

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE RIO PRETO – UNIRP

FABRICIO DI CARLO MARQUES BERNARDO PINTO - 20095409

JOSÉ EDUARDO DA NEIVA OLIVEIRA - 20090400

MARCO AURÉLIO NAVARRO GUTIERRES - 20092683

PAULO CESAR DOS SANTOS SONAGLI – 19984103

ORIENTADOR: M. SC. JOSÉ A. A. VIANA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:
DESENVOLVIMENTO DE UM ROBÔ TERRESTRE
CONTROLADO REMOTAMENTE SEM FIO

SÃO JOSÉ DO RIO PRETO

2014

FABRICIO DI CARLO MARQUES BERNARDO PINTO

JOSÉ EDUARDO DA NEIVA OLIVEIRA

MARCO AURÉLIO NAVARRO GUTIERRES

PAULO CESAR DOS SANTOS SONAGLI

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Trabalho de Conclusão de Curso, para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica Habilitação em Eletrônica, a Banca Examinadora do Centro Universitário de Rio Preto UNIRP – Apresentação do desenvolvimento do robô terrestre, com movimentos e controle remotamente executados por equipamentos sem fio.

Orientador: M. Sc. José A. A. Viana

SÃO JOSÉ DO RIO PRETO

2014

FABRICIO DI CARLO MARQUES BERNARDO PINTO

JOSÉ EDUARDO DA NEIVA OLIVEIRA

MARCO AURÉLIO NAVARRO GUTIERRES

PAULO CESAR DOS SANTOS SONAGLI

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:
DESENVOLVIMENTO DE UM ROBÔ TERRESTRE CONTROLADO
REMOTAMENTE SEM FIO.

BANCA EXAMINADORA

José Ricardo Camilo Pinto

Nome do Professor (a)

Tacio Luiz de Souza Barbeiro

Nome do Professor (a)

São José do Rio Preto, dezembro de 2014

Dedicamos este trabalho aos nossos Ilustríssimos professores; as nossas esposas, noivas e namoradas que, sempre nos motivaram a seguir em frente, apoiados em nossas famílias e crendo no futuro vitorioso.

AGRADECIMENTOS

Ao M. Sc. José A. A. Viana, incentivador que, humildemente, acolheu nosso grupo como Orientador.

Aos nossos professores que ao longo do curso nos apresentaram um universo esplendoroso, onde o conhecimento e a informação podem transformar vidas.

Aos nossos colegas e familiares que, pacientemente, nos acompanharam ao longo do curso.

SUMÁRIO

Lista de Ilustrações	08
Lista de Abreviaturas	10
Resumo / Palavras chaves	11
Abstract / Keywords	12
Introdução	13
1 – Fundamentação teórica	14
1.1 – Diagrama de blocos	15
1.2 – Teoria de controle	17
1.3 – Sistema mecânico	21
1.4 – Alimentação e eletrônica de controle	22
1.5 – Programação	26
1.6 – Sistema de comunicação	26
1.7 – Sistema de potência	28
2 – Desenvolvimento	32
2.1 – Montagem do conjunto mecânico	32
2.2 – Montagem dos circuitos eletrônicos	34
2.3 – Montagem da unidade de comando	39
2.4 – Montagem da unidade móvel	42
3 – Resultado e discussões	44
4 - Conclusão	46
Referências Bibliográficas	47

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Diagrama de blocos do projeto p.17
- Figura 2 – Representação da “leitura” da instrução pelo joystick p.17
- Figura 3 – Representação do vetor intensidade a partir da leitura nos eixos p.18
- Figura 4 – Tratamento do sinal do potenciômetro obtendo representação de eixo cartesiano p.19
- Figura 5 – Demonstração de instruções básicas a partir da posição do manche do joystick p.20
- Figura 6 – Joystick similar ao usado no projeto p.22
- Figura 7 – Placa Arduino UNO p.23
- Figura 8 – Arquitetura do microcontrolador ATmega328 p.24
- Figura 9 – Pinagem do microcontrolador ATmega328 p.24
- Figura 10 – Pinagem do chip nRF024L01 p.27
- Figura 11 – Representação do Transistor MOSFET IRF3205 canal n p.29
- Figura 12 – Diagrama esquemático representativo de uma Ponte H simples p.30
- Figura 13 – Ilustração do motorreductor similar ao utilizado no protótipo p.31
- Figura 14 – Estrutura em PVC. P.32
- Figura 15 – Barras de alumínio utilizadas para montagem da estrutura mecânica p.33
- Figura 16 – Construção da estrutura, de forma a centralizar o centro de gravidade p.33
- Figura 17 – Chassi com posicionamento dos motores p.34
- Figura 18 – Ligação Arduino Uno e o transmissor rádio frequência p.35
- Figura 19 – Esquema eletrônico do circuito ponte H p.36
- Figura 20 – Impressão do circuito em papel sulfite p.37
- Figura 21 – Placas de circuito impresso após transferência térmica e retoque p.37
- Figura 22 – Processo de corrosão por perclorato de ferro p.38
- Figura 23 – Placa pronta para soldagem dos componentes p.38
- Figura 24 – Soldagem dos componentes p.39
- Figura 25 – Placa Arduino Pro – mini, usada na unidade de comando p.40

Figura 26 – Circuito da Unidade de Comando dentro da carcaça de um controle genérico de vídeo game p.41

Figura 27 – Protótipo da segunda unidade móvel finalizada p.41

Figura 28 – Fixação das placas na estrutura p.42

Figura 29 – Unidade móvel pronta para colocação das correntes do sistema de tração p.43

Figura 30 – Protótipo da unidade móvel finalizada p.43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A – Ampere

Ah – Ampere hora

CC – Corrente Contínua

EEPROM - *Electrically-Erasable Programmable Read-Only*

ICSP – In Circuit Serial Programmer

Kb – Kilo bit (1.024bits)

Led – Diodo Emissor de Luz

mA – miliampere

Mhz - Megahertz

MOSFET – Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

PWM – Pulse width modulation

PVC – Polyvinyl chloride. Policloreto de polivinila (ou policloreto de vinil),

RX – Receiver

RAM – Random Access Memory

TX - Transmitter

USART - Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter

USB – Universal Serial Bus

V_{cc} – Volts corrente contínua

RESUMO

O presente trabalho trata sobre o desenvolvimento do protótipo de um robô terrestre controlado remotamente sem fio. A relevância de sua realização é verificável na importância em ações no sentido de conhecer e dominar técnicas envolvidas no acesso a esses equipamentos, cada vez mais presentes em diversas áreas tais como exploração, salvamento, medicina, monitoramento, dentre outras. O protótipo do robô é concebido integrando diferentes sistemas e gerenciando a interação entre eles. O projeto é dividido em uma *interface* de controle capaz de transmitir informações de controle via rádio frequência, e um receptor capaz de receber e tratar essas informações fazendo com que os sistemas respondam de maneira satisfatória aos comandos. A metodologia de desenvolvimento do projeto consiste em identificar os sistemas necessários para a execução do projeto, levantar informações técnicas relevantes para construção de modelos práticos desses sistemas, propor formas de integração eficiente entre eles e verificar de forma conclusiva o funcionamento parcial e integral dos principais sistemas.

Palavras-chave — Robótica; Microcontrolador; Automação e Rádiofrequência.

ABSTRACT

Abstract — The present paper deals about the developing of a terrestrial robot remotely controlled wirelessly prototype . The relevance of its achievement is verifiable on the importance in actions to acquire knowledge and master the techniques involved in access to such equipment, ever more present in several areas such as exploration, rescue, medical, monitoring, among others. The prototype robot will be conceived by integrating different systems and managing the interaction between them. Basically the project will be divided into a control interface able to broadcast control information through radio frequency, and a receiver capable of receive and process such information driving the systems to respond commands in satisfactory manner. The project's methodology for developing consists in identifying the needs for project execution systems, raise significant technical information for building practical models of these systems, propose a way of integrating them and verify conclusively the partial and full operating of main systems.

Keywords— Robotics, microcontroller, automation, radiofrequency

INTRODUÇÃO

Tendo em vista a crescente necessidade de atuação humana nas mais variadas circunstâncias, onde fatores distintos tornam a presença humana inviável ou arriscada, desenvolver meios para viabilizar a ação humana é fundamental para a realização de tarefas onde as circunstâncias exigem que o controle de sua realização seja remoto, e que o dispositivo de atuação possa ser puramente material. Dessa forma, além de prezar pela integridade da vida humana, esse tipo de tecnologia abre muitas possibilidades e viabiliza, direta ou indiretamente, avanços em diversas áreas. Reconhecendo a enorme importância no acesso a essas tecnologias, fazem-se necessárias ações no sentido de conhecer e dominar técnicas que possibilitam a construção de tais formas de atuação. Assim, as motivações deste trabalho encontram-se representadas nos esforços de seus autores em compreender e implementar algumas dessas técnicas. Propondo uma forma de resolução da problemática da atuação humana a distância, o protótipo tem como objetivo principal responder aos comandos básicos feitos remotamente sem uso de cabos, sendo eles: movimentar-se para frente, para trás e girar no próprio eixo nos sentidos horário e anti-horário, a execução satisfatória destes comandos é importante por viabilizar o acesso da parte móvel do protótipo a qualquer ponto de um plano. A metodologia utilizada consiste em identificar quais as principais funcionalidades que as partes do protótipo devem desempenhar, propondo formas para essas sejam executadas de forma satisfatória e verificar o funcionamento de cada sistema de forma separada e por fim de forma integral, consistindo na finalização do projeto. Nas conclusões finais são tratados os resultados dos testes e propostas algumas melhorias e possíveis aplicações para o projeto com base nos resultados obtidos.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente trabalho consiste no planejamento e na implementação de um protótipo de um veículo terrestre, controlado remotamente sem fio. Esse veículo pode ser entendido como um sistema integrado, segundo Katsuhiko Ogata (2010, p.3) “Um sistema é a combinação de componentes que agem em conjunto para atingir determinado objetivo”. Portanto, o funcionamento de algum dispositivo de considerável complexidade consiste na atuação em conjunto de componentes de diferentes sistemas.

Partindo dessa premissa, a metodologia de desenvolvimento do trabalho consiste no planejamento de forma direcionada aos objetivos a serem cumpridos pelo protótipo, dessa forma são identificados os sistemas funcionais necessários e visualizadas as formas de integração entre os mesmos de modo que funcionem como um todo. São realizados os levantamentos de informações técnicas necessárias, os planejamentos, a construção de um modelo teórico que integre os sistemas envolvidos a implementação das soluções e os testes. De início o protótipo pode ser subdividido em duas unidades funcionais, a unidade de comando sendo responsável pela entrada e transmissão de instruções, e a unidade móvel que deve receber essas instruções e movimentar-se de acordo com as mesmas.

No intuito de cumprir os objetivos do projeto, fica definido que a unidade de comando deve cumprir as funcionalidades essenciais de servir como entrada de instruções operacionais e ser capaz de transmitir essas instruções para a unidade móvel. Da mesma forma a unidade móvel deve cumprir as funcionalidades essenciais de servir como sustentação para todos os seus componentes, receber as instruções vindas da unidade de comando, movimentar-se de acordo com as instruções recebidas e ser equipada com uma fonte de energia que garanta autonomia. Com base nessas definições é proposto um diagrama de blocos funcional e elaborada as buscas de informações técnicas e opções construtivas.

1.1 Diagrama de blocos do projeto

O Diagrama de blocos representa a lógica de funcionamento proposta para o protótipo, onde a unidade de comando transmite as instruções via rádio frequência para a unidade móvel.

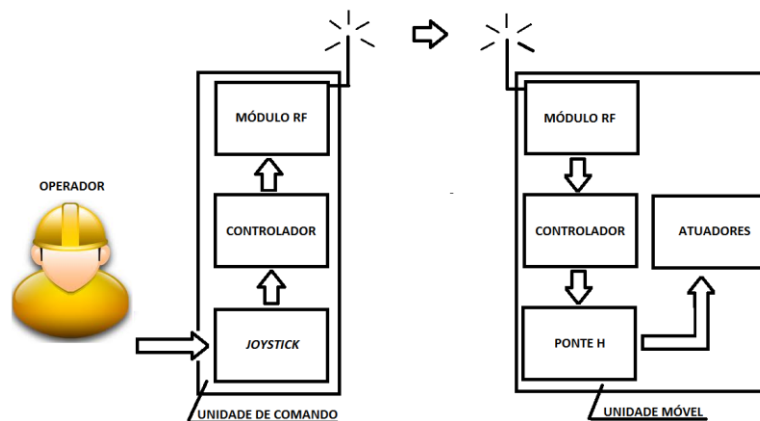


Figura 1 – Diagrama de blocos do projeto.

Conforme representado na figura 1, o protótipo consiste em duas unidades funcionais microcontroladas, uma unidade de comando com a função de entrada e transmissão dos comandos operacionais, e uma unidade móvel que recebe e obedece a esses comandos.

Para desempenhar essas funções conforme a proposta representada pelo diagrama de blocos desenvolve-se modelos teóricos de funcionamento para a unidade de comando e unidade móvel. O modelo para a unidade de comando é constituído por um sistema de entrada de dados composto por dois resistores variáveis que podem ser um *joystick* analógico de *video game*, um sistema de transmissão de dados composto por módulo de transmissão RF (Rádio Frequência) genérico e um microcontrolador que gerencia a interação entre as partes e aciona o módulo RF. Os resistores variáveis devem servir como forma de entrada de

instruções conforme a variação de suas resistências de acordo com o girar de seus eixos (BOYLESTAD, 1998). O módulo de transmissão RF deve transmitir as instruções inseridas através dos resistores variáveis. Como as instruções inseridas analogicamente serão transmitidas pelo módulo RF através do microcontrolador, elas são digitalizadas no conversor AD (análogo digital) do microcontrolador e posteriormente tratadas de acordo com as necessidades do projeto. O modelo de funcionamento proposto para a unidade móvel consiste em um módulo de recepção RF genérico que recebe os comandos, um microcontrolador onde esses comandos serão tratados e condicionados de forma coerente para o controle dos atuadores, um módulo de potência que viabilize o comando dos motores a partir do microcontrolador, adequando os sinais de controle a níveis de operação do motor. Para a constituição desse módulo propõe-se que um circuito ponte H transistorizado supra as necessidades construtivas, com os devidos cuidados relativos à intensidade de corrente elétrica que seus componentes escolhidos devam suportar.

Dessa forma, do ponto de vista funcional, com base no funcionamento proposto representado no diagrama de blocos, algumas partes podem ser agrupadas de acordo com suas funções formando sistemas, e todo o seu processo operacional pode ser entendido com a análise do funcionamento e a interação entre eles.

Os sistemas desse projeto podem ser definidos em:

- Sistema mecânico, composto por estrutura e mecanismo de tração com as funções de suportar todas as partes integrantes da unidade móvel e movimentar-se através de um sistema de tração;
- Sistema eletrônico, sendo este subdividido em sistema de controle, sistema de comunicação e sistema de potência. É o responsável por toda a organização do funcionamento do projeto através da interação de seus módulos de controle, comunicação e potência. O sistema de controle pode ser definido como o gerenciador qualitativo e quantitativo do fluxo de dados para o sistema de comunicação, e de energia para o sistema de potência. O sistema de comunicação serve de entrada, transmissão e recepção aos dados de controle. Por fim, o sistema de potência

condiciona os sinais vindos do sistema de controle tornando-os adequados ao funcionamento dos motores.

Ainda no sentido de propor características coerentes para que os componentes descritos do diagrama de blocos desempenhem suas funções, fica estabelecido que os atuadores rotativos tenham prioritariamente torque em detrimento da velocidade angular. A alimentação do sistema da unidade móvel, quando em funcionamento, deve ser livre de cabos condutores ligados à rede de abastecimento de energia, e suprir a demanda de energia elétrica do protótipo.

1.2 Teoria de controle

Do ponto de vista de controle, é definida como unidade de comando a interface por onde o usuário controla a unidade móvel. Toda sequência de controle tem início na unidade de comando, e fim nos atuadores da unidade móvel. A unidade de comando é composta por um *joystick* que serve como meio de entrada de dados, onde um módulo de transmissão de rádio frequência e um microcontrolador convertem a leitura analógica da unidade de controle em uma palavra binária de dez *bits* e gerencia assim o funcionamento do módulo de rádio frequência por onde os dados são enviados. Para a unidade móvel, um receptor de rádio frequência gerenciado pelo microcontrolador, desta mesma unidade, capta os dados pelo receptor que são enviados até o microcontrolador, que por sua vez trata os dados e envia-os ao sistema de potência, onde os sinais de comando serão condicionados aos motores.

Em observância às características dos sistemas idealizados, a lógica de controle proposta é baseada no modelo de plano cartesiano, composto por dois eixos, um vertical denominado eixo **y**, e um horizontal denominado eixo **x**. De acordo com o valor em cada eixo, é possível determinar um ponto num plano **XY**. A interface “homem - máquina” que é usada com a função entrada de valores aos eixos **x** e **y** é composta por dois resistores variáveis montados como uma unidade

de controle. O ponto a ser representado no plano (conforme a figura 2) é a posição do manche do *joystick*, para posicionar o manche no ponto desejado os resistores variáveis que compõem a unidade de controle sofrem variações que, após a leitura analógica do sinal ser convertida para um valor digital, podem então ser representadas como os valores nos eixos *x* e *y*.

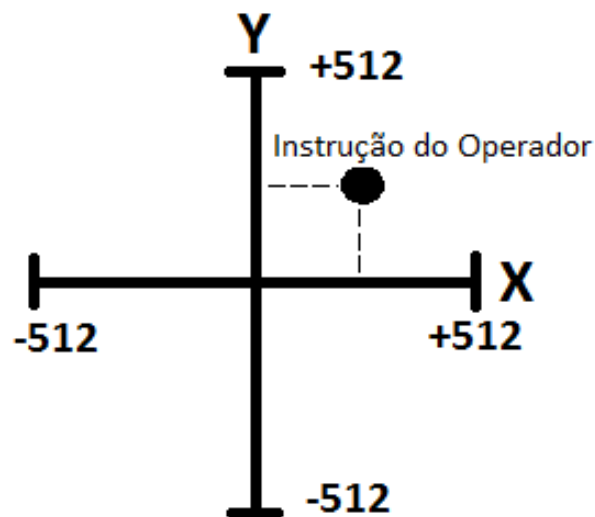


Figura 2 – Representação da “leitura” da instrução pelo joystick

De acordo com esses valores é possível determinar a inclinação da reta, ligando o ponto determinado pelo usuário e origem do plano cartesiano, e também intensidade (*I*) do vetor formado pelas coordenadas referentes a esse ponto, a intensidade do vetor pode variar do ponto zero, correspondente ao ponto neutro do manche, até a extremidade correspondente ao ponto de deslocamento máximo do manche. Dessa forma (conforme a figura 3) é possível determinar a angulação e a intensidade representando as coordenadas geradas pelos potenciômetros como um vetor.

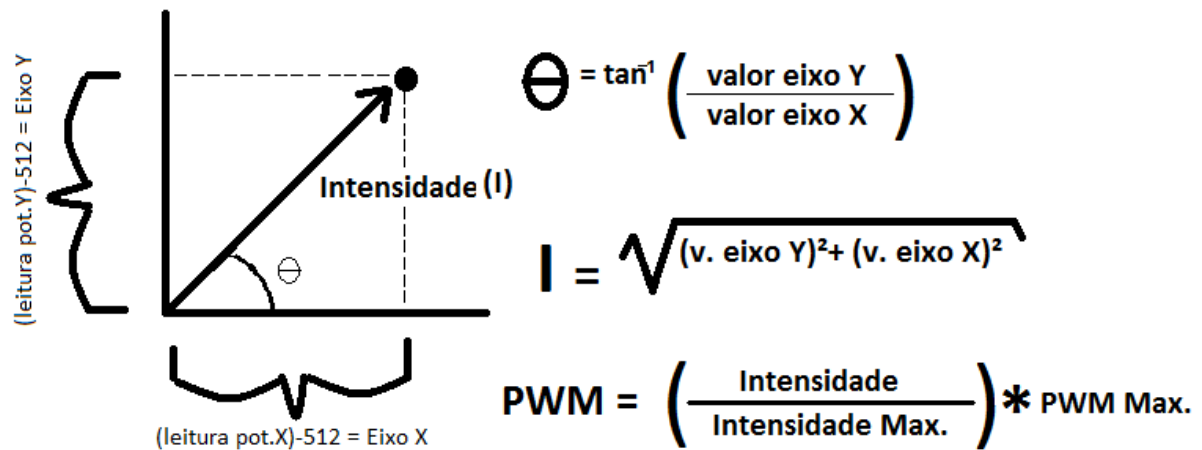


Figura 3 – Representação do vetor intensidade a partir da leitura nos eixos X e Y.

A angulação (θ) é usada para determinar a direção da unidade móvel através da distribuição de potência a ser enviado entre atuadores na forma de sinal PWM e, também, seu sentido de rotação, já o valor intensidade do vetor determina a intensidade da potência a ser distribuída aos atuadores, de acordo com a angulação. O tratamento dos dados de leitura, obtidos pela unidade de controle, são conseguidos pela ação que consiste na conversão destes dados para linguagem digital, ainda na unidade de controle. Após a transmissão desses dados, no receptor da unidade móvel é feita a conversão de dados digitais em números representativos para o sistema de coordenadas cartesiano. O conversor analógico digital do microcontrolador tem uma resolução de 10 *bits*, o que implica que a amplitude do sinal pode ser representada de 0 a 1.023, entre valores mínimos e máximos, respectivamente.

Portanto o tamanho de cada eixo do plano cartesiano será de zero na menor posição relativa ao resistor variável, e de 1.023 na maior posição relativa ao mesmo resistor. Esses valores são relativos à amplitude total dos resistores variáveis, mas ainda não correspondem aos valores de um eixo do plano cartesiano onde o zero represente a origem ao invés de uma das extremidades. Dessa forma, para determinar a "posição zero" cartesiana para cada eixo é feito um tratamento de dados por programação, no microcontrolador da unidade de comando. Esse tratamento consiste em subtrair 512 da leitura do resistor variável correspondente ao eixo (conforme figura 4). Portanto quando o resistor variável estiver na metade de

sua amplitude, corresponderá ao valor zero do eixo do plano cartesiano, quando estiver na sua máxima amplitude corresponderá a 512 no plano cartesiano, e por fim quando estiver na posição mínima de sua amplitude corresponderá em - 512 no plano cartesiano.

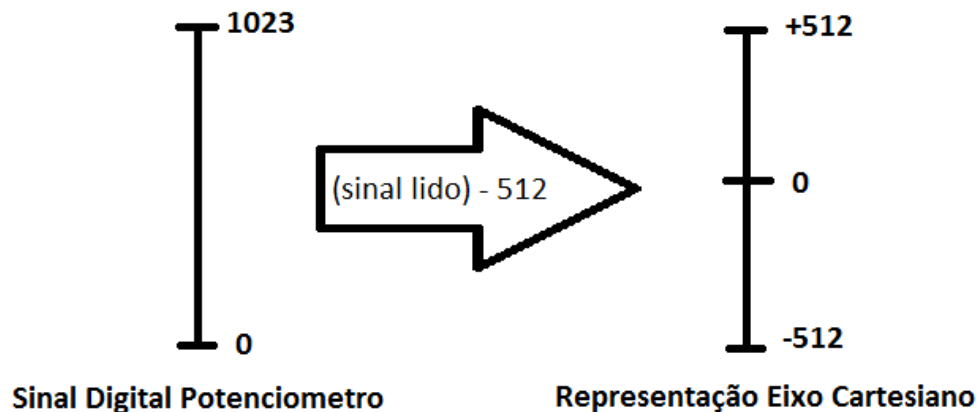


Figura 4 – Tratamento do sinal do potenciometro obtendo representação de eixo cartesiano.

De acordo com esses dois valores, é feito o próximo passo no tratamento de dados usando o método *atan2* da biblioteca *math.h* inclusa no ambiente de desenvolvimento da plataforma Arduino, esse método consiste em determinar o ângulo da tangente determinada por dois valores **x** e **y**, onde **x** representa o cosseno do ângulo e **y** representa o seno do ângulo (conforme figura 3). De acordo com a angulação obtida através desses dois valores **x** e **y**, é possível determinar com base no referencial cartesiano onde os potenciômetros da unidade de controle estão localizados, qual é a intensidade. Portanto, com base na posição e na intensidade é possível estabelecer rotinas de programação de acionamento dos motores, de acordo com as posições determinadas pelo usuário e de acordo com os parâmetros de angulação e/ou intensidade do vetor, podem ser gerados os sinais PWM capazes de controlar a velocidade dos atuadores (figura 5).

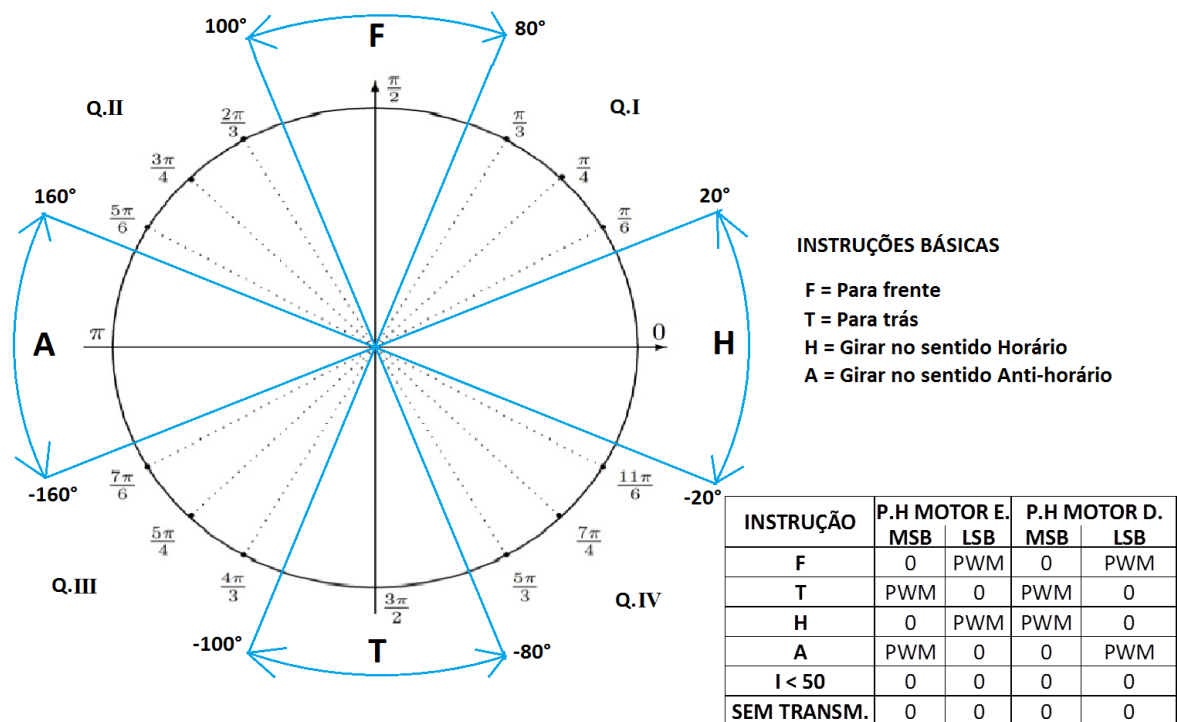


Figura 5 – Demonstração de instruções básicas a partir da posição do manche do joystick.

1.3 Sistema Mecânico

Idealiza-se para o protótipo um formato tipo “tanque militar”, devido à robustez. Também é levado em conta a praticidade na montagem e baixo custo, o que tem influência direta na escolha do material a ser escolhido para a estrutura.

O material da estrutura deve atender aos requisitos: leveza, resistência mecânica suficiente, disponibilidade e baixo custo. A primeira opção entre materiais que atendam essas condições é o cano de PVC, e em segundo lugar o alumínio.

Para esses dois materiais a leveza e a praticidade para a montagem da estrutura, disponibilidade e baixo custo são os maiores atrativos, sendo o alumínio mais interessante no quesito resistência mecânica, caso o cano de PVC (mais barato) mostre-se inadequado para o projeto a escolha pelo alumínio deve ser satisfatória. Para o alumínio as dificuldades na montagem são um pouco maiores, mas suas características mecânicas são compensadoras.

Como forma de tração foi escolhido o uso de duas esteiras mecânicas individuais feitas com correntes, o que possibilita operá-lo ao ar livre, em terrenos não regulares ou de baixa aderência. O sistema mecânico é constituído em cinco partes, sendo elas chassis, correntes, coroas, pinhões de tração e motores.

A distribuição de peso na estrutura deve ser feita de modo a tornar o protótipo o mais estável possível, por isso os componentes de maior peso devem ser alocados o mais baixo e centralizado possível na estrutura.

Para a construção mecânica da esteira são utilizadas correntes provenientes de motocicletas e motores de para-brisa de carros, alimentados por corrente contínua (CC) à 12Vcc. Esta escolha permite a construção de um protótipo com torque elevado e velocidade de deslocamento compatível com a proposta do projeto.

1.4 Alimentação e eletrônica de controle.

Para a alimentação dos componentes da unidade de comando é proposta a utilização de uma bateria alcalina de 9Vcc. Esse tipo de bateria é de uso geral, porém a sua escolha para desempenhar tal função é estratégica devido ao seu tamanho, pois não impede a portabilidade da unidade de comando.

Embora seja possível o uso de uma bateria comum, também conhecida como seca, esta teria um rápido descarte devido à necessidade de manter a unidade de comando em operação constante de maneira confiável, uma vez que as baterias alcalinas possuem desempenho superior às secas.

A utilização da bateria alcalina mostra-se muito mais viável devido a sua maior durabilidade e a sua capacidade de fornecer uma corrente elétrica superior à sua concorrente.

Para a alimentação dos componentes elétricos e eletrônicos da unidade móvel é utilizada uma bateria automotiva de tensão 12Vcc. A bateria nada mais é que um dispositivo eletroquímico que transforma energia química em energia elétrica, e é responsável por armazenar a energia elétrica para o uso quando necessário no

protótipo. O processo de transformação é reversível, o que significa que a bateria pode ser carregada e descarregada (no caso da bateria automotiva) por várias centenas de vezes. A quantidade disponível de eletricidade na bateria medida em ampére-hora “Ah”. A capacidade depende da temperatura da bateria e da corrente de descarga. Por isso, é importante mencionar não apenas a capacidade, mas também a corrente de descarga e a temperatura.

De acordo com os componentes elétricos calcula-se a potência máxima total de 100W. Dessa forma, à corrente total de 10A com a bateria de 45A/h, obtém-se $45A/10A = 4.5h$, o que proporciona cerca de 4 horas e meia de duração da unidade móvel. Por sua vez a unidade de comando é composta por dois resistores variáveis, mecanicamente integrados de forma a possibilitar a variação simultânea das resistências através de um manche central (conforme figura 6). A alimentação é provida pela bateria desta unidade e é determinada pela tensão de referência do conversor analógico digital do microcontrolador. A leitura de cada potenciômetro é enviada ao pino correspondente ao conversor analógico digital do microcontrolador através da placa Arduino UNO, nos pinos A0 e A1.



Figura 6 – Joystick similar ao usado no projeto. Fonte: < <http://artofcircuits.com/product/dual-axis-xy-joystick-module>>

O sistema de controle é feito por microcontrolador, a partir da plataforma Arduino UNO (figura 7) que pode ser definida como uma placa de desenvolvimento de projetos microcontrolados, muito utilizada para fins didáticos e protótipos. Por ser possível a programação ICSP via conexão USB, possuir circuito de alimentação, oscilador de cristal, trilhas entre conectores e pinagem do microcontrolador

(conforme figura 9), a placa oferece praticidade no uso e acesso às funcionalidades do ATmega328, mostrando-se muito vantajosa para desenvolvimento de projetos. A placa é vendida já com o microcontrolador ATmega328, a tensão de operação é 5Vcc, e a tensão de entrada recomendada para alimentação não *USB* é entre 7 e 12Vcc, podendo operar em limites mínimos e máximos de 6 e 20Vcc, a corrente CC chega a 40mA nas suas entradas e saídas convencionais. A placa conta com um oscilador de cristal de 16MHz.



Figura 7 – Placa Arduino UNO - fonte: < <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno> > (2014)

O microcontrolador ATmega328 foi escolhido levando-se em conta duas condições, a aplicabilidade no projeto e disponibilidade no mercado. Suas características são tensão de operação de 1,8 a 5,5Vcc, amplitude de temperatura de funcionamento entre -40°C a 85°C, possui arquitetura RISC e 32 x 8 registradores de propósito geral, com barramento direto com a unidade lógica aritmética, conforme esquema da figura 8, possibilitando que dois registradores possam ser acessados em um único ciclo de *clock*. O microcontrolador possui seguimentos de memória não volátil de boa resistência ao tempo, memória flash 32Kb, EEPROM 1KB, RAM 2KB, Memória flash com durabilidade de 1.000 ciclos de escrita, retenção de informação de 10 a 20 anos, seis canais PWM, USART programável e *Serial Peripheral Interface Bus*.

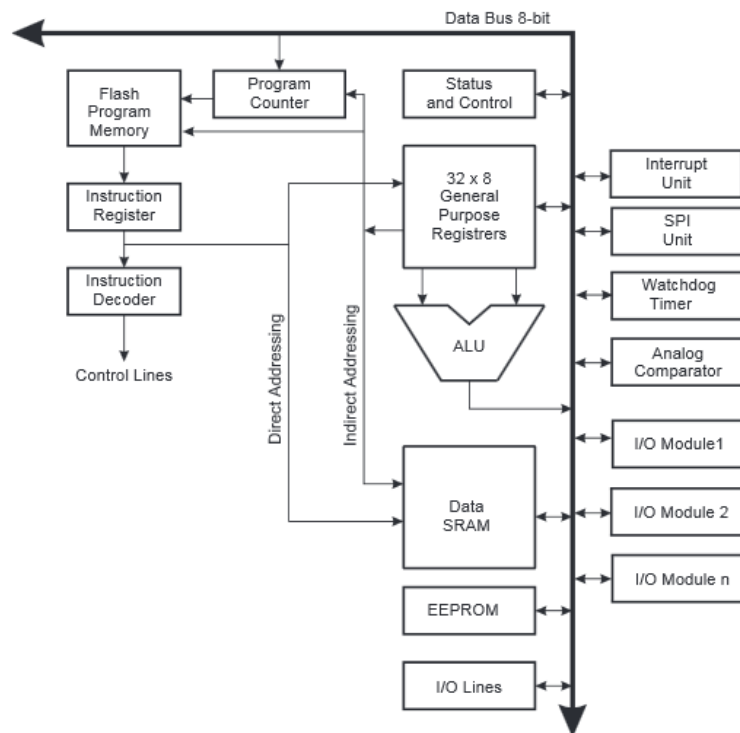


Figura 8 – Arquitetura do microcontrolador ATmega328 – fonte: ATMEL (2009)

(PCINT14/RESET) PC6	1	28	PC5 (ADC5/SCL/PCINT13)
(PCINT16/RXD) PD0	2	27	PC4 (ADC4/SDA/PCINT12)
(PCINT17/TXD) PD1	3	26	PC3 (ADC3/PCINT11)
(PCINT18/INT0) PD2	4	25	PC2 (ADC2/PCINT10)
(PCINT19/OC2B/INT1) PD3	5	24	PC1 (ADC1/PCINT9)
(PCINT20/XCK/T0) PD4	6	23	PC0 (ADC0/PCINT8)
VCC	7	22	GND
GND	8	21	AREF
(PCINT6/XTAL1/TOSC1) PB6	9	20	AVCC
(PCINT7/XTAL2/TOSC2) PB7	10	19	PB5 (SCK/PCINT5)
(PCINT21/OC0B/T1) PD5	11	18	PB4 (MISO/PCINT4)
(PCINT22/OC0A/AIN0) PD6	12	17	PB3 (MOSI/OC2A/PCINT3)
(PCINT23/AIN1) PD7	13	16	PB2 (SS/OC1B/PCINT2)
(PCINT0/CLKO/ICP1) PB0	14	15	PB1 (OC1A/PCINT1)

Figura 9 – Pinagem do microcontrolador ATmega328 - fonte: ATMEL (2009)

1.5 Programação

Para a programação opta-se pelo uso de uma ferramenta de uso livre e código aberto, o ambiente de desenvolvimento da plataforma Arduino. Através deste IDE os softwares da unidade de comando e da unidade móvel são programados em linguagem C++, usando bibliotecas de métodos funcionais pré-construídos correspondentes às operações específicas de funcionalidades de módulos externos, tais como o módulo de transmissão RF. A operação de algumas funções são possível de serem realizadas pelas próprias funções nativas introduzidas pela IDE Arduino, como as funções das bibliotecas *math.h*, *wire.h*, *SPI.h*, por exemplo. Neste projeto, as principais bibliotecas usadas na programação são: *math.h* – A biblioteca *math.h* pertence ao pacote de bibliotecas AVR Lib C, ela conta com métodos de instruções para lidar com operações matemáticas; *SPI.h* – Esta biblioteca permite a comunicação do microcontrolador com dispositivos que usam protocolo de comunicação SPI; *nRF24L01.h* – Biblioteca de instruções para operar o módulo NRF24L01 da *Nordic*, usado para a comunicação em radiofrequência do projeto; *RF24.h* – Biblioteca usada na comunicação do microcontrolador e o módulo NRF24L01, esta biblioteca contém instruções necessárias para a biblioteca *nRF24L01.h*.

1.6 Sistema de comunicação

O sistema de comunicação envolve unidades de transcepção em rádio frequência, e o gerenciamento de suas funções é feito a partir do sistema de controle, através do microcontrolador. A associação da unidade de transcepção e seu respectivo microcontrolador forma o módulo de comunicação. No projeto do protótipo, a unidade de comando e a unidade móvel contam com um módulo de comunicação para cada uma. A interação entre os dois módulos de comunicação é o que caracteriza o sistema de comunicação do projeto.

O módulo nRF24L01+ (figura 10) é fabricado pela *Nordic Semiconductors*, ele é um transceptor de baixíssima potência e consequentemente baixa corrente de operação, que opera na faixa de frequência de 2,4000GHz a 2,4835GHz, capaz de transferir dados a uma taxa de até 2Mbps e usa protocolo comunicação SPI. Essas características em conjunto com a disponibilidade no mercado, e preço acessível garantem sua aplicabilidade no projeto. Outra característica muito apreciada pela equipe é que existe na internet uma razoável quantidade de informações disponíveis quanto ao uso e aplicação.

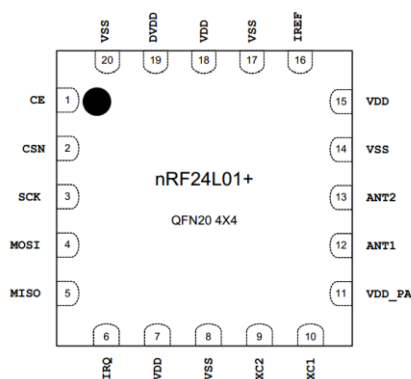


Figura 10 – Pinagem do chip nRF024L01 - fonte: Nordic Semiconductor (2008)

O nRF24L01+ tem uma máquina de estados que controla as transições entre seus modos de operação. A máquina de estados pode ser configurada através de entradas de valores lógicos, feitas pelo usuário diretamente nos *bits* de seus registradores, assim o módulo pode ser configurado para operar como transmissor ou receptor, operar em *standby*, ou mesmo ser desligado.

No caso da unidade de comando do protótipo, o NRF24L01 opera em modo de transmissão, que é habilitado “setando” em sua máquina de estados o registrador PWR_UP em lógica alta, e o registrador PRIM_RX em lógica baixa com o pino CE(*clock enable*) ficando em lógica alta por mais de 10 microssegundos.

Na unidade móvel o módulo de comunicação opera em modo de recepção, esse modo é habilitado “setando” em lógica alta os *bits* PWR_UP, PRIM_RX e o

pino CE. Neste projeto, essas funcionalidades operacionais são utilizadas indiretamente através das funções das bibliotecas específicas, nRF024L01.h e RF24.h

1.7 Sistema de potência

O sistema de potência consiste no conjunto dos componentes elétricos e eletrônicos que formam a ponte H e os motores CC. Este sistema é responsável por receber as informações do sistema de controle e repassar a informação recebida, para que os sistemas de tração sejam acionados por comandos eletroeletrônicos, caracterizados pelo uso de pulso PWM, de forma que o sinal modulado indique também a velocidade com que o protótipo se movimentará.

A eletrônica de potência é primeiramente baseada no chaveamento dos dispositivos semicondutores de potência. Com o desenvolvimento da tecnologia dos semicondutores de potência, as capacidades nominais e a velocidade de chaveamento dos dispositivos de potência melhoraram enormemente. O Desenvolvimento da tecnologia de microprocessadores / microcomputadores teve grande impacto no controle e na sintetização da estratégia de controle para dispositivos semicondutores de potência. Os equipamentos de eletrônica de potência modernos usam semicondutores de potência, que podem ser considerados como o músculo, e a microeletrônica, que tem a inteligência do cérebro (RASHID, Muhammad H. Eletrônica de Potência, 1999)

O sistema de modulação de largura de pulso, ou PWM, é utilizado no protótipo para o controle dos motores CC que o tracionam, dessa forma pode-se controlar a velocidade dos motores, mantendo o torque mesmo à baixa velocidade. A placa

Arduino UNO permite e facilita o uso do PWM, através de seus seis pinos específicos para esse uso que são 3, 5, 6, 9, 10, 11.

Devido a estas condições o sinal PWM pode ser usado para o controle de velocidade do protótipo. Os transistores de efeito de campo metal-óxido-semicondutor (*MOSFET*) do tipo intensificação, modelo IRF3205 (figura 11) foram escolhidos como principais no chaveamento de corrente CC para os motores. A escolha desse transistor foi embasada em suas características físicas de altíssima impedância, velocidade de chaveamento suficiente e seu encapsulamento do tipo TO-220AB suportar potência de 50W.

Esse transistor, teoricamente, pode suportar uma intensidade de corrente contínua em seus terminais dreno e fonte de até 110A, entretanto esse valor não pode ser alcançado devido às limitações do encapsulamento.

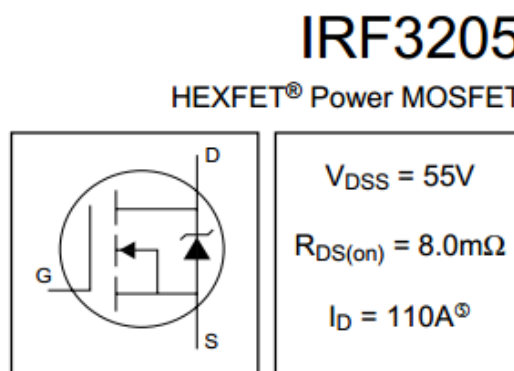


Figura 11 – Representação do Transistor MOSFET IRF3205 canal n. - fonte: International Rectifier (2009)

A ponte H é um tipo de configuração de circuito empregada para alternar o sentido de corrente no ramo onde será conectada a carga, dessa forma é possível controlar o sentido de rotação dos atuadores. Controlar o sentido de rotação dos motores é a principal função de um circuito ponte H.

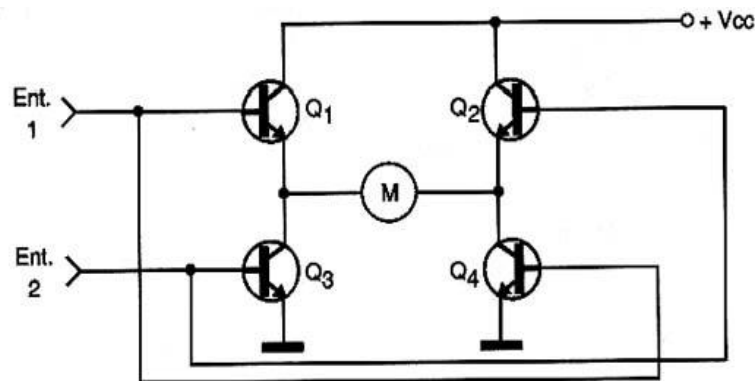


Figura 12 – Diagrama esquemático representativo de uma Ponte H simples. fonte: International Rectifier (2009)

Para o projeto, a ponte H representada pela figura 12 é constituída pelos transistores *MOSFET* IRF3205 como principal responsável pelo chaveamento da corrente CC, serão utilizados também outros componentes passivos como resistores e led.

Em função da capacidade de condução de corrente dos transistores *MOSFET*, a ponte H além de controlar o sentido de rotação dos motores também pode ser vista como um amplificador do sinal de controle. Os motores de corrente contínua são utilizados para a movimentação do conjunto estrutural e demais componentes do protótipo. Seu controle será feito através dos transistores da ponte H, de forma que cada um dos dois motores seja responsável pela movimentação de forma conjunta, atuando em todas as direções, e na necessidade de movimentação lateral a programação do controlador é capaz de enviar o sinal lógico adequado para cada direção. Devido às características do protótipo, o uso dos motorreduzores CC (figura 13) atribuem boa capacidade de controle e torque ao protótipo, com foco em um produto final voltado para carregamento ou precisão e não para percurso de longas distâncias em um curto intervalo de tempo.

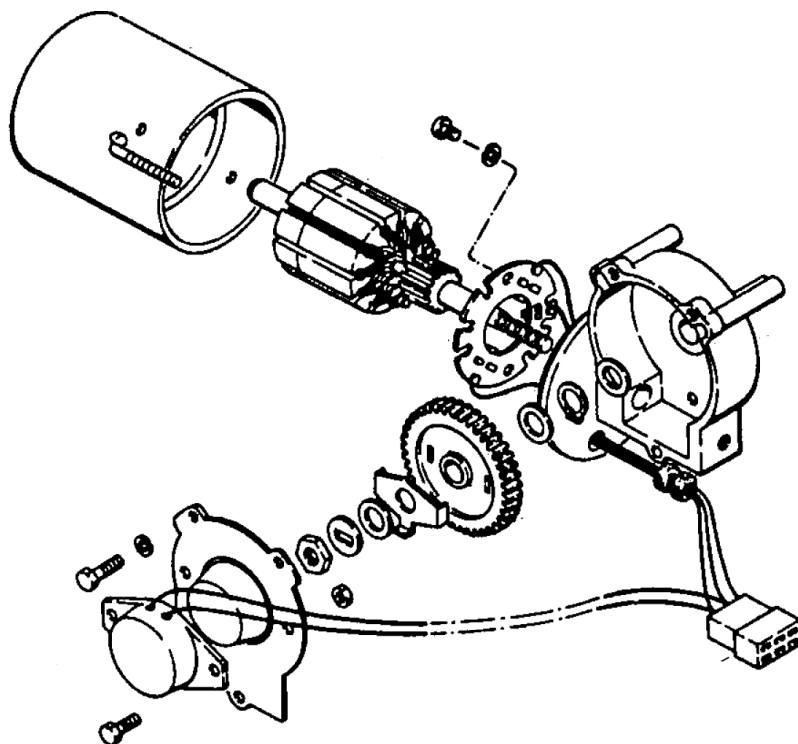


Figura 13 – Ilustração do motorreductor similar ao utilizado no prototipo. fonte: <http://dimequarterly.blogspot.com.br/2012/03/tech-how-to-stock-wiper-motor-rebuild.html>

2 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do protótipo divide-se em: sistema mecânico, circuitos eletrônicos, sistemas de potência, unidade de comando e programação. A sua construção foi realizada pela sua estrutura mecânica para dimensionamento de suas partes e melhor posicionamento dos conjuntos. As montagens de todos os conjuntos e a programação ocorreram de forma separada à da estrutura, e de acordo com as finalizações foram acopladas na estrutura mecânica, corrigidas e adequadas ao longo do desenvolvimento.

2.1 Montagem do conjunto mecânico

Inicialmente a opção de elaborar a estrutura do protótipo em canos de PVC pareceu ser atrativa devido ao fácil acesso a esse material, e praticidade na sua montagem. Porém, após montado (figura 14) o material mostrou resistência mecânica insuficiente devido ao peso da bateria automotiva.



Figura 14 – Estrutura em PVC.

Após ser descartada a opção dos canos de PVC, foram utilizadas barras de alumínio (figura 15) para o material da estrutura do protótipo. Ao todo, foram utilizadas duas barras de seis metros de alumínio sendo uma barra chata e uma barra cantoneira de *box* de banheiro.



Figura 15 – Barras de alumínio utilizadas para montagem da estrutura mecânica

A montagem foi iniciada pela estrutura de sustentação do protótipo, para então conectar o sistema de tração.

No projeto e na montagem da estrutura de sustentação foram executados e levados em conta o posicionamento do centro de gravidade do protótipo, e o direcionamento da carga para o ponto mais baixo e centralizado possível (figura 16).



Figura 16 – Construção da estrutura, de forma a centralizar o centro de gravidade.

Após posicionar o componente de maior peso na estrutura, foram definidas as dimensões do sistema de tração e por sua vez, determinadas as dimensões de altura e comprimento da estrutura. Por fim foi definido o posicionamento dos atuadores na estrutura (figura 17).



Figura 2 – Chassi com posicionamento dos motores

2.2 Montagem dos Circuitos eletrônicos

Como os sistemas de controle e comunicação são integrados pela plataforma Arduino UNO e um módulo de transmissão RF, seus circuitos são pré-fabricados e dessa forma utilizados.

Dada à dificuldade de encontrar circuitos ponte-H pré-fabricados e de especificações técnicas adequadas ao projeto, houve necessidade da montagem de uma ponte H que suportasse no mínimo uma corrente de 15A. Conforme idealizado inicialmente, o sistema de controle é constituído pela placa Arduino UNO com

microcontrolador ATmega328 embarcado, sua conexão com os módulos de comunicação e potência se dá através de conectores simples. Assim como o sistema de controle, o módulo transceptor de rádio frequência é adquirido com seus circuitos pré-montados, sua conexão com o microcontrolador ATmega328 é feita através da placa Arduino UNO e conectores simples com terminais, conforme a figura 18.

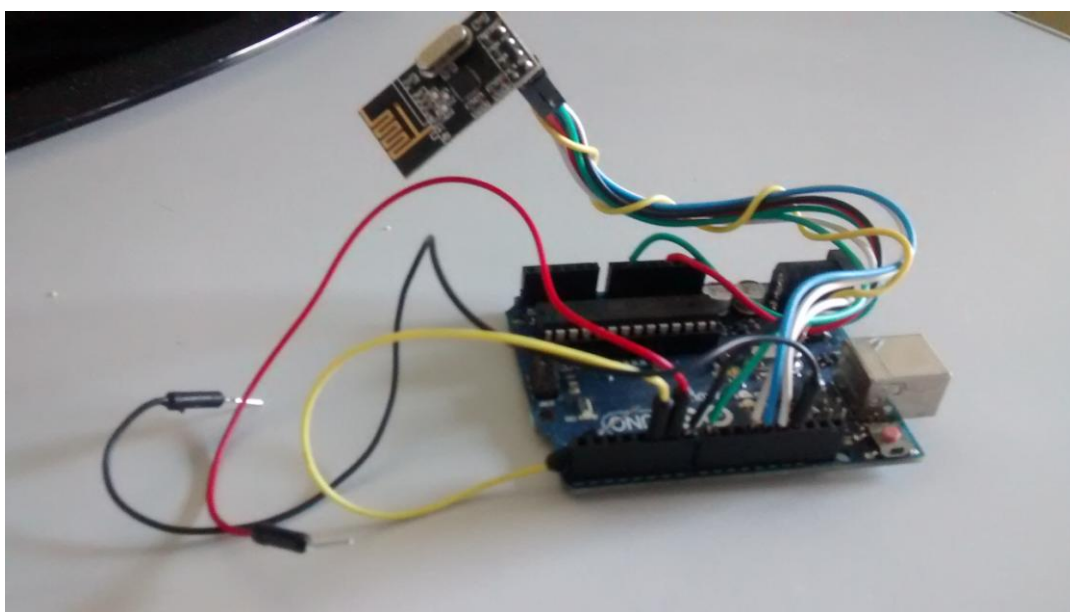


Figura 18 – Ligação Arduino Uno e o transmissor rádio frequência

O Arduino pode ser utilizado para desenvolver objetos interativos independentes, ou pode ser conectado a um computador, a uma rede, ou até mesmo a Internet para recuperar e enviar dados do Arduino e atuar sobre eles. Em outras palavras, ele pode enviar um conjunto de dados recebidos de alguns sensores para um site, dados estes que poderão, assim, ser exibidos na forma de um gráfico (MCROBERTS, 2011, p. 23 - Michael. **Arduino Básico**. São Paulo: Novatec, 2011.)

Após vários projetos de ponte H e pesquisas sobre o transistor que seria mais adequado, foi encontrado um projeto de circuito ponte-H (figura 19), com transistores *MOSFET* modo intensificação, e capazes de suportar aproximadamente 75A. O circuito então foi simulado em um software, apresentando resultados satisfatórios, e assim o circuito foi montado para testes práticos, visando à utilização no projeto.

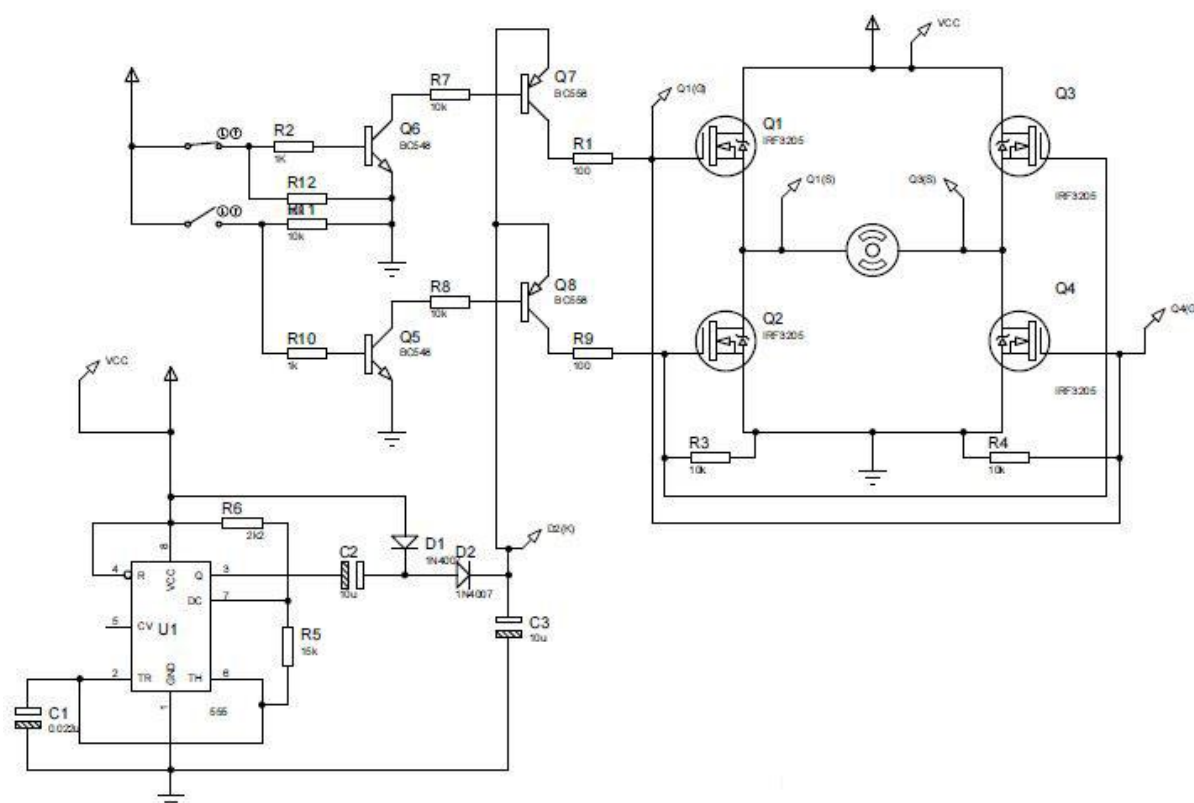


Figura 19 – Esquema eletrônico do circuito ponte H. fonte: <https://www.robocore.net>

A montagem do circuito se iniciou pela confecção do circuito impresso, em placa de fenolite. Optou-se por imprimir as trilhas na placa pelo processo de transferência térmica, onde foram impressas as trilhas em vários tipos de papel, sendo eles, papel couchê, papel sulfite, e verso do papel etiqueta.

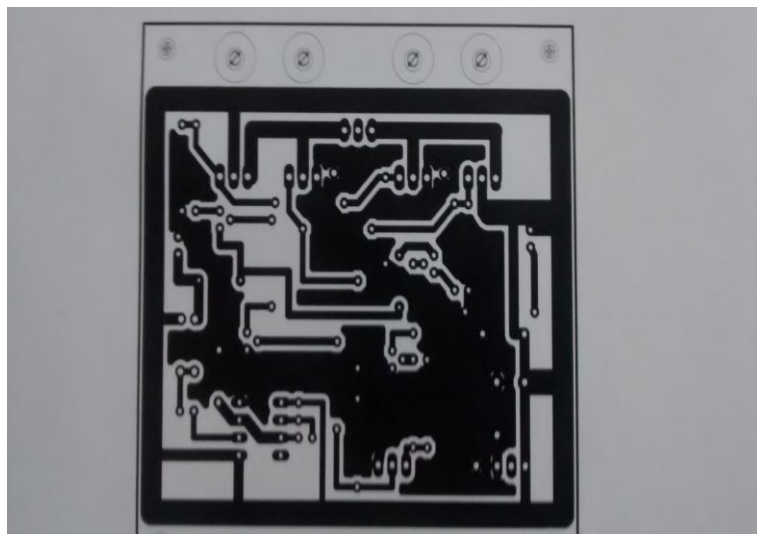


Figura 20 – Impressão do circuito em papel sulfite

Depois de impressas as trilhas (figura 20), o papel foi colocado sobre o lado de cobre da placa de fenolite e então foi aplicado calor sobre o verso do papel, assim foi realizada a transferência térmica.

Foram realizados esses procedimentos para cada impressão de circuito, em cada papel, porém a transferência térmica com papel sulfite foi a que obteve melhores resultados. Feita a transferência térmica, foram necessários também os retoques (figura 21), para finalizar circuito.

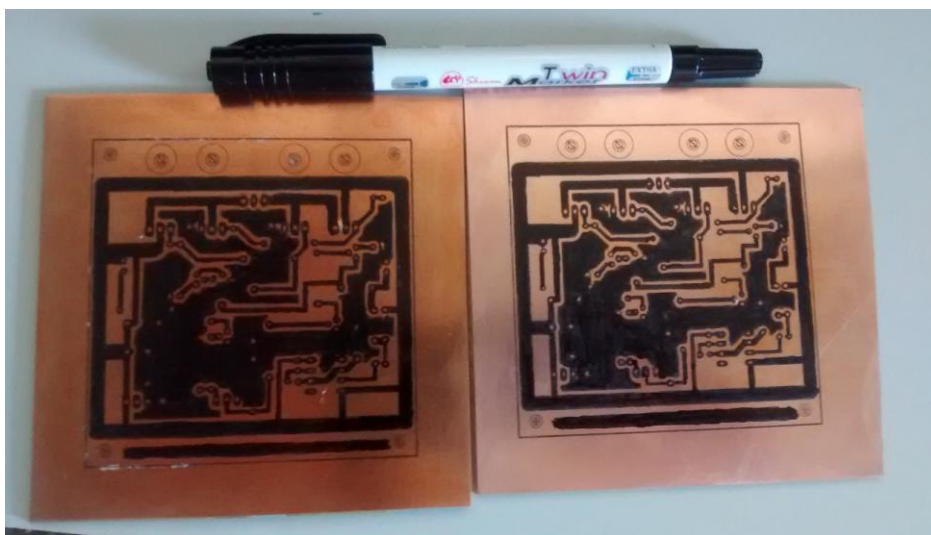


Figura 21 – Placas de circuito impresso após transferência térmica e retoque.

Finalizada a transferência térmica, a placa passa por um processo de corrosão por percloroeto de ferro (FeCl_3), conforme ilustrado na figura 22.



Figura 22 – Processo de corrosão por percloroeto de ferro

Finalizada a corrosão, com um pedaço de palha de aço, é retirada a tinta sobre as trilhas e feitos os furos para os componentes eletrônicos (figura 23).

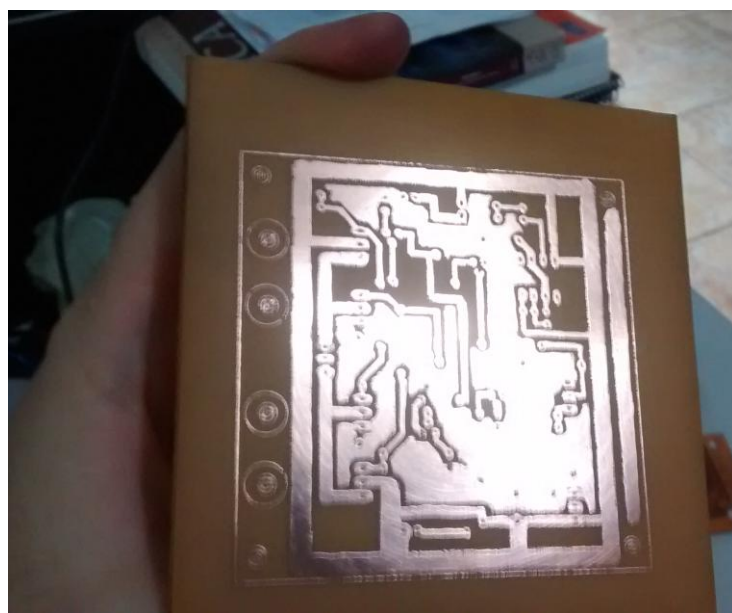


Figura 23 – Placa pronta para soldagem dos componentes.

Finalmente são soldados os componentes conforme figura 24.

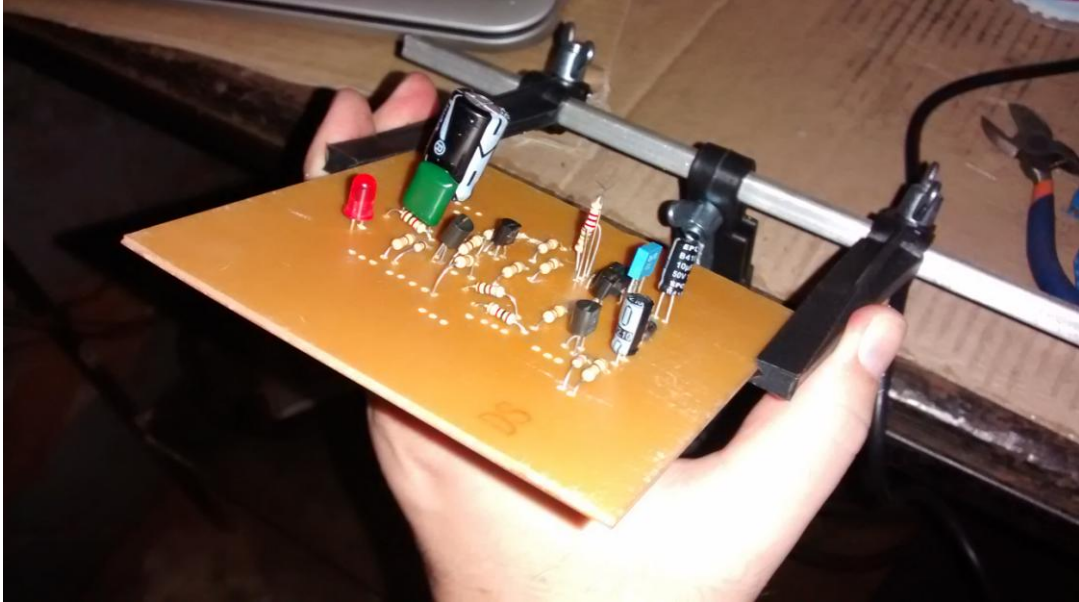


Figura 3 – Soldagem dos componentes.

2.3 Montagem da Unidade de comando

A unidade de comando é a interface por onde o usuário faz as entradas de dados de comando para a unidade móvel. Ela é constituída por um módulo transceptor RF gerenciado por microcontrolador, dois potenciômetros e uma fonte de alimentação compatível. Inicialmente a unidade de comando foi projetada de forma a ser controlada por uma placa Arduino Uno. No decorrer dos experimentos entre a unidade de comunicação da unidade móvel com a unidade de comando, chegou-se à conclusão de que a unidade de comando deveria ser menor e seu uso o mais prático possível. Assim optou-se por integrar os componentes de comando, dentro da carcaça de um controle de *video game* genérico.

Contudo a placa Arduino UNO inviabilizava essa modificação do projeto da unidade de comando, devido ao seu tamanho em relação ao interior de um controle genérico. Esse problema foi resolvido utilizando uma placa Arduino modelo pro-mini (figura 25).

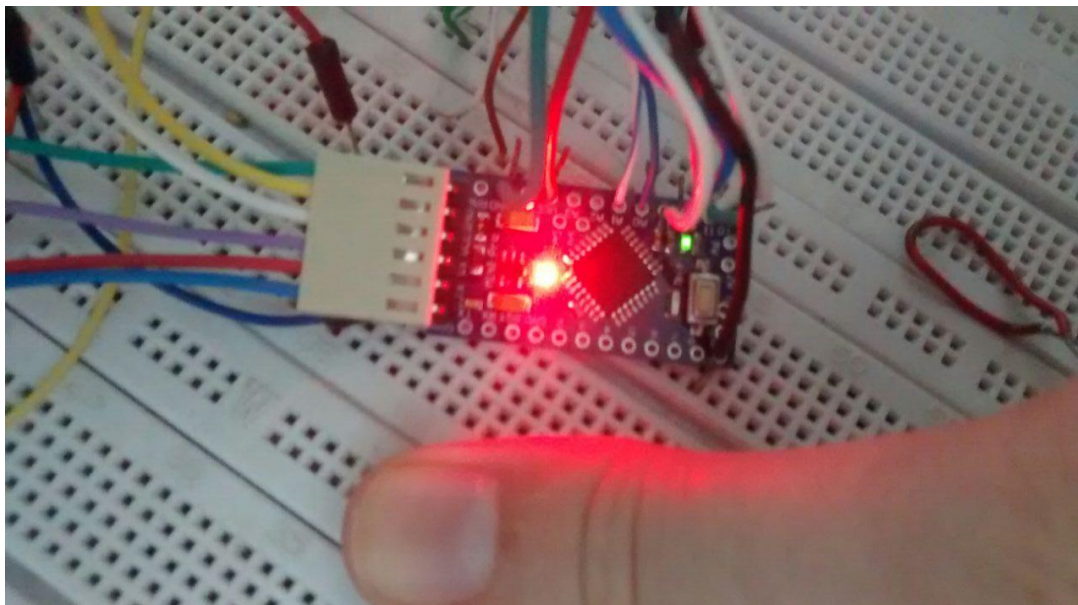


Figura 25 – Placa Arduino Pro – mini, usada na unidade de comando.

Devido à placa Arduino pro-mini não possuir entrada USB, sua programação foi feita a partir da placa Arduino UNO, conectando-se os respectivos pinos RX / TX e alimentação.

Então foram soldados os fios do módulo RF, uma bateria de 9Vcc e os fios dos potenciômetros na placa Arduino pro-mini. Após os testes e resultados satisfatórios, foi iniciado o processo de inserção de todo o circuito da unidade de comando dentro da carcaça do controle genérico.

Foram utilizados os *joysticks* do próprio controle, pois segundo os testes estavam em bom estado. Também foi adicionada uma chave liga-desliga nessa versão da unidade de comando (figura 26).

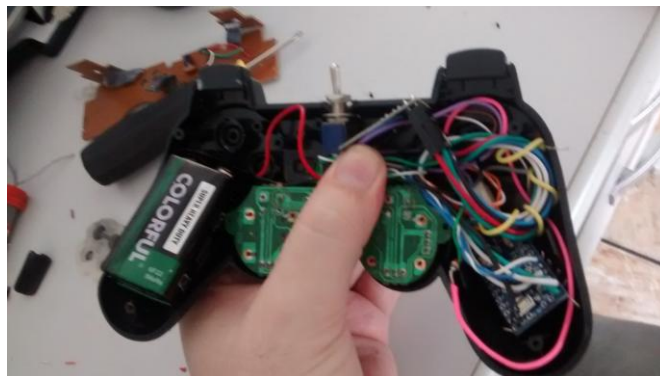


Figura 26 – Circuito da Unidade de Comando dentro da carcaça de um controle genérico de vídeo game.

Ainda na fase de conclusão da unidade móvel, a unidade de comando que, após apresentar-se satisfatoriamente funcional e até então concluída e finalizada, começou a apresentar problemas. Um pequeno pedaço de solda soltou-se e causou um curto circuito entre os pinos do microcontrolador do Arduino pró mini, ocasionando mal funcionamento e superaquecimento no módulo RF, sendo então necessário substituir o controlador dessa unidade. O projeto da unidade móvel então foi executado como idealizado inicialmente com a placa Arduino UNO. Foi criada uma segunda unidade móvel (Figura 27), mas ainda com o intuito de preservar a portabilidade conseguida com a primeira unidade móvel, foi desenvolvido um suporte para a placa arduino UNO com arame de construção. Esse suporte foi capaz de fornecer sustentação e fixação entre a placa e a carcaça de *joystick*, esta que por sua vez continuou aportando a bateria de 9V e a placa onde fixou-se os potenciômetros.



Figura 27 – Protótipo da segunda unidade movel finalizada

2.4 Montagem da unidade móvel

Com a estrutura da unidade móvel e os circuitos eletrônicos prontos, inicia-se a fixação das placas de circuito na estrutura bem como a colocação das coroas de motocicleta. A fixação das placas de circuito é feita através de parafusos (figura 28), sempre com o cuidado de evitar o contato entre a estrutura de alumínio e algumas trilhas da placa.



Figura 28 – Fixação das placas na estrutura.

A coroa de motocicleta foi preparada com um rolamento concêntrico, esse ajuste foi feito por um torneiro mecânico. Com as coroas devidamente preparadas com o rolamento elas são fixadas nas barras roscadas por porcas e arruelas, com o devido cuidado em não prender de causar a dificuldades para o giro livre da coroa no eixo, que deve ser com o menor atrito possível para não sobrecarregar os motores. Com os pinhões de motocicleta devidamente fixados ao eixo dos motores pelo uso de um fixador químico, similar a uma cola, e com todas as coroas instaladas (figura 29), então são colocadas as correntes (esteiras).



Figura 29 – Unidade movel pronta para colocação das correntes do sistema de tração.

Com o protótipo da unidade móvel montado (figura 30) e seus sistemas previamente testados, iniciam-se os testes que servirão de base para as conclusões finais.



Figura 30 – Protótipo da unidade movel finalizada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inspirados em atingir os objetivos inicialmente propostos, o protótipo foi predominantemente desenvolvido conforme o esperado e com o direcionamento sequencial proposto pela fundamentação teórica. Houve algumas dificuldades com relação à utilização de algumas tecnologias, mas o embasamento teórico construído durante o curso foi suficiente para superar essas dificuldades ou mesmo propor diferentes soluções conforme necessidade.

A metodologia adotada foi consideravelmente bem sucedida, o método proposto de testar os sistemas construídos de forma separada para depois integrá-los possibilita que a construção do sistema seja concluída de forma a prevenir que um erro construtivo possa passar adiante sem que seja detectado, o que poderia causar problemas na integração dos sistemas.

Inicialmente foram realizados testes na estrutura, que consistiram em gradualmente aumentar o valor de uma massa qualquer no segmento da base. Nesse teste a utilização de barras de alumínio mostrou-se mais acertada, ao contrario dos canos de PVC, as barras de alumínio suportaram o peso da bateria automotiva. Também foram realizados testes com vários *joysticks* de forma a escolher o de leitura analógica mais estável e confiável, esses testes foram realizados com programação na placa Arduino UNO. Em seguida foram testados os módulos RF juntamente com as placas Arduino UNO em comunicação serial com um computador, dessa forma foi possível verificar a distância de comunicação e ter noção da confiabilidade da informação transmitida. Com os sistemas de controle, entrada de dados (*joystick*) e transmissão RF testados e funcionais, testou-se a programação também com o monitoramento via serial do funcionamento das programações propostas. Ao mesmo tempo foram testadas as "ponte H" juntamente com os motores, onde detectou-se a necessidade de alguns ajustes construtivos simples no circuito.

Depois de testados os sistemas e com o funcionamento satisfatório de todas as partes, foi montada a unidade móvel sem maiores problemas, conforme a metodologia. Foram realizados os testes finais do protótipo, onde a unidade de comando controlou a unidade móvel, com respostas satisfatórias aos comandos de ir para frente e para trás, e também girar no próprio eixo no sentido horário e anti-horário.

O controle de velocidade dos motores por PWM também foi testado e mostrou-se funcional. Todos os comandos básicos propostos juntamente com o controle de velocidade dos motores podem ser executados com apenas um *joystick*, sendo possível controlar o protótipo com apenas um dedo, o que viabiliza o projeto para controle de motorização de cadeiras de rodas, com os devidos ajustes. Além da viabilidade em aplicações que exijam tal controlabilidade, os testes mostraram que o projeto é viável para aplicações em que a unidade móvel deva responder a comandos com boa confiabilidade dentro de um raio de 40 metros. Caso seja necessária mais velocidade, a escolha de um sistema de redução adequado com as características do motor proporcionaria mais rapidez aos movimentos, uma vez que o controle PWM mostra-se funcional para controlar a velocidade.

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados dos testes, concluímos que o planejamento e desenvolvimento deste trabalho foram bem sucedidos, o que nos motiva a continuar estudando este tipo de tecnologia e propor futuras melhorias para esse projeto, tais como a criação de uma placa única incorporando os dois circuitos ponte-H junto com o microcontrolador e seus componentes necessários para funcionamento, sem a necessidade da placa de prototipagem. Também é possível propor melhorias na estrutura mecânica de forma a melhorar os ângulos das esteiras proporcionando ao protótipo ultrapassar obstáculos mais desafiadores, ainda quanto ao sistema de esteiras é possível propor melhorias de forma a aumentar a largura das mesmas obtendo maior contato com o solo, potencializando a tração e tornando o protótipo compatível com terrenos menos compactados. Existe também a possibilidade de usar outros módulos de transmissão RF, alguns com antenas mais robustas capazes de transmitir informações a maiores distâncias.

Por fim, a aplicabilidade deste tipo de tecnologia é vasta e de enorme potencial para viabilizar meios de ação humana nas mais diversas condições. Esperamos que este trabalho seja útil em estudos iniciais para este tipo de dispositivo, e que dessa forma represente uma pequena contribuição em ajudar a viabilizar o uso deste tipo de tecnologia em aplicações que melhorem a vida das pessoas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARDUINO, Arduino Uno. Disponível em: <<http://forum.arduino.cc>>. Acesso em 10/03/2014

ARDUINO, Shields Ponte H. Disponível em: <<http://forum.arduino.cc/index.php/topic,78865.0.html>>. Acesso em 07/04/2014.

BOYLESTAD, Robert. Introdução análise de Circuitos, 8. ed. São Paulo, Pearson Prentice Hall, 1998.

BOSCH, Motores Elétricos. Disponível em: <http://www.bosch.com.br/br/autopecas/produtos/eletrica/limp_parabrisa.htm>. Acesso em 06/11/2014.

BOSCH, Motores Elétricos. Disponível em: <http://www.bosch.com.br/br/autopecas/produtos/motores_eletricos/downloads/CatalogoMotoresEletricos2006.pdf>. Acesso em 06/11/2014.

BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos. 8ª ed. São Paulo/SP: Prentice-Hall, 2007.

FRITZGERALD, A.E. Máquinas elétricas. 6 Ed. Porto Alegre: Bookman, 2006

GOMES, Alcides T. Telecomunicações - Transmissão e Recepção. 11. ed. São Paulo, Ed. Érica, 1995

MALVINO, A.P. Eletrônica. São Paulo: Makron Books, 1995

MAXWELL BOHR, Ponte H. Disponível em: <<http://www.maxwellbohr.com.br>>. Acesso em 07/04/2014.

NORDIC, Módulo RF. Disponível em: <<https://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHzRF/nRF24L01P>> acesso em 07/04/2014.

RASHID, Muhammad H. Eletrônica de Potência. São Paulo. Ed. Markon Books, 1999

ROBOTIZANTO, Ponte H implementada. Disponível em:

<http://www.robotizando.com.br/artigo_ponte_h_pg1.php>. Acesso em 07/04/2014.

TORRES, Gabriel. Redes de Computadores. Ed. Axcel Books, 2002

OGATA, Katsuhiku. Engenharia de Controle Moderno. 4. ed. São Paulo: Ed. Pearson Prentice Hall, 2003

PEREIRA, Fábio. Microcontroladores PIC, Programação em C. 7ª ed. São Paulo. Ed. Érica, 2007