho definitivo do *DigiBeetle* é representado na Figura 8.

É importante ressaltar que esta Figura 8 só representa o seu tamanho, mas não sua confecção em estado pleno.



Figura 8 – *DigiBeetle*: Versão preliminar
Fonte: Autoria própria.

2.1.2 Sistema De Elevação

O sistema que anteriormente seria realizado por meio de uma cremalheira foi otimizado e passou a ser utilizado outro método de elevação. Esse novo método empregado baseia-se em um sistema de rosca e cabos de aço, semelhante em parte com uma empilhadeira convencional.

Anteriormente, quando a carga fosse elevada a cremalheira se deslocaria em conjunto, pois o sistema estava interligado. Com base nisso, no momento em que fosse realizada a subida da carga, este movimento poderia acarretar problemas em uma situação de maior escala, pois como a cremalheira iria ficar levantada em conjunto com a carga, ela poderia bater ou prender em locais mais altos, gerando danos à carga, à empilhadeira e possivelmente o operador caso o mesmo esteja relativamente próximo.

O modelo final conta com uma torre de elevação de até dois níveis de altura definidos, na qual o primeiro nível fica na faixa de 50 cm, e nível seguinte sua altura pode chegar até 1 m.

Os materiais utilizados no sistema de elevação desenvolvido foram:

- Cabos de aço;
- Rolamentos laterais;
- Rolamentos internos;
- Polias;
- Parafusos;
- Porcas;
- Chapas de alumínio;
- Barra roscada.

As Figuras 9 e 10 ilustram o sistema de elevação utilizado no protótipo.

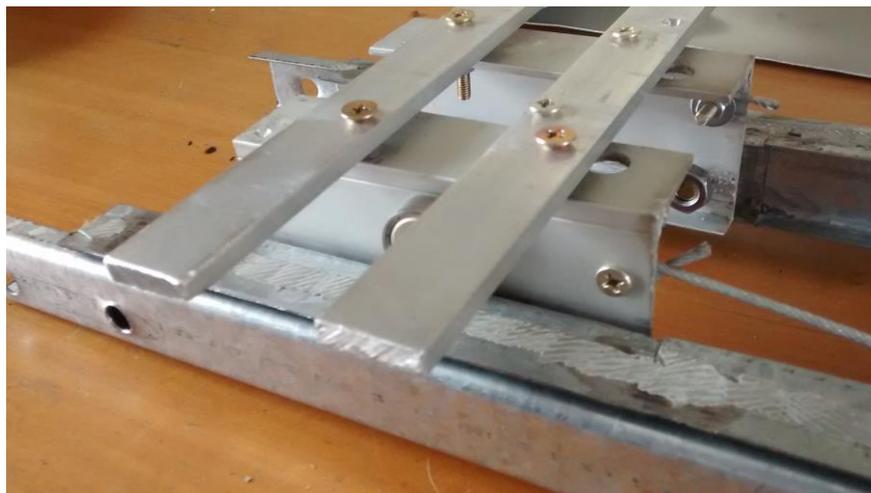


Figura 9 – Torre de elevação: barras de apoio
Fonte: Autoria própria.



Figura 10 – Rolamentos internos para elevação de carga
Fonte: Autoria própria.

De acordo com a NSK Motion & Control (2015), são equipamentos mecânicos cruciais para garantir o desempenho e a estabilidade das máquinas e a sua função básica é reduzir o atrito mecânico.

Com os rolamentos devidamente acoplados, o sistema terá menos desgaste por atrito, e assim sua vida útil é prolongada. Além disso, como são equipamentos preventivos à abrasão, conseguem evitar avarias mecânicas. Por último os rolamentos permitem a transmissão mais eficiente de energia, ou seja, contribuem para a redução de perdas.

Com base nisso, os rolamentos presentes no *DigiBeetle* foram utilizados para reduzir as folgas internas e consequentemente aumentar a estabilidade da elevação de cargas. Além disso, os rolamentos são mais discretos que a cremalheira, pois estarão internos à estrutura.

Com relação à sua movimentação, este sistema conta com um motor CC acoplado à estrutura, situado abaixo do chassi, como mostra a Figura 11.

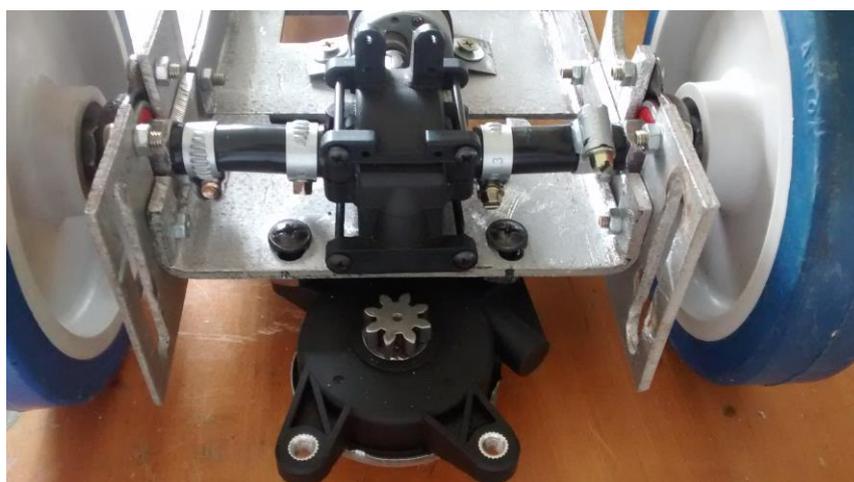


Figura 11 – Motor CC para elevação de carga
Fonte: Autoria própria.

Este motor tem no seu eixo uma rosca com rolamentos internos na qual estará diretamente acoplada à torre de elevação mostrada na Figura 11, por onde é transmitido o torque. Desta forma, caso o motor seja acionado, a rosca irá girar em torno de seu eixo, movimentando assim para cima ou para baixo dependendo da ação do operador a torre de elevação. A seguir, as Figuras 12 e 13 ilustram o modelo proposto.



Figura 12 – Torre de elevação acoplada
Fonte: Autorial própria.



Figura 13 – Ponto de acoplamento na Torre de elevação
Fonte: Autorial própria.

Como é possível observar na Figura 13, o eixo da rosca, que está diretamente ligado ao motor CC, está também fixado à estrutura da torre de elevação. Estes fatores garantem a estabilidade durante a elevação de cargas.

2.1.3 Sistema De Tração E Direção

No modelo conceitual, a direção do protótipo estava concentrada nas rodas dianteiras e a tração na traseira. Este sistema sofreu inversão onde as rodas dianteiras passaram a controlar a tração e as rodas traseiras passaram a controlar a direção, semelhantes a um modelo real de empilhadeira.

Outra alteração realizada foi em relação ao sistema de tração das rodas, anteriormente ela seria feita por meio de um sistema de correias. Esse sistema foi substituído pelo uso de um diferencial.

De acordo com Filippin (2009, pg.149), o diferencial é um equipamento mecânico específico para casos em que é necessário um controle preciso de velocidade, pois o mesmo consegue transmitir o torque de um eixo para outros eixos de forma satisfatória e compensada.

Há vários modelos diferentes de diferenciais, entretanto para este caso foi escolhido um diferencial automotivo com uma relação de giro de 3:1 aproximadamente, isto é, três giros do eixo principal transmitem apenas um giro aos eixos secundários. A Figura 14 ilustra o diferencial utilizado.



Figura 14 – Diferencial Automotivo 3:1
Fonte: A autoria própria.

É importante ressaltar que neste sistema, a velocidade do eixo principal é reduzida em um terço, mas em compensação seu torque é elevado proporcionalmente em virtude da relação de dentes da engrenagem representadas acima.

Desse modo, ao utilizar um diferencial ao invés de correias, a transmissão de torque do motor de tração ao eixo fica otimizada, pois o diferencial estará diretamente acoplado ao eixo e distribuirá esta força de modo igual para as duas rodas dianteiras. Somado a este fator, a sistema de correias de modo geral por mais eficiente que seja possui folgas, e estas folgas podem gerar perdas tornando o sistema mais suscetível à eventuais problemas, tais como estabilidade e durabilidade do sistema como um todo.

As rodas foram acopladas diretamente ao diferencial para reduzir as perdas mecânicas e junto a elas foram adicionados rolamentos em seu eixo para diminuir possíveis folgas e desgastes ao se movimentar, como mostram as Figuras 15 e 16.



Figura 15 – Diferencial Automotivo 3:1 no eixo da tração
Fonte: Autoria própria.



Figura 16 – Acoplamento do sistema de tração nas rodas dianteiras
Fonte: Autoria própria.

Por último, o diferencial foi acoplado junto com o motor CC ao seu eixo principal, para transmitir o torque necessário para o funcionamento correto do sistema de tração. Além disso, este sistema conta com braçadeiras, para garantir que o motor e o diferencial fiquem fixos, como mostram as Figuras 17 e 18.



Figura 17 – Acoplamento do Motor CC ao eixo principal do diferencial
Fonte: Autoria própria.

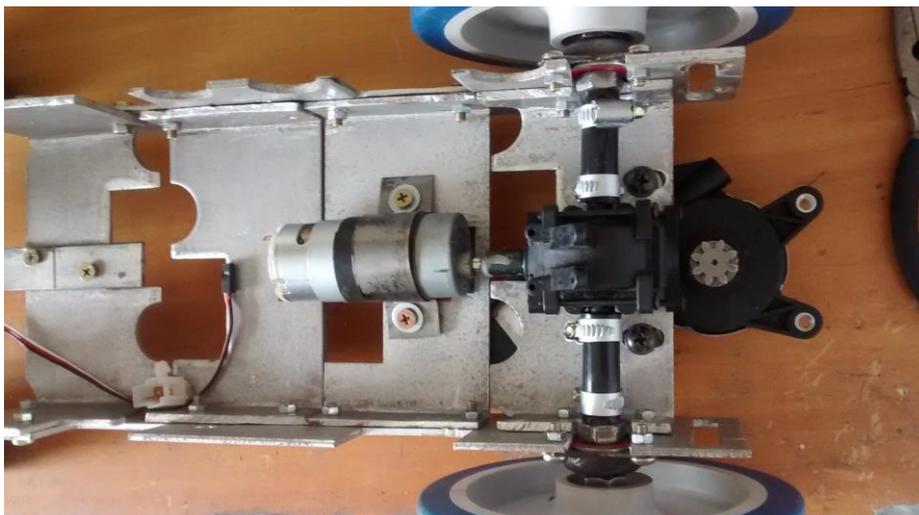


Figura 18 – Acoplamento do Motor CC ao eixo principal do diferencial
Fonte: Autoria própria.

Com relação ao sistema de direção, o *DigiBeetle* possui um sistema de fácil compreensão, na qual o motor responsável pelo tal movimento está centralizado na estrutura, e diretamente ligado a braços de apoio que transmitirão o seu torque para as rodas, estes braços são responsáveis por mudar a angulação de operação e consequentemente a trajetória do protótipo. As Figuras 19 a 21 ilustram este modelo proposto.

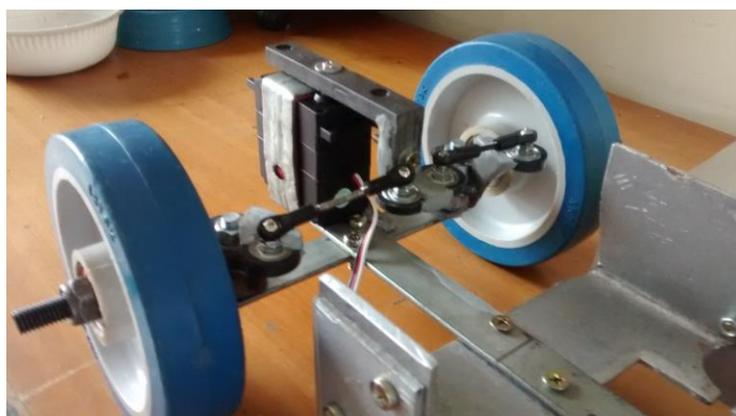


Figura 19 – Sistema de direção: posição nula
Fonte: Autoria própria.

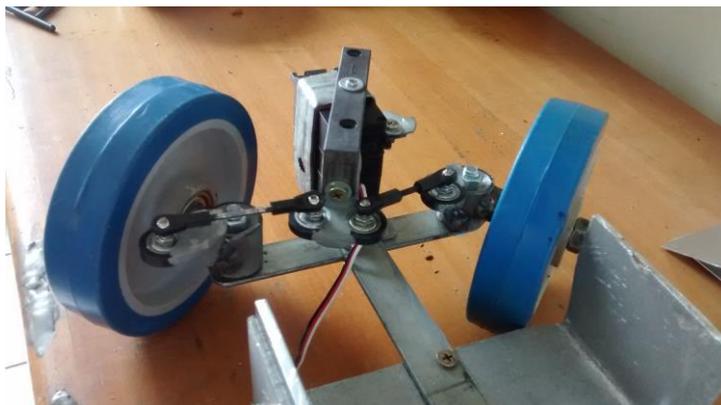


Figura 20 – Sistema de direção: movimento para a direita
Fonte: Autoria própria.

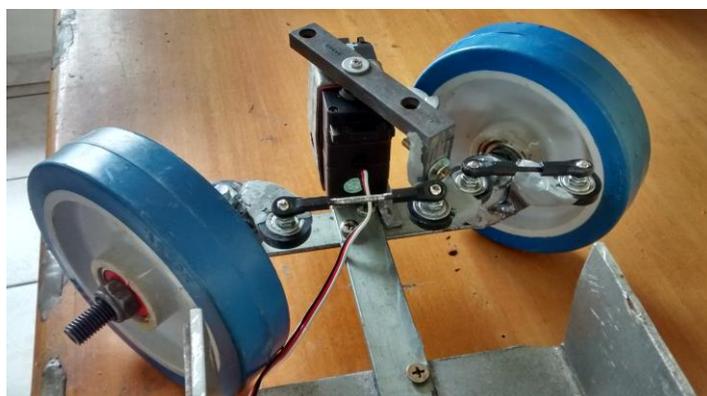


Figura 21– Sistema de direção: movimento para a esquerda
Fonte: Autoria própria.

É importante ressaltar que em todos os acoplamentos envolvendo motores há a presença de braçadeiras. Estas braçadeiras tem a função de tornar o sistema mais estável, pois elas travam os componentes à estrutura, isso faz com que o motor opere sem vibrações e folgas desnecessárias.

3. SENSORES

O uso de sensores é necessário neste projeto em virtude das variáveis que deseja se monitorar e controlar. A principal grandeza física a ser monitorada é a distância.

3.1 TIPOS DE SENSORES

Há vários modelos de sensores diferentes existentes no mercado, mas para o este projeto serão abordados apenas os sensores relacionados a monitoramentos de objetos e outros parâmetros tais como distâncias.

Na sequência serão apresentados os sensores de distância e os sensores de proximidade.

3.1.1 Sensor De Proximidade

Segundo Alves (2013), estes sensores são dispositivos identificadores de presença e distância de um objeto nas proximidades sem a necessidade de contato direto, que acionam um circuito elétrico que controla um dado mecanismo, tal como um alarme sonoro, o movimento de uma porta ou o *display* de um celular.

O seu modo de funcionamento depende basicamente de sua aplicação e também do material que se deseja detectar. O sensor de proximidade pode ser dividido em quatro tipos: capacitivo, indutivo, infravermelho e o acústico. Mas estes sensores são muito sensíveis a certos fatores tais como a luz, e por isso serão utilizados os sensores de distância ao invés de sensores de proximidade.

3.1.2 Sensor De Distância

Este tipo de sensor é utilizado na navegação de robôs e também no desvio de obstáculos, onde a sua utilização consiste em estimar distâncias dos objetos mais próximos através de diversos cálculos.

Entre estes diversos métodos, o mais importante para este projeto é o de ultrassom. Este método se difere basicamente dos demais por utilizar o som ao invés da luz e consiste em enviar durante um curto período de tempo um sinal ultrassônico.

Como a velocidade do som no meio inserido já é conhecida, basta realizar um cálculo específico envolvendo o intervalo de tempo desde o envio do sinal até o seu retorno para se determinar a distância da superfície do objeto que refletiu este sinal.

Para este projeto, foi determinado que o sensor ultrassônico foi o mais viável para esta aplicação, pois ele conseguiu captar com precisão a distância de objetos próximos ou não, são mais baratos se comparados com os sensores de proximidade, e permitem um maior leque de possibilidades utilizando microcontroladores, que neste caso, será o Tiva.

Logo o sensor ultrassônico será tratado na sequência, como mais detalhes sobre sua definição, princípio de funcionamento e modelos atualmente utilizados.

3.2 SENSOR ULTRASSÔNICO

Este sensor é bastante usado em aplicações industriais, pois pode ser utilizado para detectar a passagem de objetos numa linha montagem, detectar a presença de pessoas ou até mesmo substâncias num reservatório de modo a ser possível medir o nível do mesmo. A Figura 22 demonstra um modelo deste tipo de sensor.



Figura 22 – Sensor Ultrassônico
Fonte: Wendling (2010).

3.2.1 Vantagens Do Sensor Ultrassônico

Os sensores ultrassônicos se caracterizam por operar através de um tipo de radiação não sujeita a interferências eletromagnéticas, o que pode torná-lo de suma importância em algumas aplicações.

Esse sensor é bastante útil na detecção de objetos de certa distância, desde que os mesmos não sejam muito pequenos e também sejam capazes de refletir o sinal. Sua faixa de operação na detecção de objetos é bem diversificada, pois as distâncias podem variar de milímetros até vários metros. Além disso, podem ser utilizados também para detectar vários tipos de objetos e substâncias.

3.2.2 Desvantagens Do Sensor Ultrassônico

De acordo com Gouveia (2014), o sensor ultrassônico não é o mais preciso de todos, pois há vários fatores que podem interferir em sua medição. Sabendo-se que a velocidade do som não é constante em todos os meios, isto é, a temperatura e umidade do ar podem modificá-la, a precisão deste sensor pode ficar debilitada em virtude de condições muito quentes ou muito frias, tornando-o ineficaz em algumas situações.

Com relação ao tipo de objeto detectado, ele também pode interferir na medição deste sensor. Por exemplo, um objeto metálico consegue refletir o sinal emitido de forma bem eficiente, já materiais macios, tais como tecidos, geralmente

absorvem as ondas sonoras ao invés de refleti-las. Logo, a precisão deste sensor também é influenciada pelo tipo de objeto que se deseja detectar.

3.3 CARACTERÍSTICAS DOS SENSORES ULTRASSÔNICOS

Um fator muito importante a respeito do ultrassom é que como estes sinais passam através de materiais sólidos, acabam sofrendo alterações significativas de velocidade em virtude da mudança das características do meio em que se encontra.

Por tal razão, é possível utilizá-los de maneira muito eficiente para detectar falhas internas de materiais como rachaduras e bolhas. Logo os sensores ultrassônicos podem detectar vários objetos diferentes.

De acordo com Braga (2012), estes objetos detectados podem ser divididos em três categorias:

- Superfícies planas como fluidos, caixas, folhas, ou placas de plástico, papel, vidro, entre outros;
- Objetos cilíndricos como garrafas, canos, latas e até o corpo humano;
- Pó e grãos, tais como minerais, areia, cereais, entre outros.

É importante saber exatamente qual é o tipo de objeto que se deseja detectar, pois suas características resultam em uma melhor ou pior capacidade de reflexão dos ultrassons e assim, as distâncias máximas que os mesmos podem captar.

Outra característica muito importante é a direção do sensor ultrassônico, ou seja, para onde o mesmo será direcionado e o seu ângulo de operação.

Esta angulação normalmente é entre 8 graus e 30 graus, isso implica que o objeto a ser detectado deve estar ou passar dentro por uma região que possua uma maior intensidade do sinal.

Logo, com base, na angulação imposta no emissor do sensor, pode-se abranger a faixa de detecção do sensor ao direcioná-lo de forma mais apropriada.

Dessa forma, estes sensores são excelentes para detectar a presença de objetos a distâncias curtas, visto que os sensores ultrassônicos, diferentemente de

luz e sinais elétricos, não são afetados por interferências elétricas ou mesmo a luz do ambiente.

3.4 ESPECIFICAÇÃO E COMPARATIVO DOS SENSORES ULTRASSÔNICOS

Há vários modelos de sensores ultrassônicos disponíveis no mercado. Entretanto, serão apresentados os modelos mais comuns para realizar um comparativo simplificado dos mesmos. As Figuras 23 a 26 mostram alguns modelos atuais.



Figura 23 – MaxSonar EZ0
Fonte: MultiLogica Shop (2015).



Figura 24 – Sensor Ultrassônico HC-SR04
Fonte: DX (2015).



Figura 25 – Bat Sensor Ultrasonic
Fonte: DX (2015).



Figura 26 – Sensor Ultrassônico US-015
Fonte: DX (2015).

Agora que já foi apresentado sobre alguns sensores ultrassônicos, pode-se criar um comparativo entre eles para um efeito melhor de compreensão. A Tabela 1 ilustra lado a lado as especificações de cada um dos referidos sensores:

Tabela 1 – Comparativo de Sensores ultrassônicos

Sensores	EZO	BAT	US-015	HC-SR04
<u>Dimensões (cm)</u>	2,2 x 2,0 x 1,6	5,5 x 1,9 x 1,3	4,4 x 2,6 x 1,8	4,5 x 2,0 x 1,3
<u>Peso (g)</u>	4,3	8	7	10
<u>Alcance (m)</u>	0 a 6,45	0,02 a 5	0,02 a 4	0,02 a 5
<u>Precisão (mm)</u>	25	2	3	3
<u>Frequência de Operação (kHz)</u>	42	40	40	40
<u>Alimentação (VDC)</u>	2,5 a 5,5	5	5	5
<u>Preço (R\$)</u>	213,00	54,96	8,03	7,56

Com base nas características propostas na Tabela 1, o sensor ultrassônico escolhido foi o modelo HC–SR04, amplamente utilizado para sistemas embarcados e de grande aplicação na eletrônica, devido a sua compatibilidade com outros equipamentos. Além disso, este sensor permite detectar objetos que estão na faixa de 2 cm a 5 m, com uma resolução de 0,3 cm, sendo que esta distância é mais do que suficiente para o protótipo.

O principal motivo da escolha desse sensor é que o mesmo pode ser facilmente encontrado em praticamente qualquer loja especializada em equipamentos eletrônicos, além de seu preço ser bem acessível em relação aos demais.

Este sensor também possui um circuito de modulação próprio e suas bibliotecas podem ser facilmente obtidas na internet, por meio de fóruns voltados para micro controladores.

É importante ressaltar que sua compatibilidade com os microcontroladores é bem grande, pois pode operar com o PIC, Arduino, Atmel, Tiva C Series, entre outros.

Outro fator é que sua precisão é aceitável, e seu tamanho é bastante reduzido, logo, pode-se encaixá-lo em vários módulos e suportes e dessa forma, não ocupam muito espaço em projetos mais complexos.

As desvantagens que esse sensor apresenta é com relação à precisão da distância medida e com o seu padrão de comunicação. A precisão dele é baixa se estiver muito próximo do objeto, pois se estiver praticamente encostado, o sensor fará uma leitura errônea, mas pelo fato do protótipo evitar obstáculos, a leitura não será feita nessas condições.

A comunicação dele é mais simples, enviando apenas um sinal do tempo percorrido pelo eco, logo é preciso realizar uma programação específica para conversão da grandeza física tempo para distância. Esta conversão se dará por meio do microcontrolador Tiva C.

4 MOTORES

Este capítulo abrange o estudo e as diferentes aplicações dos motores que serão utilizados ao longo deste projeto. Está fundamentado em tópicos, nos quais estarão descritos sequencialmente suas funções.

4.1 INTRODUÇÃO AO USO DE MOTORES

Como as principais funcionalidades da empilhadeira envolvem movimentação, levantamento de carga e controle de posição, é necessário aplicar um sistema dedicado no qual essas tarefas sejam realizadas de maneira adequada e segura.

Para tal foram designados motores elétricos, tendo em vista que através do uso de microcontroladores é mais fácil obter o controle e acionamento desses motores.

Para a configuração plena desse projeto, foram selecionados três motores específicos, sendo eles:

- Servo Motor de 180° – Este motor possui uma boa precisão, mas não é um modelo de plena rotação e possui um torque elevado (33 kgf.cm). Logo, este motor pode ser utilizado exclusivamente para a direção das rodas traseiras, realizando assim um controle preciso e rápido, caso alguma manobra seja necessária.
- Motores de Corrente Contínua (CC) – O motor de corrente contínua possui um ajuste excelente de velocidade, pois dependendo de sua tensão de alimentação, a velocidade e torque variam gradualmente. Serão utilizados dois motores deste tipo, um deles será usado para a tração nas rodas dianteiras e o outro para elevação de cargas.

Nos tópicos seguintes serão abordados com mais detalhes a utilização de cada motor escolhido.

4.2 MOTOR DE ELEVAÇÃO

Para esta aplicação, é necessário um motor robusto, de bastante torque para conseguir elevar a carga proposta (até 10 kg) de modo efetivo e ter uma velocidade relativamente baixa, para que assim a estabilidade do sistema de elevação não seja comprometida.

Foi escolhido um motor CC comumente utilizado para levantar vidro de automóveis, visto que são relativamente fáceis de encontrar e possuem um torque suficiente para esta tarefa.

O motor escolhido é da fabricante General Motors, do levantador de vidro da porta traseira, utilizado normalmente no Automóvel Corsa (modelo de 1996/1998) e seu custo está na faixa de R\$100,00 a R\$280,00, durante o primeiro semestre de 2015.

O torque deste motor não está especificado pelo fabricante, mas pelo fato deste motor ter a função de levantar vidro, o motor possui aparentemente um torque aceitável para a função designada neste projeto. Somado a isso, apesar de serem pequenos, possuem uma caixa de redução acoplada.

Com um tacômetro foi possível medir sua velocidade e constatar que o referido motor possui uma velocidade aproximada de 90 RPM, velocidade adequada para levantar a carga com boa estabilidade e precisão. Por fim, sua tensão de operação nominal é de 12 V. A Figura 27 ilustra o motor utilizado e seu posicionamento no protótipo.



Figura 27 – Motor CC utilizado em automóveis
Fonte: Autoria própria.

A partir dessa premissa, este motor será utilizado para o levantamento de uma carga que estará entre 5 e 10 kg.

4.3 ESCOLHA DO MOTOR DE DIRECIONAMENTO

De acordo com Dave Polka (2003, pg. 123), os servo motores são dispositivos eletromecânicos que operam com degraus de rotação de precisão. Portanto, velocidades rápidas e precisas, torque e direção de controle são as características marcantes deste motor. Devido a esses parâmetros, um alto torque de partida pode ser obtido de um servo motor. Por último, este motor responde rapidamente a um sinal positivo ou negativo de um servo amplificador.

O servo motor foi escolhido para esta tarefa porque é um motor que se permite um controle mais preciso e menos complexo, em virtude de ser facilmente controlado por microcontroladores específicos como Tiva C Series ou mesmo Arduino. Tendo em vista que seu posicionamento se dá com base em um sinal Pulse

Width Modulation (PWM) com frequência fixa de 50 Hz, e por meio da variação de sua razão cíclica. Tal sinal pode ser facilmente gerado por meio do uso de microcontroladores, com o uso de seus periféricos denominados *Timers*.

Pelo fato do servo motor ser de pequeno porte e de torques elevados, pode ser facilmente instalado em qualquer projeto de robótica ou eletrônica aplicada. Os servos normalmente são dotados de caixas de redução que tem a função a reduzir a velocidade do motor consideravelmente, mas o seu torque de operação aumenta drasticamente. Dessa forma, o motor escolhido tem capacidade suficiente para movimentar e rotacionar corretamente os braços da direção do protótipo.

Como estes motores possuem um controlador proporcional–integral–derivativo (PID) interno, o seu acionamento se torna bem simples, já que apenas um sinal de entrada é aplicado. Fazendo com que o mesmo obtenha uma resposta autônoma e independente, chegando ao ângulo desejado com precisão.

Por último, o servo motor é um tipo de motor que consegue manter a posição desejada, uma vez que este apresenta torque em rotação nula.

O protótipo em questão é composto por quatro rodas, nos quais duas são fixas e fornecerão sustentação e equilíbrio à empilhadeira e as outras duas são móveis e podem girar tanto para “esquerda” quanto para “direita”, conforme o controle fornecido. No entanto, para estabelecer esse controle é necessário um sistema específico, no qual o modelo *Super Servo SpringRC 33 kg Metal Baja*, do fabricante SpringRC, comporta esta função.

Este servo é um motor bem difundido no mundo do automobilismo (carrinhos de controle remoto esportivos) logo pode ser encontrado facilmente e seu preço está relativamente em conta, variando de modelos mais simples R\$ 50,00 até modelos mais robustos de R\$ 120,00 em diante. É importante tomar nota que este modelo em questão é à prova d’água e sua cotação também é referente ao primeiro semestre de 2015. A Figura 28 representa o modelo em questão.



Figura 28 – Servo Motor SpringRC 33 kg Baja
Fonte: Spring Model Eletronics CO. LTD (2015).

De acordo com as especificações do motor, o servo apresenta rotação máxima de 180 graus e torque a 6 V é de 33,0 kgf.cm. Isso implica que o sistema é capaz de segurar uma carga de 33 kg a uma distância de 1 cm do eixo. Através de uma caixa de redução já projetada pelo fabricante do motor, torna-se possível elevar o torque com o custo de redução de velocidade.

4.4 MOTOR DO GARFO

Para o movimento dos garfos do *DigiBeetle* foi previsto o uso de um motor de passo, pois este tipo de motor é mais facilmente manipulado por meio de um controlador, nesse caso o Tiva. Desse modo, seria possível ajustar a posição dos garfos de modo mais preciso, possibilitando assim um ajuste mais fino para encaixes de cargas através dos *pallets*.

Mas por questão de espaço na estrutura mecânica não foi possível implementar esta função. Além disso, como este motor não possui uma rotação rápida, ele não seria capaz de deslocar os garfos numa velocidade adequada.

O ideal seria colocar dois micro motores nas laterais da estrutura do garfo, mas isto inviabilizaria o projeto em condições maiores para esta simples função. Com base nisso, foi optado por se utilizar encaixes acoplados atrás dos garfos, para que assim seu acoplamento na torre de elevação permita que o operador regule a

distância entre os garfos de acordo com a aplicação, semelhante a uma empilhadeira convencional. A Figura 29 ilustra os encaixes citados.

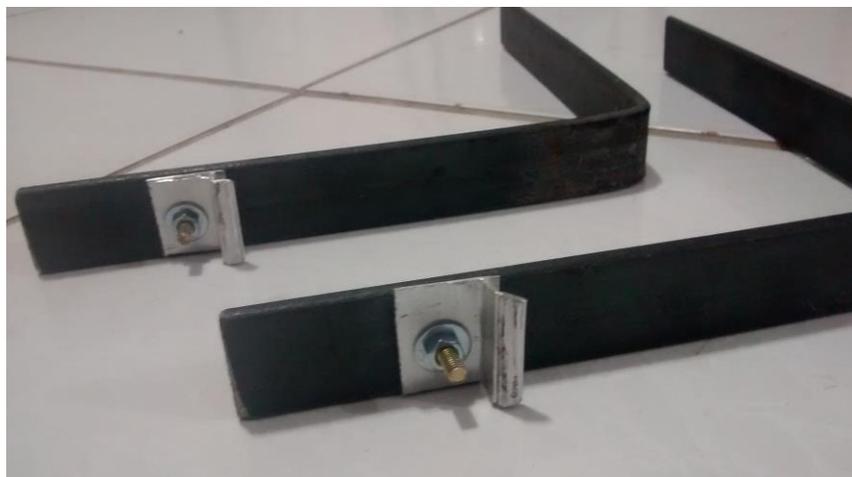


Figura 29 – Encaixe dos garfos
Fonte: Autoria própria.

4.5 MOTOR DE TRAÇÃO

Mesmo tendo realizado todos os princípios básicos do funcionamento de uma empilhadeira tais como movimentos verticais para elevação de carga, ainda necessita de um elemento fundamental, a movimentação. Um servo motor ou um motor de passo robusto tornaria o projeto inviável financeiramente. Logo, a melhor escolha é um motor CC com boas propriedades.

O motor definitivo escolhido foi o micro-motor CC AK555-11.1 da fabricante Akiyama. Este motor é compacto, potente e conta com uma caixa de redução já acoplada de modo a diminuir sua velocidade e aumentar seu torque para qualquer aplicação.

O referido motor opera com uma tensão de 6 V a 24 V, mas sua tensão nominal é 12 V, possui uma velocidade de 83 RPM, e sua corrente nominal é de aproximadamente 430 mA. Este motor é representado na Figura 30.



Figura 30 – Motor CC Akiyama
Fonte: Akiyama Motors (2015).

Segundo informações de seu fabricante, durante a partida sua corrente pode chegar a exatos 6 A e seu torque 53 kgf.cm, um valor adequado para este projeto, já que é necessário um alto torque inicial para conseguir vencer a inércia ao qual o protótipo está submetido.

O torque em seu rendimento máximo chega a 11,1 kgf.cm, valor médio para esta aplicação, mas graças ao diferencial automotivo citado anteriormente, este torque pode ser aumentado ao custo de uma baixa velocidade.

Com base nisso, sua velocidade cai de 83 RPM para 27,667 RPM e seu torque sobe proporcionalmente, suficiente para tracionar o *DigiBeetle*.

Este motor tem a finalidade da movimentação do protótipo e estará presente na sua parte dianteira. O seu uso se deve ao fato de seu acionamento e controle serem práticos e também robustos. O preço comercial deste motor, segundo a cotação do segundo semestre de 2015, está na faixa de R\$ 100,00.

É possível a inversão do sentido de rotação deste tipo de motor apenas com a inversão da polaridade dos terminais de alimentação, e conseqüentemente, a inversão do sentido da corrente. Tendo em vista que este motor a ser utilizado possui uma alta corrente de partida, o mesmo necessita de uma ponte H que suporte correntes elevadas. Esta corrente de partida é elevada para retirar o protótipo da inércia.

Pontes H compostas por transistores de efeito de campo – FET são ideais para este tipo de acionamento, podendo chegar a acionamentos de 110 A com o uso do MOSFET IRF3205. São de certa forma baratos, custando cerca de R\$ 8,00 em lojas locais. A ponte H confeccionada é capaz de suportar uma corrente de até 40 A, e será melhor abordada no Capítulo 6.

5 ESCOLHA DA BATERIA

De acordo com o Art. 2º da Resolução nº 257/99 do CONAMA, baterias são um conjunto de pilhas ou acumuladores recarregáveis interligados convenientemente, e segundo Bocchi et al (2000, p.3) as pilhas podem estar agrupadas em série ou paralelo.

As baterias são componentes que limitam muito a autonomia de dispositivos móveis, além de constituírem uma parte significativa de seu peso.

Para este projeto, o uso de baterias foi selecionado justamente pelo fato dos motores especificados serem DC, logo a sua alimentação proveniente das baterias já está de acordo, só devendo-se ficar atento à capacidade de corrente e tensões de operação.

A utilização de baterias também é justificável pelo fato de não haver uma necessidade nesse caso de projetar conversores CA/CC, visto que a alimentação dos motores e dispositivos eletrônicos será feita diretamente, ou seja, não será vinda da rede elétrica.

Além disso, como a empilhadeira é móvel e independente, não há razões para a mesma estar ligada através de cabos alimentadores externos, isto prejudicaria muito o seu movimento, ou o local que ela está inserida pois causaria possíveis obstruções e até causando a impossibilidade de seu uso. A seguir serão citados alguns tipos de baterias atuantes no mercado.

5.1 BATERIA DE CHUMBO-ÁCIDO

Conforme consta na NBR 7039/87 as baterias de chumbo-ácido são acumuladores no qual o material ativo das placas positivas é constituído por compostos de chumbo, e os das placas negativas essencialmente por chumbo, sendo o eletrólito uma solução de ácido sulfúrico.

Esta bateria é mais econômica quando o problema do peso pode ser desprezado. É bastante utilizada em equipamentos hospitalares, cadeira de rodas elétricas, luzes de emergência e sistemas *no-breaks*.

5.1.1 Vantagens

- Barata e simples de se fabricar em termos de custo por watt horas;
- A auto-descarga deste tipo está entre as mais baixas em sistemas de baterias recarregáveis;
- Capaz de taxas elevadas de descarga;
- Reciclável.

5.1.2 Desvantagens

- Não pode ser armazenada em uma condição descarregada;
- Densidade baixa da energia;
- O conteúdo da carga pode causar danos ambientais;
- Desempenho em baixas temperaturas é amplamente reduzida;

5.2 BATERIA DE LÍTIO-ÍON

Segundo Bocchi et al (2000, p.8), as baterias denominadas como lítio-íon, são chamadas assim por usarem em vez de lítio metálico apenas íons lítio, presentes no eletrólito na forma de sais de lítio dissolvidos em solventes não aquosos. No seu processo de descarga, os íons lítio migram desde o interior do material que compõe o anodo até dentro do material do cátodo e os elétrons movem-se através do circuito externo.

Lítio é o metal mais leve utilizado em baterias, possui o maior potencial eletroquímico e também fornece a maior densidade de energia por peso. Baterias recarregáveis que usam anodos de metal de lítio são capazes de fornecer uma alta

tensão e também uma excelente capacidade de corrente, resultando em uma densidade de energia alta.

5.2.1 Vantagens

- Densidade da energia elevada – potencial para capacidades ainda maiores;
- Auto-descarga relativamente baixa – a auto descarga é menor do que a metade da NiCd e NiMH;
- Manutenção Baixa – nenhuma descarga periódica é necessária.

5.2.2 Desvantagens

- Requer circuito de proteção – o circuito da proteção limita a tensão e a corrente entregue à carga;
- Sujeito ao envelhecimento, mesmo se não estiver em operação e deve se armazenar a bateria em um lugar fresco;
- Caro de se fabricar – aproximadamente 40% maior no custo do que a de NiCd.

5.3 BATERIA DE NÍQUEL CÁDMIO

Ainda segundo Bocchi et al (2000, p.8) a bateria de níquel cádmio consiste de um ânodo formado por uma liga de cádmio e ferro e um cátodo de hidróxido (óxido) de níquel (III) imerso em uma solução aquosa de hidróxido de potássio com concentração entre 20% e 28% em massa.

A bateria de níquel cádmio é a bateria com mais tempo de uso no mercado. Assim é uma tecnologia já desenvolvida e madura. Porém a sua densidade de energia não é muito elevada. A bateria de NiCd é utilizada quando se quer vida longa, alta corrente de descarga e preço baixo.

5.3.1 Vantagens

- Bom desempenho de carga. As baterias de NiCd permitem recargas em baixas temperaturas;
- Longa vida na condição de armazenagem, em qualquer estado de carga;
- Bom desempenho em baixa temperatura e mesmo sobrecarregada;
- Preço baixo em comparação com outras baterias. A bateria NiCd é a que tem menor custo por ciclo.

5.3.2 Desvantagens

- Baixa densidade de energia, comparado com baterias mais modernas;
- A NiCd contém metais tóxicos que não podem ser jogados no meio ambiente;
- Alguns países estão limitando o uso das baterias de NiCd;
- Possui uma alta taxa de autodescarga precisando ser carregada periodicamente quando armazenada.

5.4 ESCOLHA DA BATERIA

Para tal escolha é fundamental a determinação correta das tensões e correntes necessárias para o funcionamento completo da empilhadeira, como é possível visualizar com o uso da Tabela 2, onde estão descritos os dados dos motores de tração e elevação.

Tabela 2 – Dados dos motores de tração e elevação

Motor	Corrente de Pico	Tensão	Peso
Motor CC (Tração)	6 A	12 V	1,27 Kg
Motor CC (Elevação)	Não especificado	12 V	0,380 Kg

Com relação ao primeiro motor CC, os dados apresentados foram obtidos a partir de seu fabricante, a Akiyama. Já os dados do segundo motor foram obtidos através de testes de bancada.

Já com relação aos motores de direção das rodas, o fabricante SpringRC não especifica a corrente de operação dos servo motores citados anteriormente. Estes motores têm suas especificações demonstradas na Tabela 3 a seguir:

Tabela 3 – Dados dos motores de direção e elevação de carga

Motor	Velocidade	Torque	Tensão	Peso
Servo Motor S8166M	0.21s para cada 60°	33,00 kgf.cm	6 V	0,154 Kg
Servo Motor S4315M	0.16s para cada 60°	16,66 kgf.cm	6 V	0,060 Kg

A escolha das baterias pode ser feita com relação a tensão requisitadas pelos equipamentos, mas como cada motor possui valores distintos de tensão, entre eles 5 V, 6 V e 12 V, seria necessário um vasto conjunto de baterias para alimentar estes equipamentos. Para contornar esta situação, será utilizada uma bateria robusta que possua uma capacidade de corrente alta que atenda várias cargas simultaneamente.

De modo a atender as especificações, a bateria de chumbo ácido, modelo UNIPOWER UP1270SEG (Figura 31) tornou-se a mais viável, sendo esta de 12 V com 7 A.h. Visto que é uma bateria para motocicletas, fácil acessibilidade no mercado, com preço em torno de R\$ 50,00. Possui dimensões reduzidas, pesando cerca de 2 kg, tendo em vista que apresenta uma capacidade nominal de 7 A.h, e sua autonomia para este projeto está em torno de 5 a 7 horas, dependendo do uso.



Figura 31 – Bateria para motocicletas
Fonte: UNIPOWER (2015).

6 CONFECÇÃO DO *DIGIBEETLE*

O protótipo *DigiBeetle* foi confeccionado em duas etapas principais, estas etapas foram divididas em: Eletrônica e Mecânica.

6.1 CONFECÇÃO ELETRÔNICA

A etapa “Eletrônica” abrange toda a parte que diz respeito ao controle do *DigiBeetle*, envolvendo a programação do microcontrolador Tiva, desde o acionamento dos motores à programação e ajustes das medições do sensor ultrassônico, inclusive a confecção das placas de acionamento dos componentes. Por último, tem-se a programação do controle de Playstation.

Esta é a etapa mais importante, pois é nesta parte que as informações serão transmitidas e fornecidas ao usuário, servindo como Interface Homem Máquina (IHM). Desta forma, o usuário pode requisitar a função que desejar por meio de um comando programado em cada botão específico do *Joystick*.

6.1.1 Placa De Acionamento

Primeiramente foram confeccionadas as placas dos componentes eletrônicos, tendo como ênfase o acionamento dos motores.

Com relação aos motores CC, o foco é acioná-los de modo seguro e principalmente controlar o seu sentido de giro. Nesse caso, para inverter o sentido de rotação, basta apenas inverter a polaridade dos terminais elétricos e conseqüentemente sua corrente elétrica. Esta inversão de polaridades pode ser feita por meio de chaves, mas dependendo da situação este sistema pode ser inadequado.

Para contornar esta situação, foram projetadas duas Pontes H de 12 V e 40 A, uma para cada motor CC. Esta ponte é essencial para o projeto, visto que as

correntes de partida dos motores podem ser altas em virtude das cargas impostas. Com esta Ponte H, representada na Figura 32, é possível controlar mais adequadamente os motores e proteger todos os componentes eletrônicos a eles associados.

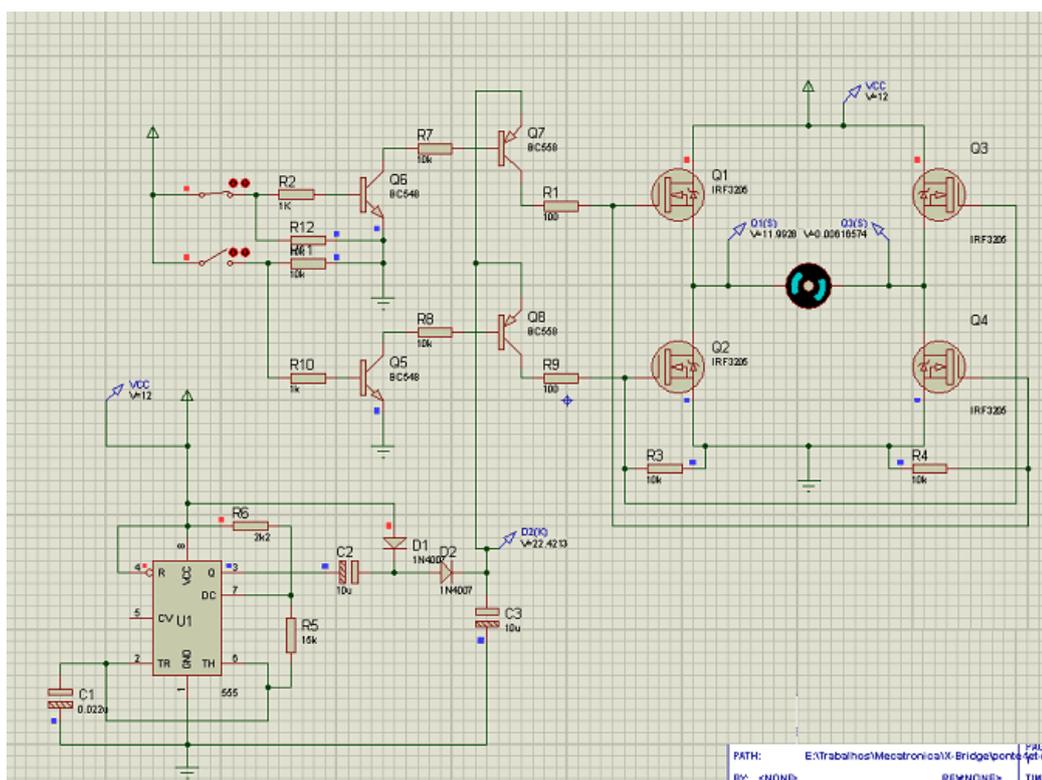


Figura 32 – Ponte-H 12V 40A

Fonte: Filho (2013).

É importante ressaltar que esta referida Ponte-H pode ser utilizada para todos os motores de corrente contínua neste projeto, visto que esta modelagem suporta correntes consideravelmente elevadas (40 A no máximo). Caso fosse utilizadas Ponte-H com capacidades de corrente mais baixa que esta, os componentes eletrônicos sofreriam mais aquecimentos em virtude das correntes elevadas, logo haveria perdas de potência por Efeito Joule, comprometendo em parte o funcionamento pleno dos motores conectados a este sistema. A Figura 33 ilustra como ficou o referido circuito de potência na placa.

De acordo com Filho (2013), a função do CI 555 nesse circuito é duplicar a tensão de 12 V da entrada, já que durante o funcionamento dos MOSFET's há uma

necessidade de diferença de potencial mínima de 4 V entre o acionamento do circuito e o motor. Dessa forma, ao duplicar a tensão é possível garantir os 12 V no motor. O design da placa da referida ponte H é mostrada na Figura 33.

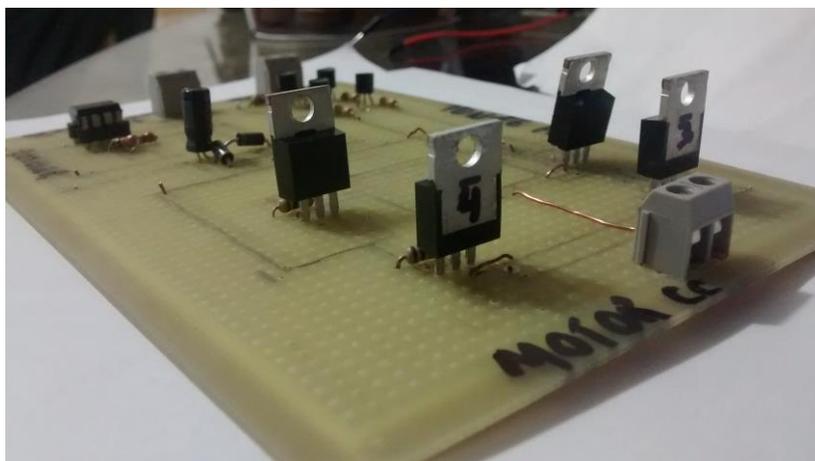


Figura 33 – Placa Eletrônica: Ponte-H 12V 40A
Fonte: Autoria própria.

Esta placa tem um funcionamento simples, sendo que existem dois terminais com a funcionalidade de determinar o sentido de rotação do motor, estes sinais são de 5 V, atenção para o fato que se deve acionar uma direção ou outra, exclusivamente.

Foram confeccionadas duas pontes H, uma é direcionada para o motor CC de tração e a outra para o motor CC responsável pela elevação de carga.

6.1.2 Placa Principal

A placa principal abrange todas as funcionalidades previstas neste projeto, entre elas podem se destacar:

- Terminais dos motores e sensores ultrassônicos utilizados;
- Acoplamento do Tiva C Series;
- Acoplamento para o controle do Playstation.

Esta placa é o módulo central do projeto, pois nela estarão contidas todas as entradas e saídas de informação. Primeiramente foi desenvolvido um esquemático deste circuito, como pode ser vista na Figura 34.

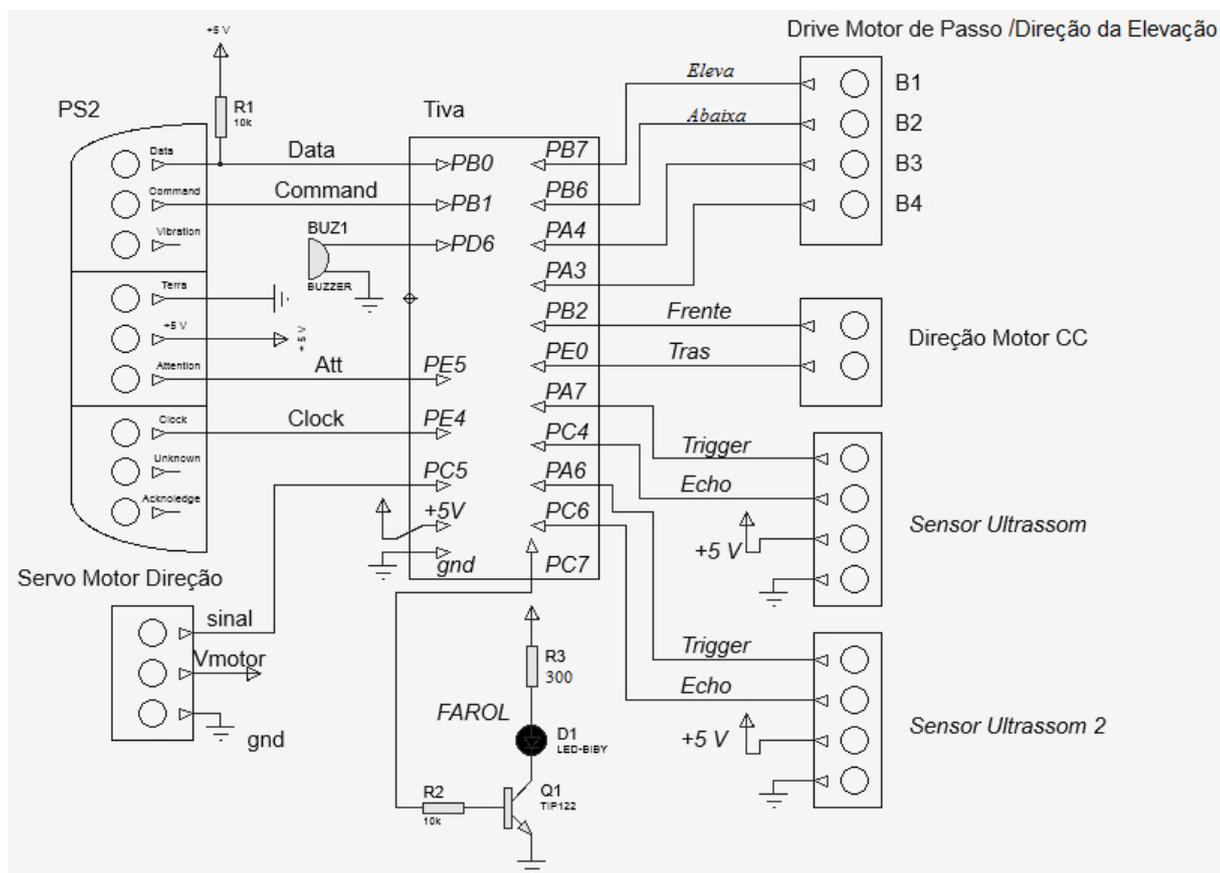


Figura 34 – Esquemático da Placa principal
Fonte: Autoria própria.

É possível notar pela Figura 34, que a placa principal possui um terminal para ser acoplado a um *driver* para motor de passo, mas o mesmo foi removido do projeto. Este terminal foi então utilizado para a direção da elevação de carga.

Com o circuito devidamente identificado, simulado e testado por meio do uso de *protoboard*, foi possível então progredir para a etapa de confecção da placa definitiva, na qual as Figuras 35 e 36 ilustram como a referida placa foi confeccionada.

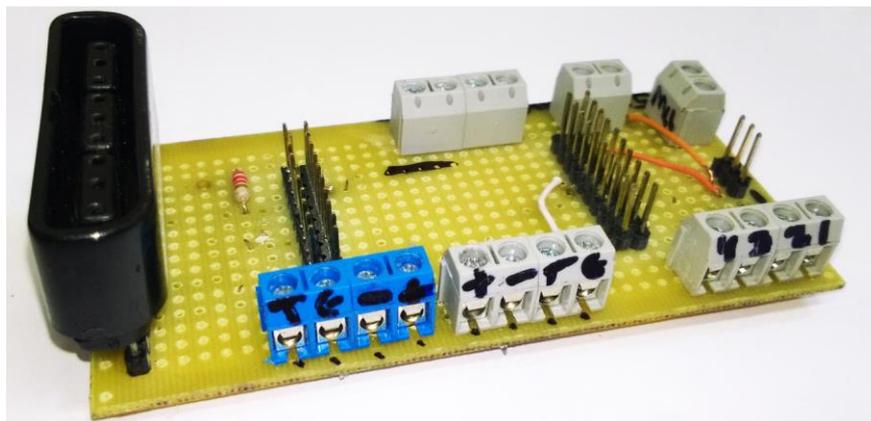


Figura 35 – Placa principal não conectada
Fonte: Autoria própria.

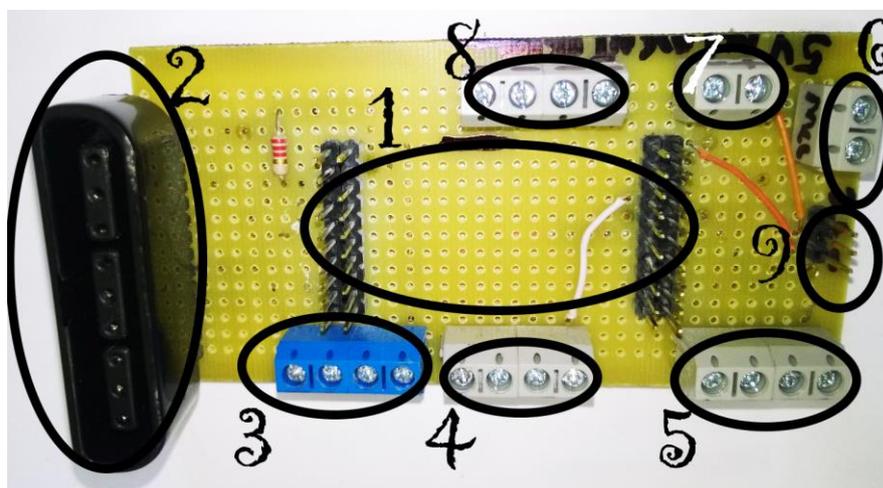


Figura 36 – Placa principal com identificação
Fonte: Autoria própria.

De acordo com a Figura 35, em (1) pode-se identificar os pinos de entrada referentes ao Tiva C Series.

Em (2) está contido a entrada do controle do Playstation, que é responsável pela entrada de informações fornecidas pelo usuário. Nesta entrada é possível conectar o controle com fio ou sem fio.

Em (3) e (4) estão respectivamente os terminais referentes aos sensores ultrassônicos frontais e traseiros.

Em (5) estão presentes terminais para o acionamento da direção do motor de levantamento de carga, terminais para o acionamento do farol frontal e buzina.

Em (6) tem-se a saída para a placa com a Ponte H, para o acionamento do motor CC, ou seja, controle da direção de rotação do motor de movimentação.

Na numeração (7), estão os terminais para a alimentação proveniente da placa reguladora de tensão 5 V, para alimentação do servomotor.

Na posição (8) encontram-se o acionamento do farol de ré e terminais para acoplamento de todos os terminais negativos das placas externas.

Em (9) está identificada a entrada para os terminais do servomotor designado para controle da direção do protótipo.

Na Figura 37 está representada a placa em questão devidamente conectada ao microcontrolador Tiva C.



Figura 37 – Placa principal com Tiva C
Fonte: Autoria própria.

6.1.3 Placa reguladora de tensão

Como a tensão de alimentação proveniente da bateria é de 12 V, houve a necessidade de confeccionar uma placa reguladora de tensão para 5 V e 5 A, tendo em vista que a alimentação da placa principal e do servo motor podem ser acionados ambos com 5 V. O circuito em questão encontra-se na Figura 38.

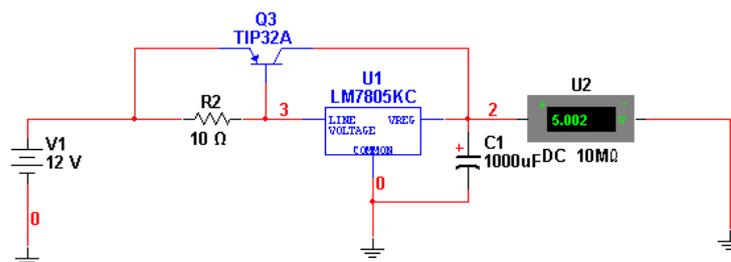


Figura 38 – Regulador de Tensão
Fonte: Autoria própria.

6.1.4 Placa De Controle Da Buzina

A placa da buzina é de fácil acionamento, visto que é apenas necessário enviar um pulso em uma das portas de saída do Tiva para ativá-la. A buzina, também conhecida como *Speaker*, escolhida para esta aplicação é o modelo Alto-Falante Piezoelétrico 8 Ω /1W, que pode ser facilmente obtida em lojas de componentes eletrônicos, seu custo é na faixa de R\$5,00 a R\$10,00, segundo a cotação referente ao segundo semestre de 2015. A Figura 39 representa seu esquemático.

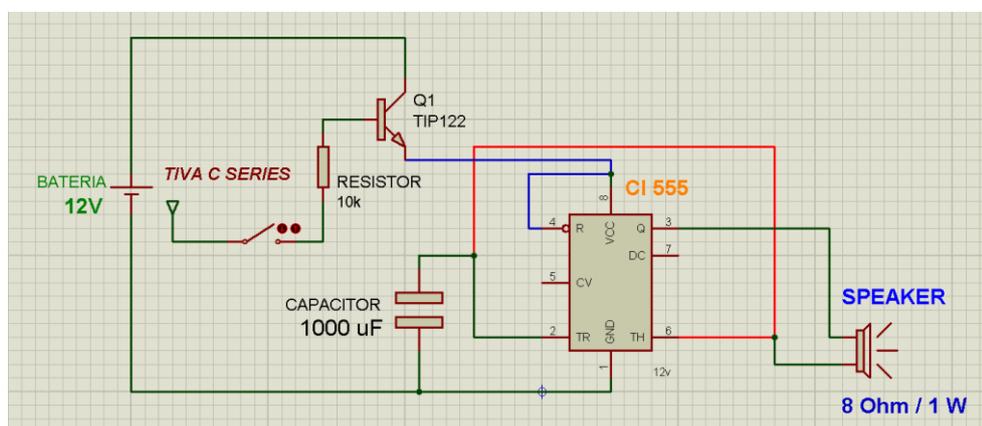


Figura 39 – Circuito de Acionamento da buzina
Fonte: Autoria própria.

É importante ressaltar que caso se deseje tornar o som mais agudo, basta aumentar o valor do capacitor. Da mesma forma, caso seja necessário um som mais agudo basta apenas diminuir o valor da capacitância.

6.1.5 Placa de acionamento dos faróis

O circuito de acionamento dos faróis é semelhante ao da buzina, basta configurar os pinos de saída do Tiva e enviar pulsos para deixar os referidos LED (*Light Emitting Diode*) em nível alto para acioná-los, ou nível baixo para desligá-los. Os LED escolhidos são de dois modelos, ambos de alta potência.

O primeiro modelo de LED é comumente chamado de “olho de boi”, são modelos maiores que o LED convencional e possuem um maior consumo, conseqüentemente esquentam mais. Logo o resistor a ele associado é dimensionado para aproximadamente $220\ \Omega/3\ W$ para suprir esta potência. Este LED é o farol principal e ficará centralizado em um invólucro que será abordado posteriormente, seu circuito de acionamento pode ser visto na Figura 40.

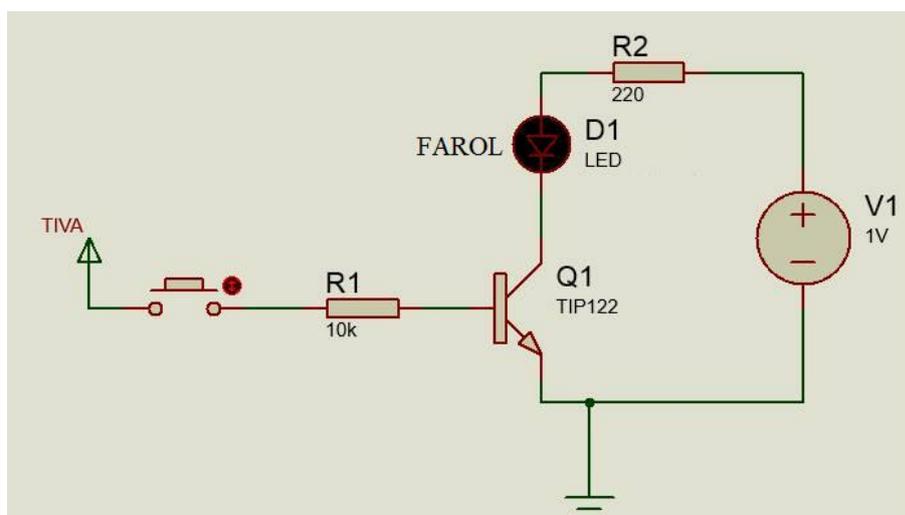


Figura 40 – Placa de acionamento do farol principal

Fonte: Autoria própria.

Já o segundo modelo é um LED comum mas de alta potência, o seu resistor pode ser os modelos mais comuns, de $1\ k\Omega/0,25W$. Seu esquemático é idêntico ao da Figura 39, alterando apenas o valor da resistência R2. Sendo este um modelo menor e compacto, será utilizado como faróis auxiliares, fixados ao redor do invólucro.

Para vincular estes LED, foi utilizado o invólucro de câmeras analógicas redondas, denominadas *domes* pelo seu formato esférico. Os referidos invólucros foram doados pela empresa MTW Serviços em Tecnologia Ltda. Com estes invólucros, o farol composto pelos LED fica protegido contra umidade e penetração de corpos sólidos, tais como poeiras.

Foram projetados dois conjuntos de faróis, um está presentes na frente do *DigiBeetle*, e possuem uma cor azul claro característica. Já o último farol é o da ré, e emitirá uma luz de emergência vermelha, para enfatizar a sinalização da manobra. A Figura 41 ilustra o referido invólucro já com os LED devidamente instalados e acionados em seu interior.



Figura 41 – Farol de ré acionado
Fonte: Autoria própria.

As Figuras 42 e 43 representam como foram acoplados estes faróis no *DigiBeetle*.



Figura 42 – Farol de ré acoplado
Fonte: Autoria própria.

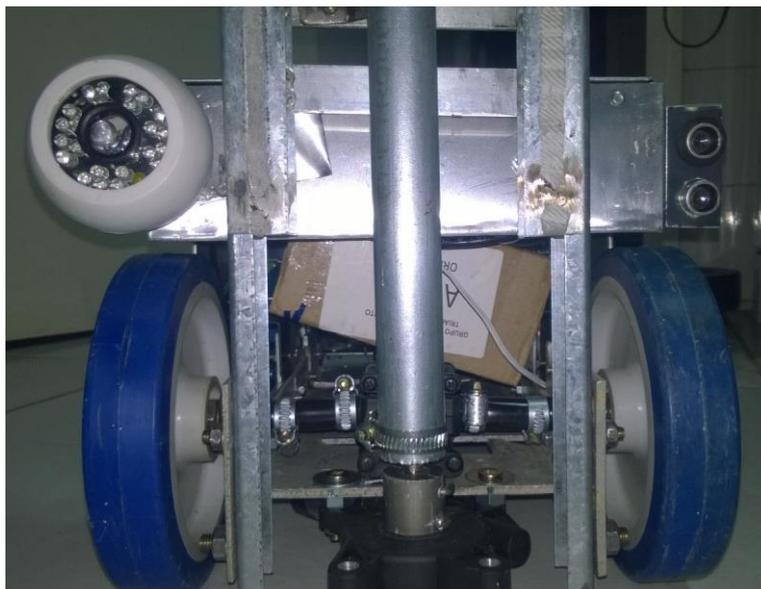


Figura 43 – Farol frontal acoplado

Fonte: Autoria própria.

6.2 PROGRAMAÇÃO DO FIRMWARE

Para que haja a integração de todas as funcionalidades do protótipo, foi desenvolvido um *firmware* para o Tiva, inteiramente programado em linguagem C.

Segundo Khean (2011, pg. 1), para que o controle de Playstation se comunique com o microcontrolador é necessária uma sequência de comandos enviados pelo microcontrolador para o controle, e que seus dados recebidos sejam na forma serial. Esses dados são processados e de acordo com a programação, acionam os motores e as demais funcionalidades.

O controle do Playstation necessita de um *clock* de 100 kHz gerado por meio de interrupção para que haja uma leitura sincronizada e precisa. Por meio de um terminal denominado *commando* são enviados dados de forma serial para o controle e recebidos por meio de um terminal denominado *data*, onde um é pino de entrada (dados) e outro é pino de saída (comando). Tendo em vista o pino, é necessária atenção para a determinação (nível lógico “1” ou “0”) do envio ou recebimento de dados.

A leitura dos botões pressionados determina por meio de uma lógica condicional que define qual função o protótipo irá executar.

A programação para o servo motor de direção foi realizada com o uso de uma interrupção *timer* de 32 bits presente no Tiva, possibilitando assim um sinal PWM de 50 Hz e *duty cycle* entre 1 ms a 2 ms. Tal *duty cycle* é alterado de acordo com a leitura dos analógicos presentes no controle do Playstation.

Os motores CC são acionados de acordo com a direção dos analógicos presentes no controle e o comando da direção de rotação é determinada por meio de saídas digitais, apenas variando o pino e nível de acordo com a direção da rotação.

Foram utilizados neste projeto dois sensores de distância, os quais foram programados com o uso de *wide timers*, que são temporizadores de maior precisão, ideal para esse tipo de aplicação.

O primeiro sensor foi posicionado na parte frontal do *DigiBeetle*, como visto na Figura 43, e evita que o mesmo atinja obstáculos a uma distância definida de 30 cm. Ao adentrar esta zona, o motor de tração é então acionado, e o *DigiBeetle* executa uma manobra de ré.

Já o segundo sensor posicionado atrás, como visto na Figura 42, delimita uma distância aproximada de 20 cm. Nesse caso, a função de ré é desativada enquanto a distância for inferior ou igual a 20 cm, impedindo assim quaisquer tipos de colisões.

6.3 CONFECÇÃO MECÂNICA

A confecção mecânica foi de uma ordem de complexidade maior em virtude do foco deste projeto, que são as funcionalidades do protótipo em si.

É importante ressaltar que esta confecção foi realizada em paralelo com a confecção eletrônica, para agilizar a integração das mesmas.

Primeiramente foram estudadas as dimensões e modelos das empilhadeiras convencionais como citados nos capítulos anteriores e em seguida projetado a estrutura preliminar do projeto.

O modelo conceitual, que foi previsto primeiramente na fase de projetos e no seu conceito preliminar, pode ser observado na Figura 44.

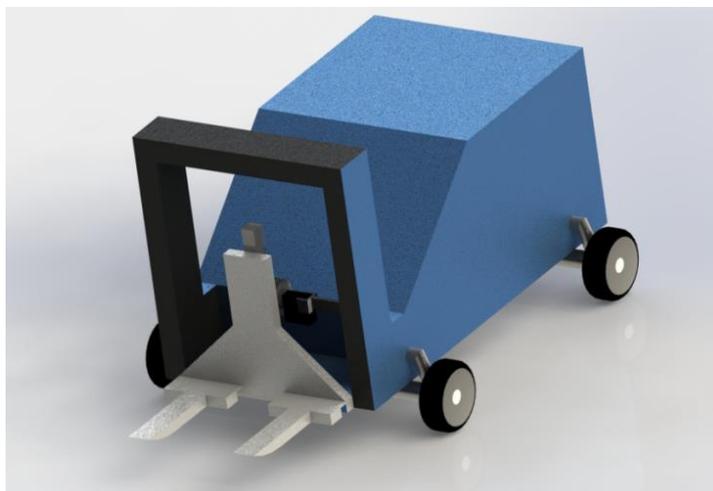


Figura 44 – Modelo Conceitual do *DigiBeetle*
Fonte: Autoria própria.

Em seguida foi montado já com as dimensões definidas e adaptadas para a escala 1:5 o protótipo, utilizando papelão apenas para se ter uma breve noção do modelo espacial e para alocação dos componentes e materiais em geral. A Figura 45 apresenta este primeiro modelo desenvolvido.



Figura 45 – *DigiBeetle*: maquete de papelão
Fonte: Autoria própria.

A seguir foi montado o protótipo utilizando os materiais definitivos abaixo listados:

- Chapas de alumínio;
- Rolamentos;
- Graxa;
- Cabo de aço;
- Diferencial;
- Um par de rodas (diâmetro 12 cm);
- Um par de rodas (diâmetro 15 cm);
- Parafusos e roscas;
- Polias.

Primeiramente foi montado o chassis do protótipo para então acoplar o eixo das rodas. Em seguida foram feitos os ajustes no eixo da tração.

Com os componentes devidamente acoplados, foi realizada então a montagem do eixo da direção do protótipo.

Após a montagem dos eixos principais, foi feita a montagem da ponte de elevação de cargas da empilhadeira, utilizando cabos de aço, a rosca para elevação de carga, parafusos para fixação, polias e o motor de elevação devidamente acoplado à estrutura.

Em seguida foram confeccionados através de chapas de ferro os garfos do protótipo, com aproximadamente 18 cm de comprimento. Estes valores estão adequados à escala proposta, visto que nestas condições, o garfo possui propriedades decentes para o suporte de cargas, evitando assim possíveis falhas e desgastes mecânicos, tais como tensões de cisalhamento e flambagem. As Figuras 46 e 47 mostram o referido garfo.



Figura 46 – Encaixes dos Garfos do *DigiBeetle*
Fonte: Autoria própria.

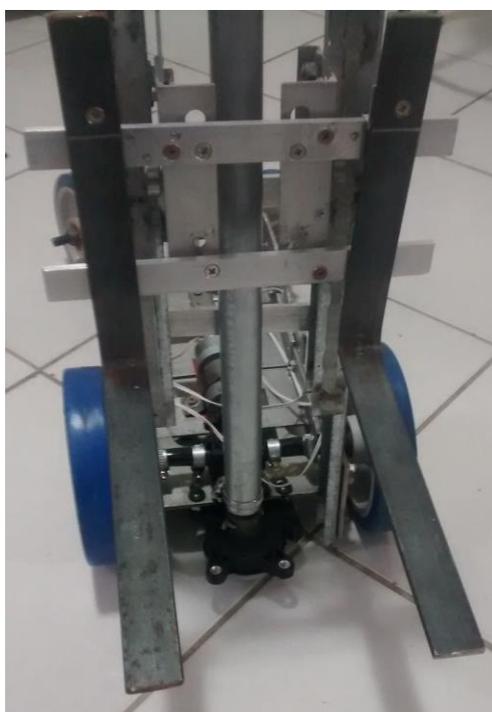


Figura 47 – Garfos do *DigiBeetle*: vista frontal
Fonte: Autoria própria.

Por última instância, tem-se a carcaça da empilhadeira, comumente chamada de “Bolha”, que tem a função de proteger toda a estrutura de impactos, e assim garantir a segurança dos componentes eletrônicos em geral.

Além disso, este invólucro sedimenta o grau de confiabilidade do protótipo no quesito de penetração de materiais sólidos e eventual umidade, semelhante ao grau de proteção observado em motores por exemplo.

Por último são apresentados todos os elementos mecânicos e eletrônicos já devidamente acoplados, como vistos nas Figuras 48 a 51.



Figura 48 – *DigiBeetle*: vista frontal
Fonte: Autoria própria.



Figura 49 – *DigiBeetle*: vista lateral parcial
Fonte: Autoria própria.



Figura 50 – *DigiBeetle*: vista superior
Fonte: Autoria própria.

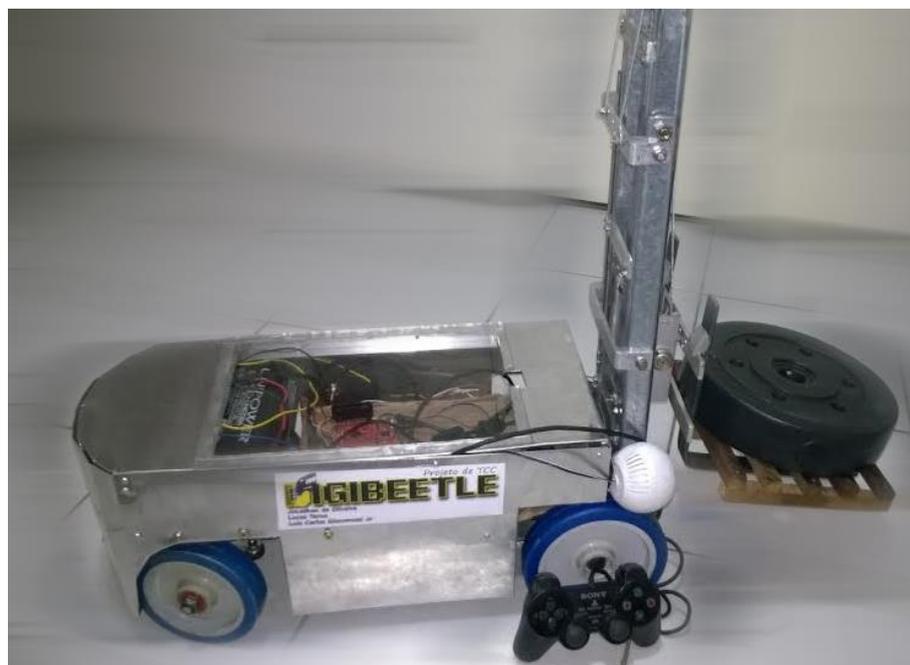


Figura 51 – *DigiBeetle*: vista lateral completa
Fonte: Autoria própria.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo abrange os ensaios e testes realizados com o protótipo já finalizado. A seguir estarão divididos em tópicos: as diferentes funções que o *DigiBeetle* possui, dificuldades encontradas, possíveis melhorias e conclusões preliminares.

7.1 .CONTROLE DO PLAYSTATION

Com relação as funcionalidades, atendeu as expectativas previstas no projeto já que a distribuição de função através dos botões foi realizada corretamente. A leitura de dados realizada pelo microcontrolador foi também satisfatória, assim como o tempo de resposta. Sua taxa de atualização da leitura foi programada para 100 kHz.

7.1.1 Dificuldades

O controle sem fio apresenta uma configuração do *clock* um pouco diferente do controle com fio, isso implica que a leitura se dá de forma mais imprecisa que a prevista, ou seja, um pouco mais lenta comparada ao controle com fio. Essa adaptação do *clock* se tornou de certa forma de difícil acesso, pelo fato do fabricante não fornecer tais informações.

Além disso, como a transferência de dados por *Bluetooth* é mais lenta em virtude de ser uma conexão sem fio e estar susceptível a possíveis interferências externas, existe um pequeno atraso da recepção do pacote de dados pelo Tiva C.

Outro detalhe a destacar, é a sensibilidade dos valores de tensão do controle. Caso seja aplicada uma tensão acima da nominal de 5 V, a probabilidade de haver um dano permanente ao controle é bem elevada, isto é, este circuito não foi designado para trabalhar num ambiente com eventuais flutuações de tensão.

7.1.2 Possíveis Melhorias

Utilizar de circuitos de proteção, de tal modo que a tensão entregue ao referido seja sempre constante através de reguladores de tensão por exemplo.

Adaptação da taxa de leitura do controle sem fio, para uma leitura mais eficaz.

7.2 SENSORES ULTRASSÔNICOS

Os sensores apresentaram excelentes resultados em virtude de suas programações serem mais acessíveis, comparando-se aos outros elementos do projeto. Como foram utilizados dois sensores, foi necessária a utilização de dois *Wide Timers* a mais do microcontrolador.

7.2.1 Dificuldades

Como o tempo de leitura dos sensores ultrassônicos é maior se comparado aos sensores infravermelhos, quando se trata de distâncias menores, os mesmos podem apresentar medições errôneas em certas situações. Também vale ressaltar, que alguns materiais e os meios nos quais os mesmos estão inseridos podem alterar a reflexão e velocidade do som, conseqüentemente podendo apresentar leituras incorretas.

7.2.2 Possíveis Melhorias

A utilização de mais sensores para a mesma função não só aumenta o grau de confiabilidade, como também podem cobrir alguns eventuais pontos cegos da leitura.

7.3 SISTEMA DE TRAÇÃO

O motor designado a movimentar o *DigiBeetle* atendeu de forma adequada esta função, ou seja, foi capaz de suportar o peso do próprio protótipo em conjunto com o da carga de 10 kg. Sua velocidade é adequada, visto que possui um baixo deslocamento em virtude de sua baixa rotação. Isto permite que a estabilidade do protótipo seja garantida, pois desta forma o mesmo fica menos susceptível a eventuais vibrações.

O tempo de leitura dos sensores e consequente tomada de decisão pelo Tiva C é bem rápida, logo a segurança contra eventuais colisões é certificada, já que o limite máximo de distância estabelecido garante que o protótipo esteja seguramente longe de qualquer objeto inesperado em seu percurso.

Com relação ao diferencial, a compensação de velocidade das duas rodas dianteiras foi satisfatória. Além disso, foram utilizadas braçadeiras para uma melhor fixação do sistema, garantindo assim que o torque seja transmitido de maneira correta sem perdas no eixo, provenientes de possíveis folgas e desencaixes.

7.3.1 Dificuldades

Por mais que o diferencial reduza a velocidade e proporcione um torque adequado para o peso especificado, caso a carga esteja próximo do valor limite de 10 kg, esta funcionalidade fica comprometida.

Outro fato importante é que devido à alta complexidade deste projeto como um todo, não foi projetado um sistema de freio, de tal modo que a segurança contra impactos e choques mecânicos dependem única e exclusivamente do treinamento do operador e da medição adequada dos sensores, para prevenir estes possíveis acidentes.

7.3.2 Possíveis melhorias

As únicas melhorias possíveis são utilizar um motor mais robusto ou utilizar outra caixa de redução que comportem esta função. Por exemplo, outro motor CC levantador de vidro já serviria perfeitamente para esta tarefa.

7.4 SISTEMA DE ELEVAÇÃO

O sistema de elevação foi capaz de levantar a carga de 10 kg propostos sem complicações. Com o conjunto motor/rosca, a estabilidade deste sistema é garantida já que o motor possui uma velocidade relativamente baixa e ao mesmo tempo é capaz de suportar a carga de maneira eficiente, além disso, a graxa ajuda a diminuir o aquecimento e o desgaste mecânico gerado pela subida/descida da carga. Com base nisso, o sistema tem sua vida útil prolongada.

7.4.1 Dificuldades

Por se tratar de um motor elétrico, vale ressaltar que há limitações para cargas mais pesadas e seu acoplamento na estrutura foi de grande complexidade, visto que a elevação de cargas é um dos pontos chave do projeto.

7.4.2 Possíveis Melhorias

Como o projeto é direcionado para a funcionalidade dos elementos de automação do sistema, a parte mecânica foi confeccionada de maneira simplificada. Desse modo o sistema atual feito por meio da rosca e cabos de aço, podem ser substituídos por sistemas mais elaborados, com uma ênfase maior na hidráulica, na qual a utilização de pistões executa esta função de maneira mais eficiente que a apresentada neste projeto.

7.5 ALIMENTAÇÃO

A alimentação do sistema feito através da bateria também foi capaz de suportar todas as cargas previamente estabelecidas neste projeto, tais como os motores, faróis, sensores e demais componentes. A referida bateria pode ser recarregada para usos futuros. Somado a isso, tem-se que o seu peso e dimensão colaboraram como contrapeso para a elevação de carga proposta.

Todos esses fatores foram responsáveis para garantir uma melhor estabilidade para o protótipo e uma alimentação adequada e prática, podendo ser fácil substituição.

Em um regime contínuo de uso das funcionalidades do *DigiBeetle*, isto é, acionando intermitentemente os motores, a bateria é capaz de aguentar de 5 a 7 horas de uso.

7.5.1 Dificuldades

A bateria designada foi projetada apenas para testes de curta duração, logo para um regime de trabalho mais acelerado e prolongado, este sistema com baterias não é adequado, pois seria necessário trocas e carregamentos constantes da bateria. Com base nisso a vida útil da bateria também seria comprometida pelo uso constante e principalmente com relação ao seu descarte deve ser cuidadosamente avaliado, já que se trata de materiais tóxicos tal como chumbo.

Caso seja optado por se utilizar baterias mais robustas, suas dimensões, peso tornam relativamente inviáveis para esta aplicação. Além disso, o peso destas baterias pode colocar em risco o sistema de tração ou até mesmo o equilíbrio do protótipo. Ou seja, caso seja adicionado mais baterias ao sistema, o *DigiBeetle* tornar-se-á mais pesado, acarretando problemas de estabilidade, principalmente ao sistema de tração.

7.5.2 Possíveis Melhorias

Ao invés de se utilizar somente de baterias, pode-se utilizar em conjunto combustíveis assim como nas empilhadeiras e automóveis convencionais para a alimentação do sistema.

É importante tomar nota que também pode-se optar por incentivar o conceito de automóveis elétricos e também híbridos em alguns casos.

7.6 CIRCUITO DE POTÊNCIA

Assim como todos os outros tópicos, o circuito de potência também atuou dentro dos parâmetros preestabelecidos. O dimensionamento dos componentes eletrônicos foi mais que o suficiente para garantir a integridade do projeto, evitando possíveis sobretensões e elevadas correntes de operação.

Concebeu aos motores o devido acionamento, já que o mesmo foi superdimensionado para eventuais sobretensões e aquecimentos inesperados.

Cada placa foi confeccionada em módulos distintos de tal forma que caso haja alguma falha inesperada, não danifique as demais. Isso implica que pelo fato do referido circuito estar isolado da placa principal, qualquer eventual dano não seja transmitido a mesma. Por último, a substituição da placa, localização da falha e a sua manutenção tornam-se mais acessíveis.

7.6.1 Dificuldades

Pelo fato do sistema ser superdimensionado para assegurar o protótipo, o custo proveniente dos componentes eletrônicos tornou-se elevado. Pelo fato da proteção do sistema ser bem elaborada, a sua confecção tornou-se mais complexa, demandando maior tempo de desenvolvimento.

7.6.2 Possíveis Melhorias

A utilização de microcomponentes facilita a alocação de espaço da empilhadeira no geral, tornando o sistema mais organizado e compacto.

A adição de mais dissipadores, pastas térmicas e eventuais *coolers*, são de grande importância para garantir o bom funcionamento deste sistema.

7.7 COMPARATIVO GERAL DE DESEMPENHO DO DIGIBEETLE

Com base nos resultados observados, foi possível elaborar uma tabela comparativa, para avaliar o grau de complexidade, a prioridade por melhorias e eventuais correções, e o desempenho apresentado no decorrer deste projeto. A Tabela 4 compara estas diferentes percepções:

Tabela 4 – Comparativo de desempenho

	Dificuldade	Prioridade	Desempenho
Controle do Playstation	Moderada	Alta	Moderado
Sensores Ultrassônicos	Baixa	Alta	Alto
Sistema de Tração	Alta	Moderada	Moderado
Sistema de Elevação	Muito Alta	Moderada	Moderado
Alimentação	Baixa	Baixa	Alto
Circuito de Potência	Moderada	Alta	Alto

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto foi desenvolvido com base em conhecimentos adquiridos ao longo da graduação, com ênfase em microcontroladores, eletrônica analógica, digital e de potência, e também em programação de sistemas embarcados. Além disso, envolveu conhecimentos externos para desenvolver a montagem do protótipo na íntegra.

Tendo em vista a complexidade do projeto, devido a união de conhecimentos de engenharias distintas e ao custo elevado dos equipamentos eletrônicos e mecânicos, o protótipo não pôde alcançar uma dimensão mais realista, perdendo um pouco de suas funcionalidades previamente estabelecidas, tal como o ajuste de posição do garfo e adequação de outros tipos de motores.

Contudo, a aplicação de sistemas embarcados teve um excelente casamento para o projeto, pois o controle do sistema tornou-se mais explícito, simples e seguro. O desempenho do Tiva C também foi bem-vindo ao projeto, já que o mesmo processa muito bem as funcionalidades propostas, sem sobrecarregar nenhuma função.

O projeto eletrônico teve um resultado muito positivo no geral, já que conquistou todos os objetivos estabelecidos, sem muitas complicações.

O ideal de um projeto desse porte é estabelecer um vínculo entre diferentes engenharias, estudando detalhadamente características de diversos motores e suas aplicações, não se limitando apenas em motores elétricos, já que os mesmos não são economicamente viáveis assim como não possuem o tamanho adequado para a quantidade de torque necessário para o levantamento de cargas.

Por último, é possível observar que a implementação realizada através de processos microcontrolados é viável e pode garantir uma maior segurança ao usuário e ao meio no qual o mesmo está inserido.

REFERÊNCIAS

AJR Rental. **Empilhadeiras de 2.500 à 3.000 Kg**, 2015. Disponível em: <<http://ajrrental.com.br/Produtos/locacao/empilhadeiras/empilh>>. Acesso em 09 de jan. de 2015.

AKIYAMA MOTORS. **P/N: Modelo AK555/11.1PF12R83CE-V2**. 2014. 2 p. Disponível em: <<http://goo.gl/rgPp4M>>. Acesso em: 17 set. 2015.

ALEXIS, Cristian et al. **Projeto e implementação de um conversor flyback quase-ressonante como carregador de baterias**, UTFPR, 93 p, 2007.

Disponível em:

<http://www.daelt.ct.utfpr.edu.br/engenharia/tcc/monografia_conversor_flyback_2007.pdf> Acesso em: 22 maio. 2015.

ALVES, Paulo. **Como funcionam os sensores de Proximidade**, 2013.

Disponível em: <<http://www.techtodo.com.br/dicas-e-tutoriais/noticia/2013/12/como-funcionam-os-sensores-de-proximidade.html>>. Acesso em: 10 mai. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7039/87**.

Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res99/res25799.html>>. Acesso em: 15 set. 2015.

BOCHHI, Nerilso et al. **Pilhas e Baterias: Impacto Ambiental**, Artigo, 2000.

BRAGA, Newton. **Como funcionam os sensores Ultrassônicos**, Artigo 691, 2012.

Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/5273-art691>>. Acesso em: 04 mai. 2015.

CARVALHO, Bruno. **Máquinas e transporte de elevação**, UDESC, 2014.

CORREA, Carmen Regina; JUNIOR, Moacyr. **Análise e classificação dos fatores humanos nos acidentes industriais**, 2007.

Curious Inventor. **Interfacing a ps2 (playstation 2) controller**, Artigo, 2015.

Disponível em: <<http://store.curiousinventor.com/guides/PS2/>>. Acesso em: 08 jul. 2015.

DX. Bat Ultrasonic Sensor, 2015. Disponível em: <<http://www.dx.com/pt/p/electfreaks-e00416-bat-ultrasonic-sensor-distance-measuring-module-for-arduino-black-340377#.VmhjCnarSUK>>. Acesso em 05 de maio de 2015.

DX. Ultrasonic Sensor Distance measuring Module HC-SR04, 2015. Disponível em: <<http://www.dx.com/pt/p/hc-sr04-ultrasonic-sensor-distance-measuring-module-133696#.VmhzXarSUK>>. Acesso em 05 de maio de 2015.

DX. Ultrasonic Sensor US-015, 2015. Disponível em: <<http://www.dx.com/p/us-015-ultrasonic-sensor-distance-measuring-module-green-354842#.VmjcwEorKUK>>. Acesso em 05 de maio de 2015.

Empilhadeira Guia. **Tudo sobre Empilhadeiras e Pallets**, 2015. Disponível em: <<http://empilhadeira guia.com>>. Acesso em: 08 jan. 2015.

FILHO, Daniel O. Basconcello. **Ponte-H 12V 40A**, Artigo, Robotizando, 2013. Disponível em: <http://www.robotizando.com.br/artigo_ponte_h_pg4.php>. Acesso em: 08 jul. 2015.

FILIPPIN, Carlo Giuseppe. **Sistemas Mecânicos Automotivos**, Universidade Federal do Paraná, 2009.

Garcia Guindastes. **Empilhadeira Manual**, 2015. Disponível em: <<http://www.garciaguindastes.com.br/wp-content/uploads/2014/02/empilhadeira-fgl25.jpg>>. Acesso em 08 de jan. de 2015.

GENERAL MOTORS. **Catálogo Oficial de Peças da GM, Motor código de série: GM 93234678**. Disponível em: <<http://www.chevroletnova.com.br/catalogo.aspx>>. Acesso em 07 out. 2015.

GOUVEIA, Roberta. **O Que é um sensor Ultrassônico**, 2014. Disponível em: <<http://www.mecanicaindustrial.com.br/598-o-que-e-um-sensor-ultrassonico/>>. Acesso em: 07 jun. 2015.

GURGEL, Andre F; MANCINI, Marcos. **Conceitos sobre baterias**, 2012. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfHyIAG/conceitos-sobre-baterias-andre-f-gurgel-marcos-mancini>>. Acesso em: 20 jun. 2015.

KHEAN, Kok Chee; **Decoding PS2 Wired and Wireless Controller for Interfacing with PIC Microcontroller**, 2011.

MultiLogica Shop. **Sensor MaxSonar EZ0**, 2015. Disponível em: <<https://multilogica-shop.com/sensor-ultras%C3%B4nico-de-dist%C3%A2ncia-Maxbotix-LV-EZ0>>. Acesso em 05 de maio de 2015.

NSK Motion & Control. **Introdução aos Rolamentos, 2015**. Disponível em: <<http://www.nsk.com.br/Artigo.asp?Aid=60>>. Acesso em: 01 set. 2015.

Paletes. **Palete pbr 01**, 2015. Disponível em: <<http://www.paletes.ind.br/paletes-pbr.php>>. Acesso em 08 de jan. de 2015.

PFG Prevenção. **Curso de Ponte Rolante**, 2015. Disponível em: <<http://www.pfgprevencao.com/cursos/ponte-rolante/>>. Acesso em: 10 de maio de 2015

POLKA, Dave. **Motors and Drivers: A Practical technology Guide**, Research Triangle Park, 2013.

PORTA, Leonardo Dalla. **Sensor Ultrassônico de distância**. Disponível em: <<http://www.usinainfo.com.br/module/csblog/detailpost/83-81-sensor-ultrassonico-de-distancia-hc-sr04.html>>. Acesso em: 14 mai. 2015.

Retromecânica. **Regras para operar empilhadeiras**. Disponível em: <<http://www.retromecanica.com.br/blog/regras-para-operar-empilhadeiras>>. Acesso em: 28 de set. 2015.

SANTOS, André de Coimbra. **Vidas sobre duas rodas**, Clube de Autores, 2013, 1ª Edição 260p.

Schneider-Electric. **Eficiência energética e acionamento de motores**, PROCOBRE, 2003. Disponível em: <http://www.schneiderelectric.com.br/documents/cadernostecnicos/apostila_procobre_eficienc.pdf>. Acesso em: 06 set. 2015.

SERRA, Uned. CEFETes. **Módulo: Sensores de Proximidade**, 2006.

SOUZA, Cristina; MURTA, Joel. **Baterias**, Instituto Superior Politécnico de Viseu Escola Superior de Tecnologia, 2003.

SOARES, João Oliveira. **Projeto e otimização de pontes rolantes**, Universidade do Minho:Escola de Engenharia, 2011.

SPRING RC. **Servo Data Base Modelo SM-S8166M**, 2 p., 2015. Disponível em: <<http://www.servodatabase.com/servo/springrc/sm-s8166m>>. Acesso em: 05 jul. 2015.

SPRING RC. **Servo Data Base Modelo SM-4315M** 2 p., 2015. Disponível em: <<http://www.servodatabase.com/servo/springrc/sm-s4315m>>. Acesso em: 05 jul. 2015.

STA Eletrônica. **Vantagens e Limitações das Baterias**. Disponível em: <<http://www.sta-eletronica.com.br/artigos/vantagens-e-limitacoes-das-baterias-chumbo-acido>>. Acesso em: 4 jul. 2015.

Transall. **Empilhadeira Elétrica Manual**, 2015. Disponível em: <<http://www.transall.com.br/produto-final.asp?prod=226>>. Acesso em: 12 de jan. de 2015.

TEXAS INSTRUMENTS. **TIVA C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Board USER's GUIDE**, 2013. 27 p.

TEXAS INSTRUMENTS. **TIVA TM4C123GH6PM Microcontroller DATA SHEET**. 2014. 1409 p.

WINDLING, Marcelo. **Sensores**, Apostila Técnica, UNESP, 2010.