

**LUIZ ARTHUR MALTA PEREIRA**

**Robô autômato para monitoramento de rebanho e medição da  
forragem do pasto.**

Dissertação apresentada à faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Zootecnia.

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal.

Orientador: Prof. Dr. Ernane José Xavier Costa

***À minha família que em todas as minhas dificuldades sempre esteve ao meu lado, me apoiando.***

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu pai, Luiz de Mattos Pereira, que teve participação direta no desenvolvimento do projeto.

A minha mãe, Marinalva Malta Pereira, que em todos os momentos difíceis sempre me deu força para continuar lutando.

A minha Irmã, Talita Malta Pereira, que não faltou com empenho e dedicação para me ajudar nos momentos mais difíceis.

Ao Prof. Dr. Ernane José Xavier Costa, por ter acreditado em meu trabalho e ter proporcionado um enorme avanço em minha vida profissional.

Aos Professores da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo que dispensaram seu tempo para minha formação.

A toda equipe do LAFAC que ajudou e apoiou na conclusão do projeto.

Ao Canal Rural que divulgou o protótipo ainda em seu primeiro ano de vida.

A todos que direta ou indiretamente ajudaram na conclusão desse projeto.

*"A morte do homem começa no instante em que ele desiste de aprender"*

**Albino Teixeira**

## RESUMO

Pereira, L.A.M. *Robô autômato para monitoramento de rebanho e medição da forragem do pasto*. 2009. 100 f. dissertação de Mestrado - faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2009.

O crescimento do rebanho mundial está acompanhando o crescimento populacional e tem colocado os pastos sobre forte pressão. Uma pastagem sobrecarregada, inicialmente reduz a produtividade dos pastos que sem os devidos cuidados acabam transformando-se em grandes desertos. Esse projeto é inserido nesse contexto e tem por objetivo o desenvolvimento de um robô autômato capaz de se locomover no pasto, monitorar o rebanho e colher dados referentes à forragem do pasto, tendo em vista que o processo atual é rústico, impreciso e prejudica a vegetação. Para que fosse possível o deslocamento do protótipo e a coleta dos dados, vários protótipos foram estudados uma vez que os pastos possuem irregularidades que proporcionam muitos obstáculos ao equipamento eletromecânico. Após a finalização do protótipo, sensores e softwares foram desenvolvidos possibilitando a captação dos dados e o envio dos mesmos ao computador central, este envio foi feito para obter um estudo praticamente em tempo real. Os resultados obtidos comprovam que a implantação de robôs para a monitoração do rebanho e análise do pasto, poderá proporcionar ao produtor um controle concreto sobre a forragem do pasto, além de auxiliar no monitoramento do rebanho, inclusive na proteção contra roubos.

**palavras-chave:** redes neurais; eletromecânico; visualização de ambiente; rede sem fio;

## ABSTRACT

Pereira, L.A.M. *Automated robot for monitoring and measuring livestock grazing*. 2009. 100 f. M.Sc. Dissertation - faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2009.

The growth of the cattle is following the global population growth and has put strong pressure on pastures. A pasture overloaded initially reduces the productivity of pastures without due care end up becoming great deserts. This project is inserted into this context and aims to develop a robot automaton able to get around in the pasture, monitor the cattle and collect data on the forage grass, considering that the current process is rustic, inaccurate and affect the vegetation. To enable it to shift the prototype and data collection, several prototypes have been studied since the pastures have irregularities that provide many obstacles to electromechanical equipment. After completion of the prototype sensors and software have been developed making it possible to capture data and send them to the central computer, documents were sent back for a study in near real time. The results show that the deployment of robots for monitoring the cattle and analysis of the pasture may provide the producer with a specific control on the grass sward, and assist in monitoring the cattle, including the theft deterrent.

**Key-words:** neural networks, electro mechanic, visualization environment;  
Wireless;

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Diagrama microcontrolador PIC 16F8X.....	19
Figura 2 - Diagrama da pinagem do microcontrolador PIC16F874A.....	20
Figura 3 - Diagrama de blocos da arquitetura interna do PIC16F87XA. ....	21
Figura 4 - Partes de um componente de um sensor ultra-sônico.....	24
Figura 5 - Diagrama de blocos de um sistema de controle.. ....	25
Figura 6 - Exemplo de uma Rede Neural Artificial de 2 camadas com 4 entradas e 2 saídas.....	26
Figura 7 – Diagrama de bloco, controlador Proporcional (P).....	27
Figura 8 – Diagrama de bloco, controlador proporcional baseado em redes neurais. ....	28
Figura 9 – modelos de rede sem fio, (a) Rede sem fio com uma estação rádio-base e (b) Rede sem fio ad-hoc.....	31
Figura 10 – Representação dos módulos do projeto, (a) computador central e (b) robô autômato. A interconexão das partes é feita através de uma rede de dados sem fio. ....	33
Figura 11 – Diagrama do funcionamento de uma rede ad-hoc wireless .....	35
Figura 12 - Representação da rede wireless utilizada no projeto.....	35
Figura 13 – Diagrama da estrutura de rede utilizando internet de banda larga.....	36
Figura 14 – Disposição dos componentes na plataforma do primeiro protótipo, onde (M) motores, (R) rodas com suspensão de molas.....	38
Figura 15 – Bateria selada de 12Volts e 7ampers, geralmente utilizada em no-breaks. ....	40
Figura 16 – Forma do pneu utilizado no segundo protótipo. ....	41
Figura 17 – Disposição dos componentes na plataforma do segundo protótipo, onde (M) são os motores. ....	42
Figura 18 – Associação de baterias para a alimentação do segundo protótipo. ....	43
Figura 19 – Diagrama da pinagem da porta paralela de um microcomputador ou notebook.....	44

Figura 20 – Esquema elétrico do circuito de acionamento dos motores .....	45
Figura 21 – Placa de acionamento dos motores desenvolvida no simulador PCB....	46
Figura 22 – Foto do segundo protótipo, roteador “wireless” utilizado para a conexão do robô e computador central.....	47
Figura 23 – Webcam motorizada utilizada no sistema de captura de imagem. ....	48
Figura 24 – Estrutura da base do terceiro protótipo. ....	50
Figura 25 – Roda e pneu utilizada no terceiro protótipo.....	51
Figura 26 – Motor de corrente contínua, 24 Volts 100Watts, utilizado no terceiro protótipo. ....	53
Figura 27 – Desenho do eixo utilizado no terceiro protótipo .....	54
Figura 28 – Foto do cilindro base do eixo usinado em aço 1020. ....	55
Figura 29 – Foto do eixo acoplado no centro dos rolamentos.....	55
Figura 30 – Foto da polia que foi acoplada ao eixo.....	56
Figura 31 – Desenho da parte mecânica do terceiro protótipo.....	57
Figura 32 – Distância entre as rodas e disposição do motor, polia e eixo.....	58
Figura 33 – Distância entre as rodas e disposição do motor, polia e eixo, vista frontal. ....	59
Figura 34 – Bateria utilizada para alimentação do terceiro protótipo. 12Volts 40 Ampers.....	60
Figura 35 – Diagrama do módulo PWM para controle de velocidade dos motores, utilizando como base transistores mosfet. ....	61
Figura 36 – “screeshot” do programa falador, usado para pronunciar comandos enviados pelo usuário do computador central.....	63
Figura 37 – Especificações técnicas do sonar utilizado. ....	64
Figura 38 – Diagrama do circuito da placa sonar.....	64
Figura 39 – Diagrama da placa de controle de três variáveis: Motor de passo, PWM e Sensor.....	65
Figura 40 – Diagrama e circuito elétrico da placa de controle de três variáveis: Motor de passo, PWM e Sensor, montada em simulado – PCB. ....	66
Figura 41 – Diagrama da rede neural desenvolvida para controle do robô.....	69
Figura 42 – Ilustração das três trajetórias treinadas.....	70
Figura 43 – Demonstração de trajetórias calculadas pela rede neural artificial .....	71
Figura 44 – Trajetórias calculadas entre A e B, com obstáculo.....	71
Figura 45 - Figura do controle da câmera web.....	74

Figura 46 – Sistema de captura de imagem do segundo protótipo. ....	75
Figura 47 – Acoplagem do eixo da caixa de redução a roda do segundo protótipo ..	76
Figura 48 - placa de acionamento dos motores instalada no protótipo .....	77
Figura 49 – Fotos do teste do segundo protótipo se locomovendo no pasto. ....	78
Figura 50 – Estrutura da base do terceiro protótipo. ....	79
Figura 51 – eixo e motor criado para o terceiro protótipo. ....	80
Figura 52 - Peças do eixo do terceiro protótipo.....	81
Figura 53 – Fotos do eixo montado. ....	82
Figura 54 – Foto da base e disposição das baterias utilizadas para alimentação do robô autômato. ....	83
Figura 55 – Foto da placa controladora de PWM, Motor de Passo e Sensor de Forragem.....	84
Figura 56 – Sensor construído para medição da altura da forragem .....	85
Figura 57 – Placa de acionamento dos motores, instalada na base do terceiro protótipo. ....	86
Figura 58 – Câmera motorizada e GPS instalados no terceiro protótipo. ....	87
Figura 59 – Base giratória para acomodação do notebook e sonar. ....	88
Figura 60 – Disposição dos equipamentos elétricos e eletrônicos no terceiro protótipo, vista de frente. ....	89
Figura 61 – Disposição dos equipamentos elétricos e eletrônicos no terceiro protótipo, vista traseira. ....	90
Figura 62 – Foto das rodas, eixo e motores. ....	91
Figura 63 – Fotos do protótipo final.....	92
Figura 64 – Tela do software desenvolvido para controle do robô autômato. ....	93

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Esquema de acionamento dos motores e resposta obtida.....	39
Tabela 2 – Códigos para movimentação do robô (combinação e resultado) .....	94
Tabela 3 – Coordenadas de GPS testadas na rede neural artificial.....	95
Tabela 4 – Resposta da saída da rede neural artificial. ....	95

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

PIC = (Peripheral Interface Controller), periférico controlador de interface

PID = (proportional, integral e derivates), proporcional integral e derivada.

VGA = Video Graphics Array.

LAN = Local Area Network, ou, Rede de Área Local

WAN = Wide Area Nertwork, ou, Rede de longa distância.

GPS = Global Positioning System, ou, Sistema de posicionamento global

A/D = Conversor analógico digital

PWM = (Pulse-Width Modulation), Modulação por largura de pulso

## LISTA DE SÍMBOLOS

**n =  $\times 10^{-9}$ , “nano”**

**s = segundos**

**Hz = Hertz.**

**M =  $\times 10^6$ , “mega”**

**V = Volts.**

**$\mu$  =  $\times 10^{-6}$ , “micro”**

**A = Ampere**

**RPM = Rotações por minuto**

**Mb = Mega bytes**

# SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLASXI

LISTA DE SÍMBOLOS

SUMÁRIO

1	Introdução .....	16
1.1	Zootecnia de precisão .....	17
1.2	Microcontroladores PIC .....	17
1.2.1	Microcontroladores PIC16F84 e PIC16F629 .....	18
1.2.1.1	PIC 16F84A .....	18
1.2.1.2	PIC16F877A .....	20
1.3	Sensores.....	22
1.3.1	Tipos de sensores usados em sistemas de automação: .....	23
1.3.2	Sistemas de controle e conversores analógico/digital. ....	25
1.4	Redes Neurais Artificiais.....	26
1.5	Controlador baseado em redes neurais.....	27
1.6	Definições sobre automação e robôs .....	28
1.6.1	Mecanismo .....	28
1.6.2	Máquina .....	29
1.6.3	Robô .....	29
1.7	Redes sem fio.....	29
1.7.1	Interconexão de Sistemas .....	30
1.7.2	LANs sem fio .....	30
1.7.3	WANs sem fio .....	31
2	Objetivo .....	32
3	Materiais e métodos .....	33
3.1	Partes do projeto .....	33
3.1.1	Computador Central.....	33
3.2	Rede “Wireless” .....	34

3.3 Desenvolvimento do robô autômato .....	37
3.3.1 Partes do robô autômato .....	37
3.3.1 Desenvolvimento do primeiro protótipo.....	37
3.3.1.1 Desenvolvimento mecânico do primeiro protótipo .....	38
3.3.1.2 Motores e alimentação.....	39
3.3.2 Desenvolvimento do segundo protótipo.....	40
3.3.2.1 Desenvolvimento mecânico do segundo protótipo.....	40
3.3.2.2 Alimentação e motores .....	42
3.3.2.3 Desenvolvimento do sistema de acionamento dos motores.....	43
3.3.2.4 Sistema escolhido para transmissão de dados.....	46
3.3.2.5 Sistema de captura de imagem .....	47
3.4 Desenvolvimento do terceiro protótipo.....	48
3.4.1 Desenvolvimento mecânico do terceiro protótipo .....	49
3.4.2 Rodas utilizadas .....	51
3.4.3 Motores e redução .....	52
3.4.4 Eixo.....	54
3.4.5 Montagem da estrutura base do terceiro protótipo. ....	56
3.4.6 Alimentação .....	59
3.4.7 Sistema de acionamento dos motores - PWM.....	60
3.4.8 Transmissão de dados.....	62
3.4.9 Sistema de captura de imagem. ....	62
3.4.10 Módulo de fala. ....	62
3.4.11 Módulo Sonar. ....	63
3.4.12 Placa de circuito para controle de três variáveis.....	65
3.4.13 Módulo GPS .....	67
3.5 Sistemas de controle do robô autômato .....	67
3.5.1– Sistema de controle remoto via operador .....	67
3.5.2 – Sistema de controle autômato usando redes neurais artificiais .....	69
4 Resultados e discussão.....	72
4.1 Rede Wireless .....	72
4.2 Resultados obtidos no primeiro protótipo.....	72
4.2 Resultados obtidos no segundo protótipo.....	73
4.2.1 Movimentos .....	73
4.2.2 Transmissão de dados.....	73

4.2.3 Sistema de captura de imagem .....	74
4.2.4 Módulo Sonar .....	75
4.2.5 Partes mecânicas .....	76
4.2.6 Placa de acionamento dos motores.....	76
4.2.7 Visualização do protótipo em teste de campo .....	77
4.3 Resultados obtidos no terceiro protótipo.....	79
4.3.1 Base mecânica .....	79
4.3.2 Primeiro eixo montado no terceiro protótipo .....	80
4.3.3 Estrutura do eixo utilizado no terceiro protótipo.....	80
4.3.4 Baterias para alimentação do protótipo .....	82
4.3.5 Placa de controle de três variáveis: PWM, motor de passo e Sensor de medição de forragem.....	84
4.3.6 Placa de acionamento dos motores.....	86
4.3.7 Sistema de captura de imagem e Módulo GPS .....	87
4.3.8 Módulo Sonar e base giratória .....	87
4.4 Protótipo final.....	89
4.5 Controle remoto do robô .....	93
4.6 Controle automático do robô. ....	94
5 Conclusão .....	96
5.1 Sugestões para trabalhos futuros .....	97
Referência.....	98

## 1 Introdução

De acordo com o Instituto de Política EPI-Earth da Universidade Livre da Mata Atlântica, o rebanho mundial está acompanhando o crescimento da população mundial, que aumentou de 2,5 bilhões em 1950 para 6,1 bilhões em 2001, por sua vez, a população de bovinos aumentou de 720 milhões para 1,53 bilhões e a população dos ovinos e caprinos expandiu de 1,04 bilhões para 1,75 bilhões. Este crescimento desenfreado tem colocado os pastos sobre forte pressão e estes estão se deteriorando em grande parte da África, Oriente Médio, Ásia Central, norte do subcontinente indiano, Mongólia e grande parte do norte da China (BROWN, 2002).

Ainda segundo o autor, uma pastagem sobrecarregada, inicialmente, reduz a produtividade dos pastos que sem os devidos cuidados acabam transformando-se em grandes áreas desérticas. Conforme o levantamento do Instituto citado, já existem cerca de 680 milhões de hectares degradados em todo mundo, o que representa cinco vezes a área cultivada dos Estados Unidos. Aproximadamente 52 milhões de toneladas, que correspondem a 4/5 da produção mundial de carne bovina e caprina são provenientes de animais que se alimentam em pastos. Na África, existe uma escassez de grãos, assim 230 milhões de bovinos, 246 milhões de ovinos e 175 milhões de caprinos retiram seu alimento quase que exclusivamente dos pastos. Um estudo mapeou as pressões crescentes sobre os pastos em nove países do sul da África e constatou que, a capacidade da terra de sustentar os rebanhos está diminuindo consideravelmente.

A utilização de técnicas de manejo podem trazer melhorias ao pasto e até recuperar pastagens em processo de deterioração, um pasto de boa qualidade diminui o tempo de engorda do gado e aumenta a produção de leite. O tempo de engorda de um animal se alimentando de pastos degradados é de 43 meses, já em pastos em condições normais este tempo cai para 23 meses e em pastos com os devidos cuidados este tempo é reduzido para 15 meses (AGUIAR, 2009).

Além do problema da sobrecarga dos pastos mundiais, existe outro aspecto importante que esse trabalho visa proporcionar: soluções, que são os vários problemas da cadeia da carne bovina do Brasil em que se destacam a necessidade de modernização tecnológica e a falta de informações sobre o rastreamento dos

produtos. Por estas razões a criação de novos métodos de coleta de dados e o monitoramento se fazem de extrema importância. (PASCOA, 2007).

Um monitoramento contínuo do rebanho e do pasto faz com que o produtor evite perdas e tenha um maior controle sobre os pastos, fazendo com que estes sejam sempre renovados em tempo hábil.

Vaughan et al. (2000) mostraram um robô capaz de monitorar continuamente um rebanho. Este tipo de acompanhamento pode ser de grande utilidade, tanto para a rastreabilidade, quanto para um monitoramento que vise à minimização de perdas ou simplesmente a coleta de informações que permitam uma tomada de decisão segura por parte do produtor.

Neste contexto, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um robô autômato com condições para monitorar continuamente o rebanho, abrindo caminho para trabalhos futuros de monitoração e identificação destes, coleta de dados zootécnicos de interesse e também de variáveis ambientais.

## **1.1 Zootecnia de precisão**

Zootecnia de precisão é o processo de produção animal sobre um conjunto de processos complexos e interligados, baseados no monitoramento contínuo e automático dos animais e dos processos físicos que estão ligados a estes animais. A zootecnia de precisão é aplicada a processos como, identificação de animais, produção de carne e leite, ambiente físicos das instalações e outros (AJAP,2009).

## **1.2 Microcontroladores PIC**

O PIC (Peripheral Interface Controller) periférico controlador de interface é um microcontrolador que integra em sua arquitetura uma unidade lógica e aritmética, bancos de memórias e portas de entrada e saída, é como “um pequeno computador”. O PIC é fabricado pela empresa Microchip, e que pode ser

programado para executar diversas aplicações em diversas áreas, este foi criado para utilizações que não necessitam de processamentos de alta velocidade, enquanto os microprocessadores possuem uma grande capacidade de processamento, porém, necessitam de vários outros dispositivos para seu funcionamento. Por consequência, o processamento do microcontrolador é baixo, se comparado aos microprocessadores, mas para as aplicações que não necessitam de um processamento grandioso o microcontrolador é o equipamento eletrônico mais indicado, por ser compacto e incorporar praticamente todos os dispositivos necessários em sua arquitetura interna.

Os microcontroladores PIC possuem uma arquitetura interna Harvard além de utilizar tecnologia RISC (Reduced Instruction Set Computer ou computador de “set” de instruções reduzidas), possuem cerca de 35 instruções, variando de acordo com cada modelo, esse número reduzido de instruções inicialmente dificulta um pouco a programação, porém faz com que seu processamento seja mais rápido e dinâmico. Além das qualidades já citadas o microcontrolador PIC foi escolhido para uso neste projeto por ser um microcontrolador de baixo custo e não apresenta interferências causadas por ruídos ou ondas magnéticas (ORDONEZ, 2005).

### **1.2.1 Microcontroladores PIC16F84 e PIC16F629**

Na construção desse projeto utilizaram-se microcontroladores PIC16F84 (PIC16F8X...,2002) e PIC16F877A (PIC16F877XA...), por se tratarem de modelos compactos e que disponibilizam uma extensa gama de recursos que serão descritos abaixo.

#### **1.2.1.1 PIC 16F84A**

O microcontrolador PIC 16F84A conta com os recursos relacionados a seguir (PIC16F8X...,2002) e o diagrama da sua pinagem é apresentado na figura 1.

- Tecnologia RISC.
- Apenas 35 instruções de comando.
- Velocidade de operação: DC – 10Mhz de clock e DC – 400 ns ciclo de instrução.
- Barramento de programação de 14 bits.
- Barramento de comunicação de entrada e saída de dados de 8 bits.
- Modo direto e indireto de endereçamento.
- 15 Registradores Especiais.
- 4 Interrupções:
  - RB0/INT – quando ocorre uma mudança de sinal no pino 6, esta interrupção é gerada.
  - TMR0 – é um contador interno e, quando chega a sua contagem máxima, a interrupção é gerada.
  - Interrupt on change – Interrupção por mudança de estado, caso exista uma mudança no sinal nos pinos 10,11,12,13, esta interrupção é gerada.
  - Data EEPROM write Complete – Quando um dado é enviado para gravação na EEPROM e esta chega ao final, a interrupção é gerada.
- 1000 ciclos de escrita e leitura da memória flash de programa.
- 10.000.000 Ciclos de leitura e escrita da memória EEPROM.
- Retenção de dados da EEPROM maior que 40 anos.

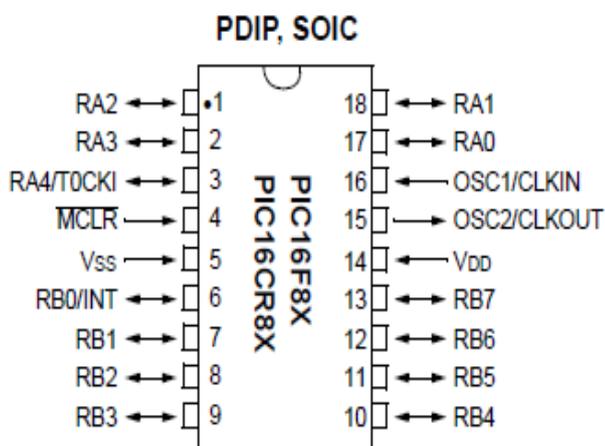


Figura 1 – Diagrama microcontrolador PIC 16F8X

### 1.2.1.2 PIC16F877A

O microcontrolador PIC 16F877A foi escolhido por possuir os recursos relacionados abaixo: (PIC16F87XA..., 2003).

- Tecnologia RISC
- 35 instruções de comando.
- Velocidade de operação: DC – 20Mhz de clock e DC – 200 ns ciclo de instrução.
- Funções analógicas de 10bits
- 2 Módulos comparadores Analógico.

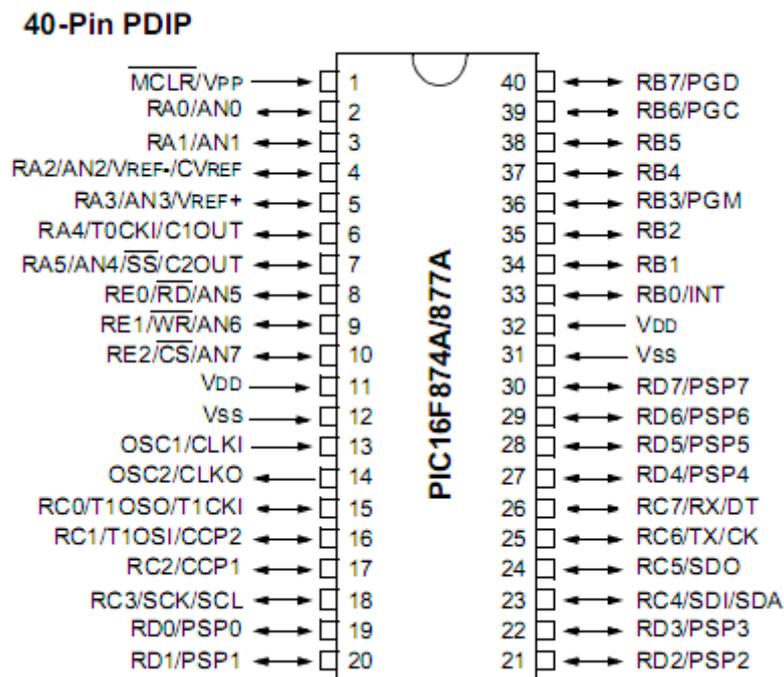


Figura 2 - Diagrama da pinagem do microcontrolador PIC16F874A

A figura 2 apresenta a pinagem e a figura 3 apresenta a arquitetura interna em forma de diagrama de blocos da família do PIC PIC16F87XA, o registrador FSR (File Select Register) é responsável pelo endereçamento da memória de programa, memória esta que executa as instruções impostas pelo programador em ordem,

caso esse microcontrolador venha a ser reiniciado o PC (Program Counter) que se encontra no topo da figura irá apontar ao primeiro endereço da memória de programa, assim seu funcionamento é reiniciado, o registrador STATUS localizado abaixo do registrador FSR é responsável por armazenar o estado aritmético da ULA (Unidade lógica e aritmética). A memória Flash localizada no topo esquerdo da figura 3 é responsável por armazenar o programa que será executado e a memória EEPROM é uma memória que grava dados e variáveis importantes ao sistema, caso haja uma queda de energia, os dados gravados nesta memória não serão perdidos. No final da figura se encontra o diferencial deste microcontrolador que é o conversor analógico digital (A/D), que foi de extrema importância para a decodificação do sinal elétrico enviado pelo sensor de medição da forragem do pasto, os outros componentes não citados são encontrados na maioria dos microcontroladores (ORDONEZ, 2005).

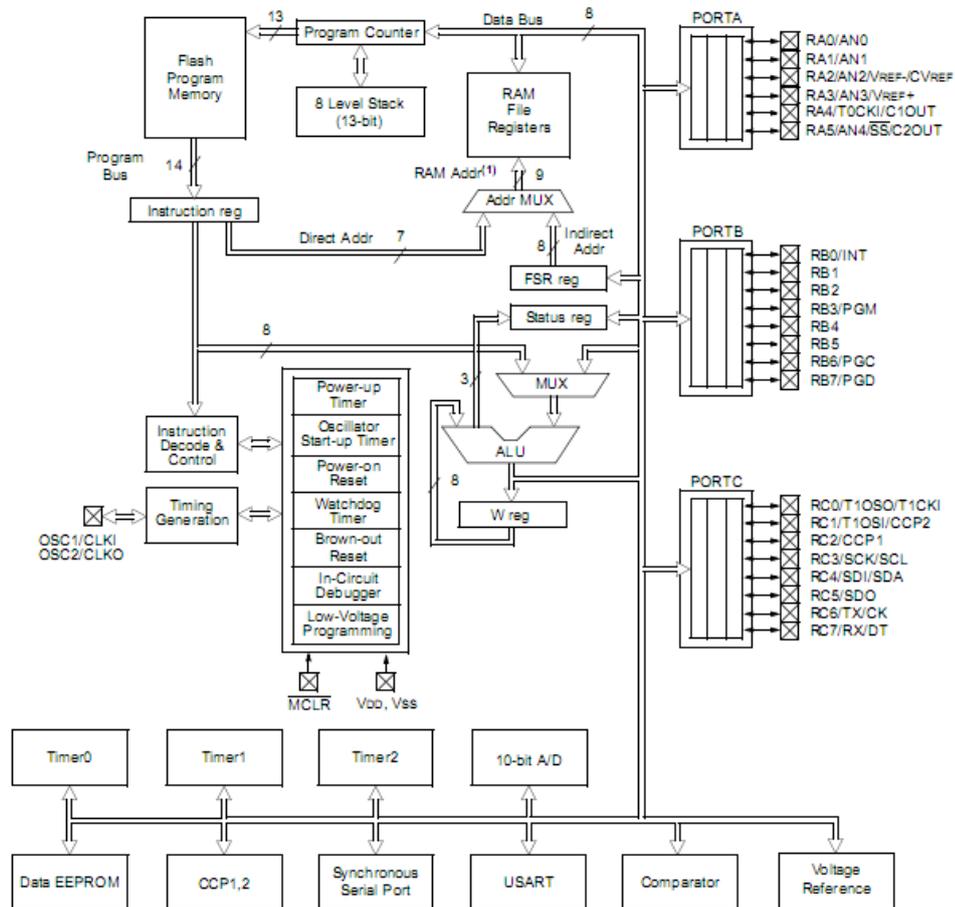


Figura 3 - Diagrama de blocos da arquitetura interna do PIC16F87XA.

## 1.3 Sensores

A teoria básica de um sensor diz que este é um dispositivo que altera seu estado em função de uma entrada ou excitação externa. As especificações mais importantes destes dispositivos são (ORDONEZ, 2005):

- **Repetibilidade:**

Detecção de valores próximos nos resultados obtidos com a utilização do mesmo método com as mesmas condições em medições realizadas em um curto espaço de tempo.

- **Resolução:**

Varição mínima na entrada que gera uma variação que pode ser lida na saída.

- **Sensibilidade:**

Resultado da variação de tensão dividida pela variação da grandeza.

- **Histerese:**

Diferença entre dois valores de saída para um mesmo valor de entrada.

- **Precisão:**

Capacidade do sensor em apresentar a mesma leitura para várias medidas feita em mesmas condições e mesmos valores.

- **Resposta impulsiva:**

A forma segundo a qual o sensor responde ao degrau unitário. Na prática é o tempo que o sensor leva para mostrar uma leitura estável.

### **1.3.1 Tipos de sensores usados em sistemas de automação:**

- **Sensores Fins de Curso:**

Dispositivos acionados ou que fecham um determinado circuito quando alguma força lhes é oferecida.

- **Sensores Indutivos:**

São sensores com finalidade de detectar objetos metálicos ferrosos e não-ferrosos.

- **Sensores Capacitivos:**

Projetados para a detecção de objetos metálicos e não metálicos, sólidos ou líquidos, porém são mais indicados para objetos não metálicos.

- **Sensores Fotoelétricos:**

Sensores projetados a base de feixe de luz que detectam a presença de um objeto a uma determinada distância pré-estabelecida.

- **Sensores Ultra-sônicos:**

Emitem uma onda sonora que ao encontrar um objeto é ecoada de volta ao sensor que por sua vez capta a velocidade com que este eco retornou, podendo então fazer a medida da distância em que o objeto se encontra.

No presente trabalho foi utilizado um sensor ultra-sônico, por isso, seu funcionamento será melhor detalhado. A essência do funcionamento tem como base o fato do som viajar em velocidade constante, assim, a conversão do tempo em que esta onda leva para atingir o objeto e ecoar de volta ao sensor pode gerar a distância do objeto. Torna-se de extrema relevância destacar também que uma das maiores vantagens desse sensor é que, diferente dos outros sensores citados anteriormente, este detecta objetos de diversos tipos de material, apenas não sendo indicado para a medição de materiais que podem absorver esta onda sonora. A figura 4 ilustra os componentes de um sensor ultra-sônico.

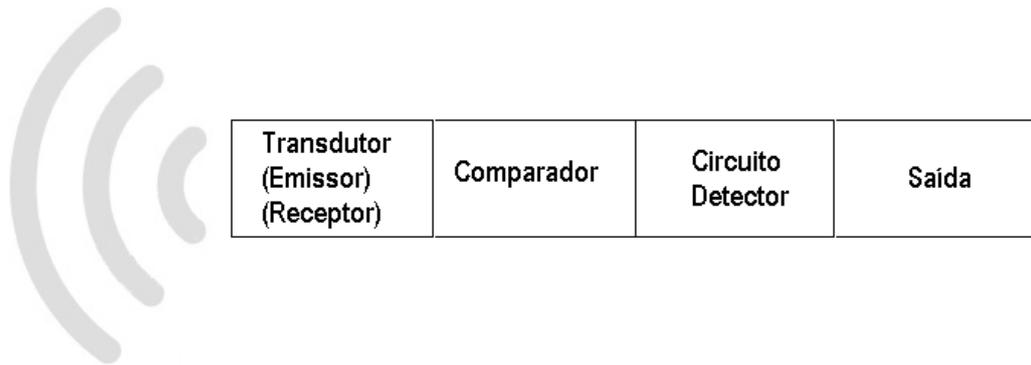


Figura 4 - Partes de um componente de um sensor ultra-sônico

- **Transdutor (emissor / receptor):**

Este módulo é responsável por enviar um pulso ultra-sônico na saída do sensor e receber o pulso de eco das ondas que foram refletidas.

- **Circuito detector e comparador:**

O comparador calcula a distância do objeto a partir do tempo de envio e recepção do pulso realizado pelo transdutor.

- **Saída eletrônica:**

A saída eletrônica recebe a informação do circuito comparador e transforma este em um sinal que poderá ser entendido pelos sistemas de controle ou outros tipos de equipamento, este sinal é geralmente analógico ou digital.

Normalmente os sensores ultra-sônicos utilizados em indústrias trabalham em freqüências entre 25 e 500KHZ, os sensores hospitalares utilizam uma freqüência igual ou superior a 5MHZ, quanto menor a freqüência, maior será o alcance deste sensor. No caso deste projeto o sensor escolhido trabalha em 42KHZ, assim consegue medir objetos até 6,45 metros de distância.

### 1.3.2 Sistemas de controle e conversores analógico/digital.

Os sistemas de controle de forma geral necessitam medir grandezas físicas e transformá-las em sinais que o sistema possa “entender”, normalmente esses sensores transformam a medida da grandeza física em um sinal analógico, normalmente a grandeza física é transformada em uma tensão elétrica analógica compatível com os sistemas de controle, ou seja, a variação da forma física reflete proporcionalmente no sinal elétrico que atua no sistema. Esse sinal analógico geralmente é convertido em um sinal digital para facilitar o processamento desses dados porque a grande maioria dos sistemas de controle processa sinais digitais e estes geralmente possuem um menor custo.

Dessa forma, para que esse sinal analógico possa ser convertido em um sinal digital é necessária a utilização dos conversores A/D (Conversores analógicos digitais), em alguns microcontroladores esses conversores já são encontrados no próprio chip como o que foi utilizado neste projeto.

Os sistemas de controle possuem um sistema de medidas e um sistema de atuação (ou atuadores), estes sistemas de medidas podem ser projetados usando-se microcontroladores, que necessitam de um software controle e de um sistema de condicionamento de sinal, que permita integrar o sensor ao microcontrolador. Desta forma, são necessários alguns passos como escolher o sensor adequado, projetar um circuito que condicione o sinal recebido desse sensor e em seguida transforme este em um sinal digital para que o mesmo seja interpretado pelo software de controle e assim possa enviar a interface de saída um sinal que acionará o atuador da forma desejada (ORDONEZ, 2005). A figura 5 apresenta em forma de diagrama de blocos, um sistema de controle de temperatura microcontrolado.



Figura 5 - Diagrama de blocos de um sistema de controle.

## 1.4 Redes Neurais Artificiais

Sabendo que os computadores processam as informações de forma diferente das do cérebro humano e que este é muito mais rápido e poderoso que qualquer computador digital conhecido, os cientistas tentam criar formas matemáticas que processe informações de forma semelhante ao do cérebro humano. Assim uma rede neural artificial (figura 6) é um algoritmo que funciona inspirado no funcionamento dos neurônios do cérebro humano e pode ser definida da seguinte forma.

“Uma rede neural é um processador maciçamente e paralelamente distribuído constituído de unidades de processamento simples, que têm a propensão natural para armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para o uso. Ela se assemelha ao cérebro em dois aspectos:

1. O conhecimento é adquirido pela rede a partir de seu ambiente através de um processo de aprendizagem.
2. Forças de conexão entre neurônios, conhecidas como pesos sinápticos, são utilizados para armazenar o conhecimento adquirido” (SIMON, 1999).

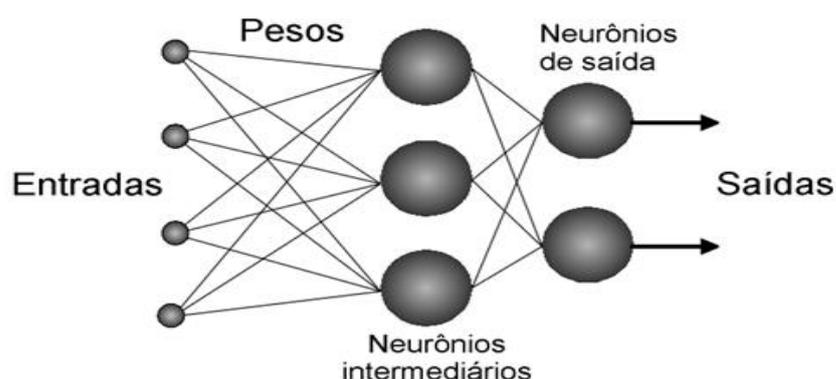


Figura 6 - Exemplo de uma Rede Neural Artificial de 2 camadas com 4 entradas e 2 saídas

## 1.5 Controlador baseado em redes neurais

O sucesso do funcionamento dos sistemas eletrônicos implica na obtenção de resultados mais precisos. Para conseguir tais resultados uma das formas mais eficazes é a da utilização do sistema de malha fechada, processo esse que analisa o sinal de erro que é a diferença entre o valor desejado e o valor de saída obtido, e assim, com o cálculo desse valor o sistema corrige a atuação com a proporção do valor obtido (Prado, 2009).

Assim é relevante destacar que o algoritmo do controlador proporcional é um dos sistemas de controle de respostas mais utilizados nos sistemas de controles industriais, é um sistema robusto, eficiente e de simples aprendizado, quando se adiciona os controles integrais e derivadores este se torna o controlador PID (proporcional, integral e derivates ou proporcional, integral e derivada) é composto por três variáveis distintas que são: cálculo proporcional, cálculo integral e cálculo de derivada, com essa adição este controle consegue gerar um erro muito menor e transformando esse em um sistema muito eficiente, é importante salientar que este sistema pode ser configurado para trabalhar com as variáveis independentes, porém na maioria dos casos são configurados para trabalhar em conjunto (WILLIES, 1998).

A figura 7 ilustra o funcionamento de um controlador proporcional de malha fechada, onde R é o valor desejado e a correção do sistema é realizada a partir da proporção entre o valor de saída e o valor desejado.

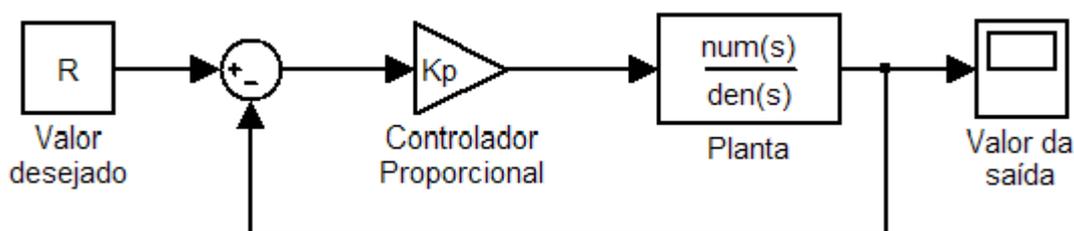


Figura 7 – Diagrama de bloco, controlador Proporcional (P).

No entanto para um sistema robótico autômato que está sujeito às variações do meio ambiente que são de natureza complexa, identificar a função de transferência que descreva corretamente a planta é praticamente impossível. No entanto, com a evolução do sistema baseados em aprendizagem de máquina, como é o caso das redes neurais artificiais, é possível desenvolver um sistema de controle tipo caixa preta, no qual a planta é substituída por uma rede neural que pode ser continuamente treinada. O uso de rede neural artificial em robôs autômatos tem sido extensamente estudada na última década (PARHIN, 2009). A figura 8 ilustra o funcionamento da etapa de treinamento de um controlador proporcional baseado em rede neural.

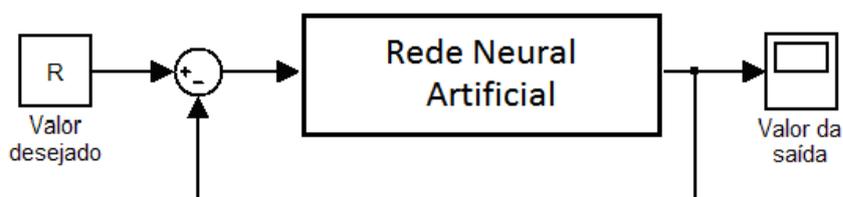


Figura 8 – Diagrama de bloco, controlador proporcional baseado em redes neurais.

## **1.6 Definições sobre automação e robôs**

### **1.6.1 Mecanismo**

Um mecanismo nada mais é do que um conjunto de elementos mecânicos dispostos em uma determinada configuração que possa transmitir movimentos de forma esperada. Esses elementos geralmente transformam diversos tipos de energia em movimentos mecânicos, um exemplo típico são as motos e os carros (XIE, 2003).

### **1.6.2 Máquina**

Uma máquina é um conjunto de mecanismos dispostos e alimentados por uma fonte de energia com a finalidade de gerar movimentos, movimento é descrita pela matemática pelos parâmetros: posição( $p$ ), velocidade( $v$ ) e aceleração ( $a$ ) (XIE, 2003).

### **1.6.3 Robô**

A palavra robô é derivada da palavra Tcheca “robota”, que significa trabalho forçado. Um robô é um mecanismo, ou grupo de mecanismos eletromecânicos ou biomecânicos capaz de realizar trabalhos de maneira autônoma, pré-programada, ou através de controle humano, podem ter forma humana ou não, sendo que aqueles que possuem formas humanas ou possuem habilidades que se parecem com as humanas, são chamados de robôs humanóides (XIE, 2003).

## **1.7 Redes sem fio**

A idéia básica das redes sem fio é conhecida desde a época dos telégrafos, porém, a quantidade de informação transmitida e sua grande funcionalidade estão fazendo com que as redes sem fio se tornem uma tecnologia popular e já são encontradas em prédios, escritórios, aeroportos e vários outros lugares públicos, como forma de conectar-se com mais comodidade (TANENBAUM, 2003).

Estas redes podem ser divididas em três categorias principais:

- **Interconexão de sistemas**

- LANs sem fio
- WANs sem fio

### **1.7.1 Interconexão de Sistemas**

Em se tratando das partes de um computador, com exceção dos notebooks, suas partes são interligadas por cabos de dados, que transmitem as informações às outras partes do sistema, por exemplo, a CPU é ligada ao monitor através de um cabo de comunicação de dados chamado cabo VGA, para que os dispositivos de um computador ou periféricos possam ser instalados sem a necessidade de cabos de dados nasceu à interconexão de sistemas, que é a interligação dos componentes de um computador ou periférico através de uma rede de dados sem fio dispensando assim a utilização dos antigos cabos de dados.

### **1.7.2 LANs sem fio**

São sistemas nos quais todos os computadores possuem um modem ligado a uma antena de rádio e através desses equipamentos faz a comunicação com outro sistema. Essas redes estão sendo utilizadas cada vez com mais frequência, pois dispensam o uso de cabos para a transmissão do sinal, atualmente o modem está sendo substituído por equipamentos chamados “acesspoint”, que são equipamentos que fazem a interligação de placas de rede “wireless” de uma rede, funcionando como um “hub” sem fio, nesta configuração existe dois tipos de interligação de redes sem fio:

- Com uma estação-base (a)
- Sem estação-base (b)

A Figura 9 ilustra as duas formas de comunicação de redes sem fio, (a) com uma estação-base e (b) sem uma estação base.

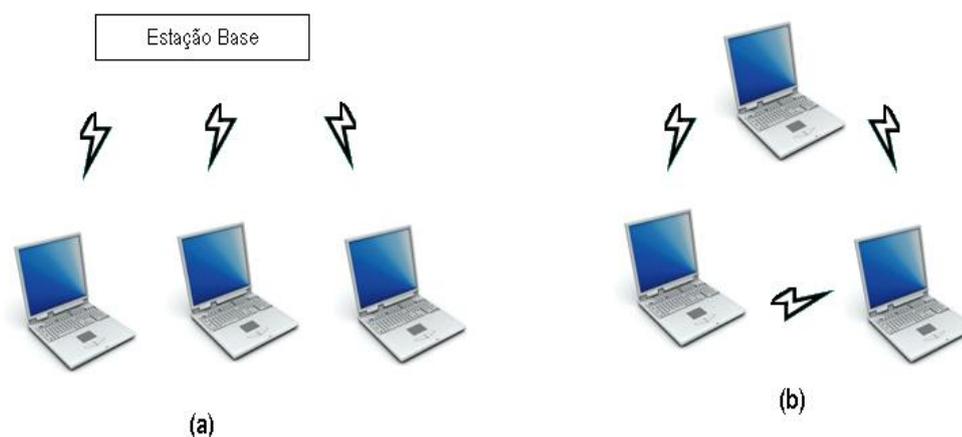


Figura 9 – modelos de rede sem fio, (a) Rede sem fio com uma estação rádio-base e (b) Rede sem fio ad-hoc.

### 1.7.3 WANs sem fio

Um exemplo desse sistema é o da telefonia celular que passou por várias modificações, na primeira geração da telefonia celular, o sinal enviado era analógico e apenas transmitia canais de voz, enquanto na segunda geração desta, a transmissão via ondas de rádio já incorporava a transmissão digital, que proporcionou uma expansão no sistema de telefonia, porém ainda só transmitia canais de voz, quanto a terceira e atual geração de celulares o sistema de transmissão utilizado é o digital, porém agora as redes suportam a transmissão de voz e dados proporcionando aos usuários conexão de internet de banda larga, vídeo conferências e outros (DUPRAD, 2009). Esse tipo de rede é semelhante às redes sem fio LANs, entretanto estas por sua vez têm uma taxa de transmissão de dados inferior às redes LANs, mas enviam a grandes distâncias.

## 2 Objetivo

Este trabalho tem por objetivo primordial testar a seguinte hipótese:

*“Um robô autômato é capaz de movimentar-se no pasto, realizar medição da forragem e enviar imagens deste ambiente”*

Para testar esta hipótese os seguintes objetivos específicos são propostos: a eficácia de um robô autômato para o monitoramento do rebanho e análise da forragem do pasto. Para que esta hipótese pudesse ser testada, as seguintes tarefas foram realizadas.

- ***Desenvolvimento de um robô autômato capaz de se locomover no pasto com controle manual ou com controle automático baseado em redes neurais artificiais.***
- ***Montagem de uma rede “wireless” para comunicação entre o robô autômato e o computador central.***
- ***Desenvolvimento do software para controle das câmeras para o monitoramento do rebanho.***
- ***Desenvolvimento dos sensores de medição da forragem***
- ***Desenvolvimento de ferramentas para controle dos dados recebidos do robô autômato.***
- ***Testes de locomoção, coleta dos dados e transmissão.***

## 3 Materiais e métodos

### 3.1 Partes do projeto

O equipamento desenvolvido é composto de dois módulos principais, os módulos são ilustrados na figura 10:

**a) Computador central**

**b) Robô autômato.**

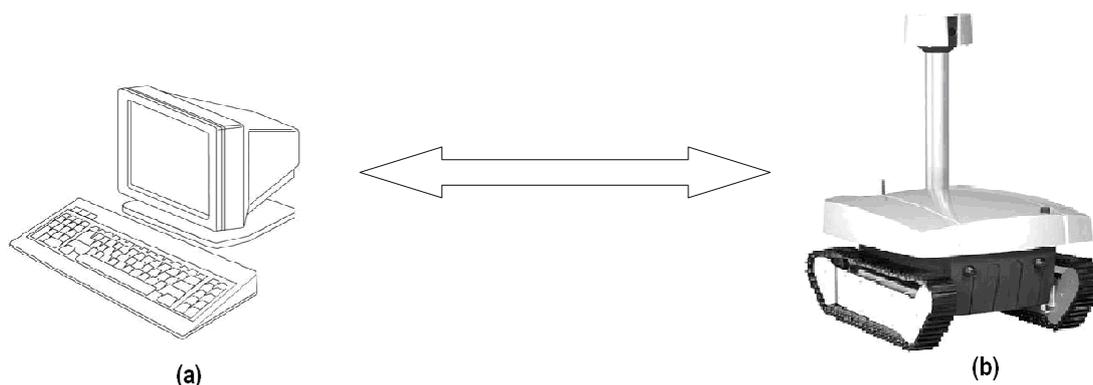


Figura 10 – Representação dos módulos do projeto, (a) computador central e (b) robô autômato. A interconexão das partes é feita através de uma rede de dados sem fio.

#### 3.1.1 Computador Central

O computador central é responsável por três tarefas fundamentais do projeto: a primeira é enviar comandos para o acionamento do robô, quando este for operado via comandos, a segunda é receber os dados enviados pelo protótipo, estes dados são: imagens em tempo real do pasto, medição da altura da forragem e posição GPS do robô, a terceira é guardar em um banco de dados os dados colhidos.

### **3.2 Rede “Wireless”**

O projeto apresentado necessitava para sua realização o uso de uma rede “wireless” para que fosse possível a comunicação entre computador central e robô autômato, esta por sua vez precisava atender a três parâmetros importantes: o primeiro é que essa comunicação deveria ser sem fios para que o deslocamento não fosse comprometido, pois fios de comunicação poderiam agarrar na forragem, galhos e até mesmo nos animais, o segundo parâmetro é que essa comunicação alcançasse vários quilômetros, pois distâncias curtas comprometeriam a viabilidade do protótipo não podendo ser empregado em áreas extensas e por último e não menos importante é que o protótipo pudesse se locomover em qualquer direção, independente da posição do computador central.

Essas três condições estipuladas no início do projeto fizeram com que as possibilidades de transmissão sem fio fossem reduzidas, assim estudos foram dirigidos a três tipos de redes que atenderiam os critérios selecionados:

- **Rede “wireless” ad-hoc.**
- **Rede “wireless” com uso de roteadores.**
- **Rede via internet de banda larga.**

A primeira forma testada de transmissão de dados foi com uma rede wireless ad-hoc na qual as placas de rede wireless instaladas no computador central e no robô autômato se interligavam diretamente com o paradigma mestre-escravo, esta forma é ilustrada na figura 11, apesar dos testes em laboratório mostrarem que esta funcionava e atendia aos requisitos, testes em campo provaram a ineficácia deste método, pois o alcance era pequeno e a conexão se perdia facilmente por interferências vindas de outros equipamentos eletrônicos.

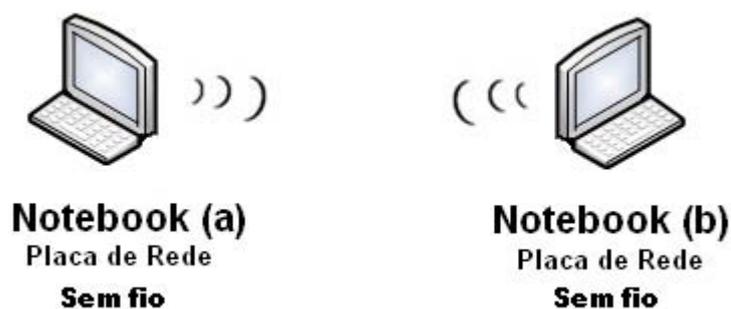


Figura 11 – Diagrama do funcionamento de uma rede ad-hoc wireless

O segundo método estudado foi com a utilização de uma rede wireless por meio de um roteador sem fio, a montagem desse sistema contou com uma placa de rede wireless instalada no computador central e um roteador instalado junto ao robô autômato, a alimentação deste roteador foi retirada da porta USB do notebook instalado ao projeto por esta fornecer 5 volts, tensão necessária para alimentação do equipamento, a interligação deste notebook com o roteador utilizou um cabo de rede RJ45 padrão categoria 5. A figura 12 ilustra o diagrama da rede escolhida e utilizada no desenvolvimento do segundo e terceiro protótipos.



Figura 12 - Representação da rede wireless utilizada no projeto

A terceira forma de rede wireless montada para transmissão dos dados, foi a conexão via internet de banda larga, para a montagem dessa rede o computador central recebeu sinal de internet fornecida pela rede interna da Universidade de São Paulo, esse compartilhamento foi feito através de roteadores em uma estrutura já disponibilizada pela universidade para fins de compartilhamento de internet aos alunos e professores, já para que o protótipo pudesse receber o sinal de internet de alta velocidade foi instalado a este um mini-modem USB de uma operadora de telefonia celular, assim o notebook instalado no protótipo recebeu internet de alta velocidade, para a interconexão dos softwares o IP do robô autômato precisou ser fixado e softwares foram instalados para manter a conexão dos equipamentos, a figura 13 ilustra o diagrama do funcionamento deste sistema de transmissão de dados.

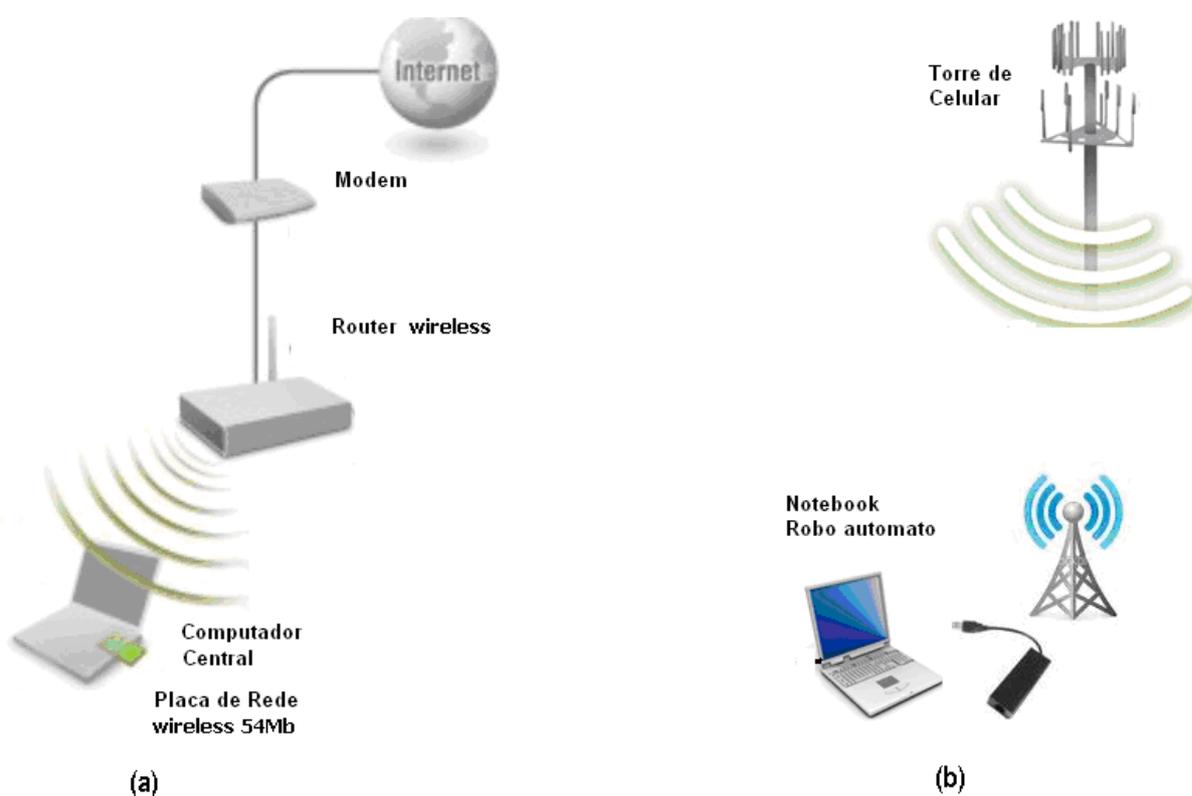


Figura 13 – Diagrama da estrutura de rede utilizando internet de banda larga.

### **3.3 Desenvolvimento do robô autômato**

O desenvolvimento de um robô autômato não se trata de nenhuma novidade, porém a maior barreira deste projeto foi desenvolver um robô autômato capaz de se locomover no pasto e vencer as barreiras que este impõe aos equipamentos eletrônicos. Para chegar-se ao protótipo capaz de se locomover no pasto três protótipos foram desenvolvidos, porém só o terceiro protótipo realmente atendeu as expectativas almejadas, estes protótipos serão descritos nos tópicos a seguir:

#### **3.3.1 Partes do robô autômato**

O projeto do robô autômato foi dividido em quatro partes.

- **Equipamento Mecânico**
- **Alimentação e motores**
- **Equipamentos de acionamento eletrônico.**
- **Sensores para coleta de dados.**

#### **3.3.1 Desenvolvimento do primeiro protótipo**

No primeiro protótipo apenas a estrutura da base, os motores, as rodas de apoio e a bateria foram montados e testados.

### 3.3.1.1 Desenvolvimento mecânico do primeiro protótipo

O primeiro protótipo foi construído utilizando-se como base uma plataforma de madeira em formato octagonal, esta forma foi escolhida por suposição de ser a melhor forma para que este pudesse desviar de obstáculos. A idéia principal era de se conseguir uma melhor adaptação ao solo do pasto, pois este possui formas totalmente irregulares e nenhum padrão, assim dois motores de corrente contínua com redução interna (motores retirados de limpadores de pára-brisa de carros) foram fixados na plataforma de madeira e ligados diretamente a duas rodas de borracha de 13 centímetros de diâmetro, que associadas aos motores proporcionaram a base de madeira uma distância de aproximadamente 22 centímetros em relação ao solo. Ainda para proporcionar ao protótipo uma melhor estabilidade duas rodas com rolamentos que se posicionam de acordo com a força aplicada, foram colocadas em duas suspensões criadas a partir de um conjunto de molas. A figura 14 ilustra o formato do primeiro protótipo.

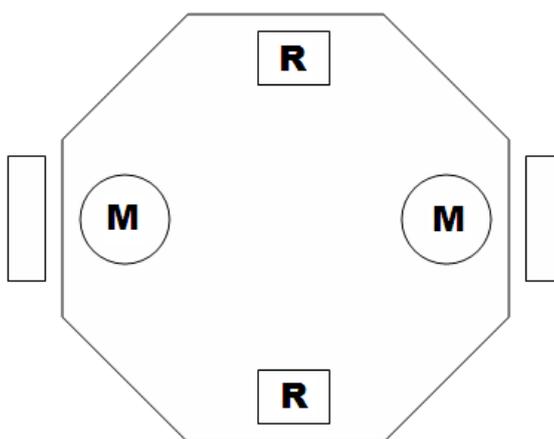


Figura 14 – Disposição dos componentes na plataforma do primeiro protótipo, onde (M) motores, (R) rodas com suspensão de molas.

Com a polarização dos motores de diferentes formas obteve-se o deslocamento do protótipo nos sentidos: frente, ré, direita e esquerda. Com um motor acionado no sentido horário e o outro no sentido anti-horário o protótipo se moveria para frente, com os dois motores sendo acionados inversamente o protótipo se moveria para trás, com os dois motores acionados no sentido horário o protótipo faria uma rotação para a direita e com a inversão dos dois sentidos o mesmo se desloca para a esquerda. Na tabela 1 é demonstrado a forma de polarização e o resultado obtido.

MOTOR DIREITA	MOTOR ESQUERDO	SENTIDO
Horário	Anti-horário	Frente
Anti-horário	Horário	Ré
Horário	Horário	Esquerda
Anti-horário	Anti-horário	Direita

Tabela 1 – Esquema de acionamento dos motores e resposta obtida.

### **3.3.1.2 Motores e alimentação**

Os motores utilizados no robô autômato são os mesmos encontrados nos limpadores de pára-brisa de carros e caminhonetes, a vantagem de utilizar estes motores é que estes já possuem em sua saída uma caixa de redução que diminui a velocidade de rotação, porém ganha uma maior força e um torque inicial alto, estes motores são alimentados com corrente contínua, trabalham com 12 volts e precisam de uma amperagem alta, em torno de 6 amperes no início de sua operação. Em um primeiro momento tentou-se usar uma bateria de motocicleta que trabalha com 12 volts, mas tem amperagem baixa de no máximo 4.5 amperes, apesar de esta ter acionado o motor e até ter conseguido deslocar o protótipo nos primeiros testes, notou-se que esta estava aquecendo muito e isto poderia danificar a bateria ou até provocar um curto circuito. Dessa forma optou-se pela utilização de baterias seladas

que são geralmente encontradas em no-breaks, que por sua vez trabalha com 12 volts com corrente máxima de 7 amperes, esta é ilustrada na figura 15.



Figura 15 – Bateria selada de 12volts e 7ampers, geralmente utilizada em no-breaks.

### **3.3.2 Desenvolvimento do segundo protótipo**

Após o conhecimento adquirido junto ao primeiro protótipo, uma nova forma de locomoção precisou ser estudada e após uma vasta pesquisa de novos formatos e tipos de rodas a decisão foi usar rodas de bicicletas com pneus próprios para terrenos escorregadios. Neste segundo protótipo, além da parte mecânica, foi desenvolvido a placa de acionamento dos motores, o sistema de captura de imagem e o sistema de envio de mensagens de áudio.

#### **3.3.2.1 Desenvolvimento mecânico do segundo protótipo**

As rodas de bicicletas resolveram o problema, pois proporcionaram ao novo protótipo uma altura maior evitando assim o atrito com a forragem e os pneus

adotados possuíam formas propícias para manter um atrito maior com a forragem ou solo evitando que este patinasse, o formato do pneu é mostrado na figura 16.



Figura 16 – Forma do pneu utilizado no segundo protótipo.

Para uma nova forma de locomoção no pasto todo o sistema de rodas foi substituído, o primeiro passo foi achar um desenho que gerasse um menor atrito com a forragem e acoplasse as novas rodas escolhidas, após vários desenhos chegou-se ao formato apresentado na figura 17, este novo formato contou com três rodas ao invés de quatro, como utilizado no protótipo anterior, mas como anteriormente este também possui duas rodas com tração, a terceira roda gira sobre rolamento e tem como finalidade dar mais estabilidade ao equipamento, distribuir melhor o peso que será arrastado por este e prevenir que o protótipo possa tombar.

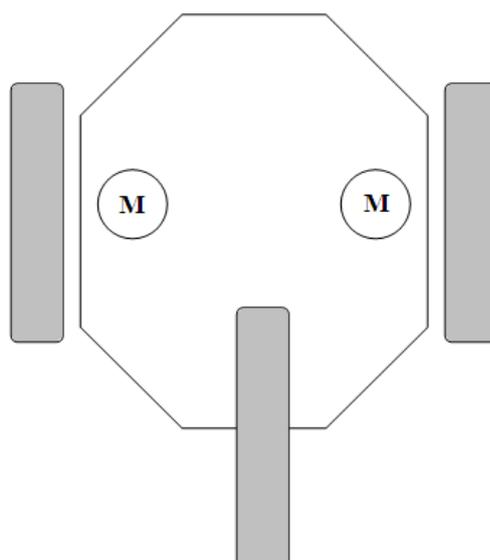


Figura 17 – Disposição dos componentes na plataforma do segundo protótipo, onde (M) são os motores.

### **3.3.2.2 Alimentação e motores**

Para a alimentação do novo protótipo duas baterias de 12 Volts e 7 amperes foram utilizadas, essas são as mesmas baterias utilizadas no primeiro protótipo, e foram ligadas em formato paralelo para gerar uma maior autonomia ao protótipo, por essa associação proporciona a mesma tensão de saída, porém fornece ao sistema uma maior corrente, outro desafio encontrado é que o notebook acoplado a este protótipo é alimentado por uma fonte de 19 Volts, assim para atender esta especificação uma terceira bateria de 6 Volts e 4.5 amperes foi ligada em série com uma das duas baterias de 12 Volts e 7 amperes, proporcionando ao notebook uma tensão de 18 Volts suficiente para a sua alimentação, além da associação para alimentação deste, esta bateria de 6 volts ainda foi utilizada para a alimentação do roteador “wireless” para dispensar o uso da porta USB que limita a corrente e acaba por proporcionar um menor alcance da rede. A figura 18 ilustra as formas de associações para a retirada das tensões necessárias para a alimentação dos módulos de todo o sistema.

**Associação em Série:**

$$V_T = V_1 + V_2$$

**Associação em Paralelo:**

$$V_T = (V_1 + V_2) / 2$$

Onde:

$V_T$  = tensão total

$V_1$  = tensão da primeira bateria

$V_2$  = tensão da segunda bateria

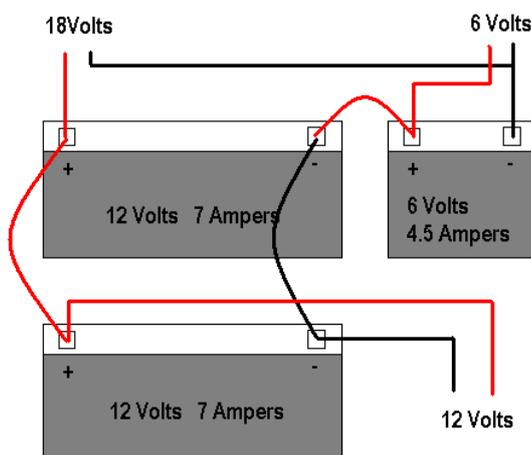


Figura 18 – Associação de baterias para a alimentação do segundo protótipo.

**3.3.2.3 Desenvolvimento do sistema de acionamento dos motores.**

Os motores utilizados neste protótipo foram os mesmos utilizados no primeiro, por se tratar de motores robustos e que já acompanham a caixa de redução que proporcionou um torque eficiente para o deslocamento deste. As rodas foram adaptadas diretamente à caixa de redução através de um eixo usinado para este propósito. Para o acionamento dos motores um circuito eletrônico com base em

relês foi desenvolvido e montado, o funcionamento se baseia no envio de dados binários à porta paralela do notebook instalado no protótipo. A figura 19 ilustra a pinagem da porta paralela, estas portas são encontradas na maioria dos computadores desktops vendidos no mercado interno, porém, essas portas já não são encontradas em notebooks, pois foram substituídas pela tecnologia USB que realiza funções semelhantes, porém com mais velocidade e facilidades aos usuários, além de possuírem dimensões bem menores, porém, caso seja necessário a utilização destes dispositivos em computadores que não os possuem pode-se utilizar um conversor USB-LPT, que faz a conversão da porta USB para o formato LPT. As portas paralelas possuem 25 pinos, porém os pinos que serão utilizados neste projeto são: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 que representam as portas D0, D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, estes pinos trabalham de forma bidirecional assim podem enviar ou ler dados, para enviar ou ler dados nesta porta é preciso trabalhar no formato binário via 8 bits.

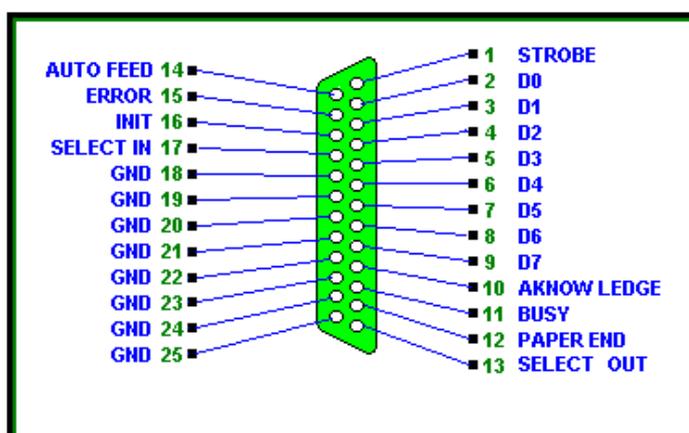


Figura 19 – Diagrama da pinagem da porta paralela de um microcomputador ou notebook.

O diagrama da figura 20 mostra o esquema elétrico da placa de controle dos motores, os relês utilizados funcionam como uma chave eletrônica de duas posições, assim, quando este não é alimentado o pino central de sua saída fornece condutividade ao pino NF (normalmente fechado) e ao aplicarmos uma determinada corrente ao relê a bobina interna deste faz com que uma chave interna de

condutividade do pino central ao pino NA (normalmente aberto). Cada terminal do motor é ligado a um relê, portanto seu funcionamento depende diretamente do sinal enviado ao relê.

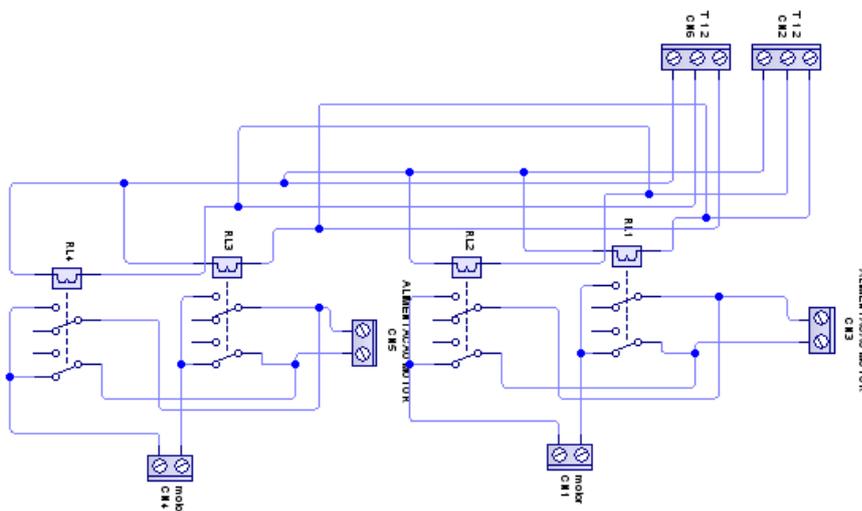


Figura 20 – Esquema elétrico do circuito de acionamento dos motores

Como os motores utilizados no protótipo são motores de corrente contínua, para que este possa girar em sentido horário o mesmo deve ser polarizado com tensão positiva 12 v no pólo positivo e 0 v no pólo negativo do motor, para que se obtenha uma inversão de rotação a tensão deve ser invertida nos pólos, ou seja, o pólo positivo deve receber 0 v e o pólo negativo 12 v, para que este se mantenha sem movimentação basta que ambos os pólos recebam 0 v ou terra.

O circuito para cada motor utiliza dois relês como os mostrado no esquema anterior, cada pino de dados da porta paralela é ligado na entrada de um relê e sua saída é ligada ao pino terra em nosso caso no pino 25, assim, quando o pino de dados recebe o bit 1 este envia 5 Volts ao relê que aciona a bobina interna e fecha contato enviando uma corrente positiva de 12 v, para o acionamento em um sentido o bit 1 é enviado ao primeiro relê e o bit 0 é enviado ao segundo relê, desta forma o relê que foi acionado envia o sinal de 12 v positivo enquanto o relê que recebeu o bit 0 envia o sinal 0 ou terra, acionando o motor em um determinado sentido, para que este sentido seja invertido é enviado o bit 0 ao primeiro relê e bit 1 para o segundo relê, desta forma acontece uma inversão na corrente nos dois pólos fazendo com

que o motor inverta seu sentido, por fim quando é enviado o bit 0 para os dois relês o motor recebe terra nos dois pólos e além de não se movimentar acaba criando uma leve resistência. A figura 21 mostra o diagrama do circuito criado para o acionamento dos motores.

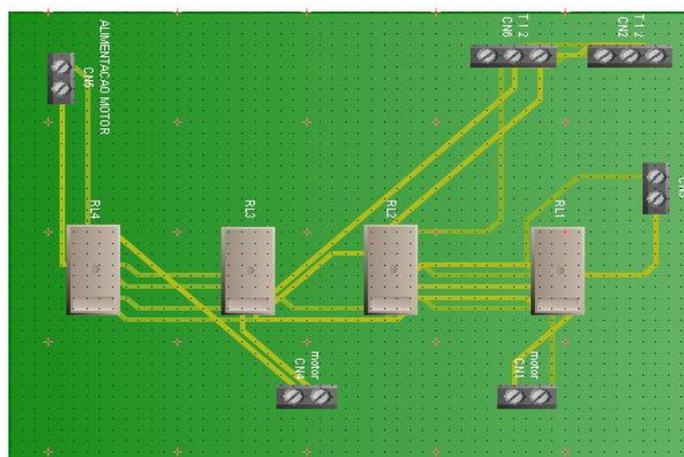


Figura 21 – Placa de acionamento dos motores desenvolvida no simulador PCB.

#### **3.3.2.4 Sistema escolhido para transmissão de dados.**

Neste protótipo duas formas de redes foram testadas, a rede apresentada na figura 12 e a rede da figura 13, as duas se mostraram bastante eficazes, porém como já citado anteriormente optou-se pela rede “wireless” com uso de roteador sem fio, pois em Pirassununga, até o momento do desenvolvimento deste protótipo, não contamos com a tecnologia de telefonia celular 3G. A figura 22 ilustra o roteador utilizado para a comunicação “wireless” do segundo protótipo.



Figura 22 – Foto do segundo protótipo, roteador “wireless” utilizado para a conexão do robô e computador central.

### **3.3.2.5 Sistema de captura de imagem**

Para o monitoramento do gado no pasto, foi criado um sistema de captura de imagem em tempo real. As imagens capturadas do pasto são enviadas em tempo real ao computador central. Inicialmente o sistema foi desenvolvido utilizando motores de passos controlados por um microcontrolador capaz de controlar os movimentos de uma webcam no sentido horizontal e vertical.

A placa de controle do motor de passo foi desenvolvida utilizando um microcontrolador PIC 16F84A, um CI ULN2003, que é responsável por mover o motor de passo de acordo com o sinal enviado pelo PIC, um CI MAX232 foi responsável por transmitir os comandos do notebook instalado no robô que enviou estes via padrão RS232 através da porta serial.

Para melhorar o sistema de captura de imagem, este sistema foi substituído por uma webcam motorizada, conforme ilustra a figura 23, que já possui o controle dos motores, assim realiza os mesmos movimentos que o sistema anterior

projetado, porém com a vantagem que seu sistema mecânico interno é mais estável e com isso envia imagens mais firmes com o protótipo em movimento.



Figura 23 – Webcam motorizada utilizada no sistema de captura de imagem.

### ***3.4 Desenvolvimento do terceiro protótipo***

Com a construção e o sucesso do segundo protótipo e agora com mais experiência o estudo levou a construção de um novo protótipo mais reforçado e com melhorias tecnológicas. Para tal, o primeiro passo foi levantar as características principais que este terceiro protótipo deveria incorporar, as características levantadas estão listadas abaixo:

- *Maior durabilidade.*
- *Impermeabilidade para proteção dos sistemas.*
- *Maior alcance para atender a área de fazendas reais.*
- *Maior autonomia antes de ser recarregado.*
- *Sistema de detecção e desvio de obstáculos de forma autônoma.*

- Deslocamento via coordenadas geográficas (GPS).
- Sensores para coleta da altura da forragem do pasto.

Após o levantamento das principais características que este protótipo deveria conter, uma das maiores preocupações antes da construção deste modelo foi criar uma estrutura maior e mais resistente para acomodar as tecnologias e para suportar o peso das novas baterias, porém ao mesmo tempo este protótipo não poderia tomar formas muito volumosas, pois o transporte do equipamento atrapalharia a viabilidade do projeto.

### **3.4.1 Desenvolvimento mecânico do terceiro protótipo**

Terminado o estudo anterior o desafio foi construir uma estrutura resistente, durável e que pudesse suportar as pressões do pasto, eventuais tempos chuvosos e pastos úmidos. Assim o material escolhido para a estrutura base, foi o aço 1020, que utilizou uma chapa de aço de 3 mm, este material é muito resistente, porém em contato com a umidade ou sereno do campo pode sofrer oxidação, para resolver este problema após o término da montagem do protótipo, as peças de aço receberam um revestimento de tinta automotiva, que não deixa que o material seja atacado.

O formato também foi um desafio e acabou sendo uma mescla das bases utilizadas nos dois primeiros protótipos seguindo traços de um tanque de guerra, porém como distribuir melhor o peso era um fator imprescindível a opção foi usar seis rodas ao invés de três, como utilizado no desenvolvido no segundo protótipo. A figura 24 apresenta o desenho da estrutura base do terceiro protótipo.

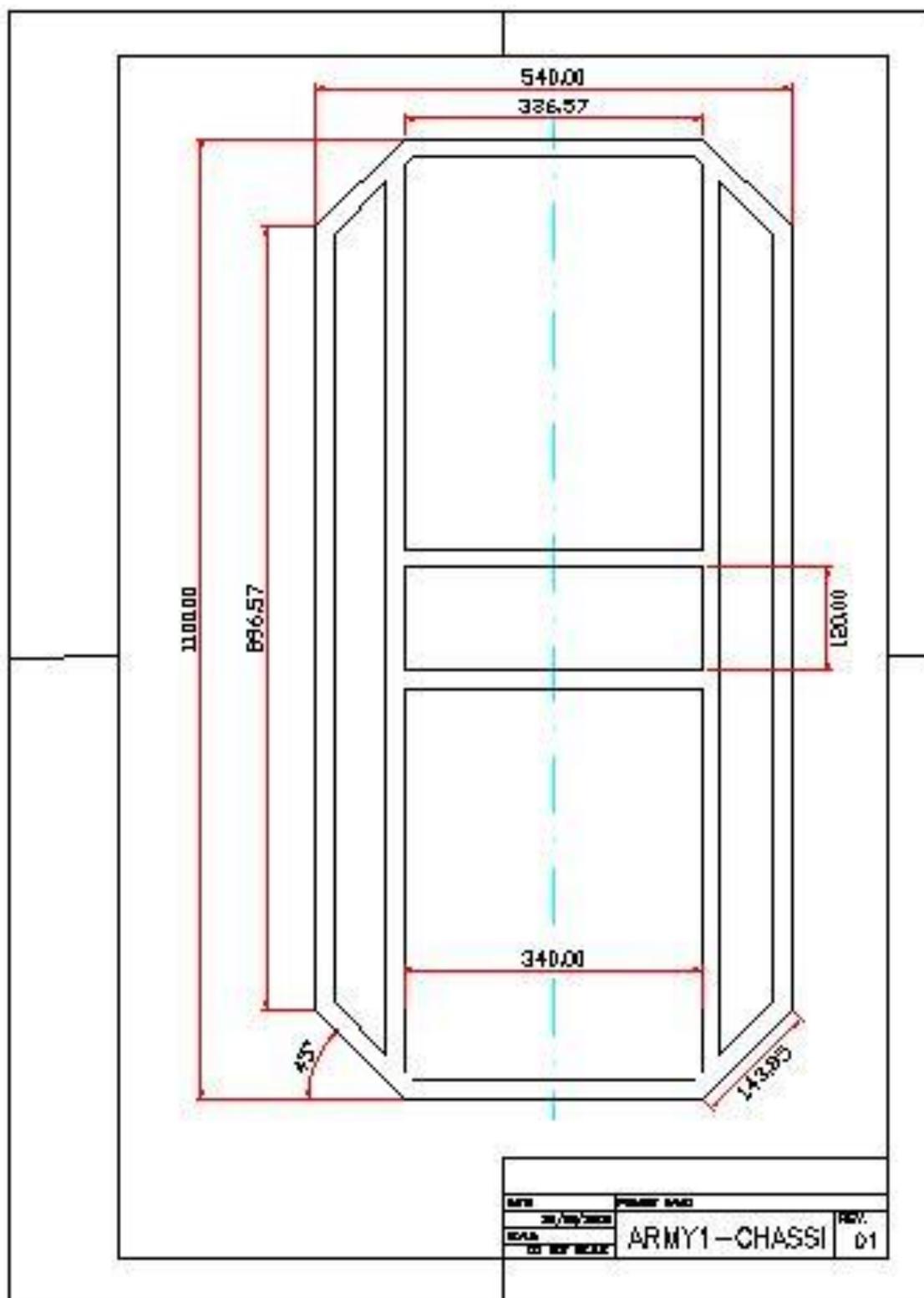


Figura 24 – Estrutura da base do terceiro protótipo.

### 3.4.2 Rodas utilizadas

Apesar de parecer uma coisa simples e corriqueira, achar as rodas e pneus certos foi uma tarefa muito complicada. Primeiramente precisou-se levar em consideração a altura que este conjunto proporcionaria a base do protótipo, um perfil mais baixo poderia fazer com que o protótipo não se deslocasse pelo atrito da vegetação ou mesmo poderia prejudicar a pastagem, uma roda de perfil alto poderia proporcionar um desequilíbrio e uma desestabilidade ao protótipo.

Várias formas de rodas foram pesquisadas, o maior problema é que estas esbarram no desenho, tamanho, dimensão e no preço, que foi um item importante a se considerar. Após várias tentativas e pesquisas no mercado local, as que mais se adaptaram a estrutura foram às rodas e pneus utilizadas em padiolas, mostrada na figura 25, esta apresenta as características necessárias por ser leve e resistente.



Figura 25 – Roda e pneu utilizada no terceiro protótipo.

### **3.4.3 Motores e redução**

Com a forma definida e as rodas escolhidas o passo seguinte foi achar o motor e a redução ideal que pudesse impulsionar o protótipo, de imediato a idéia foi usar tração 4x4 para que este tivesse mais potência para os pastos inclinados ou mesmo para o torque inicial.

O motor utilizado no segundo protótipo apesar de possuir uma boa potência e uma boa caixa de redução não poderia ser utilizado neste protótipo, pois a caixa de redução deste utiliza em sua grande maioria peças de plástico e o eixo que sai deste é fino e acabaria por se danificar com a tração da nova estrutura.

A compra de novos motores aparentemente parece ser uma tarefa simples, porém foi um trabalho muito complicado, pois as grandes empresas não vendem pequenos pedidos, além da dificuldade de se encontrar distribuidores deste tipo de equipamento, assim uma busca foi feita em lojas de peças de carros e caminhões, tendo em vista que estes veículos possuem em vários sistemas motores de corrente contínua. Após a busca, o mais indicado foi o motor utilizado no sistema de refrigeração do motor, a famosa “ventoinha”, este motor é bem forte e tem uma ótima velocidade, porém seu torque é muito baixo, assim, este precisava de uma forma em que a velocidade fosse menor, mas com ganho de torque, para isso uma caixa de redução precisava ser adquirida ou construída.

Para a construção da caixa de redução, era necessário saber informações deste motor, já que este equipamento não acompanha informações técnicas em seu manual, assim, após consulta aos sites do fabricante, algumas informações foram encontradas, mas o dado principal que é a rotação não é disponibilizado. Para a aquisição desta informação, o motor foi levado ao laboratório e com a ajuda de um osciloscópio e um contador de pulsos, o valor da rotação foi encontrado que é de aproximadamente 1300 RPM.

Um levantamento de valores para a construção da caixa de redução necessária mostrou um custo muito elevado e um prazo muito longo para o desenvolvimento e a construção, assim uma busca em algum equipamento com papel semelhante nos levou a redução utilizada no sistema de automatização de portões. Após a aquisição de um desses sistemas, o motor deste, que trabalha com

corrente alternada, foi retirado e o motor de corrente contínua foi implantado com a ajuda de um torneiro mecânico, após os testes, foi diagnosticado que este serviria perfeitamente para o deslocamento do protótipo.

Apesar dos testes mostrarem que este sistema funcionava, a utilização destas caixas de redução adaptadas, ocupariam muito espaço na estrutura do novo protótipo, assim novas soluções foram pesquisadas, e motores de corrente contínuas de 24 Volts de 100 Watts, que são utilizados geralmente em brinquedos elétricos como patinetes e carros elétricos foram adotados, este motor é robusto, forte e compacto. A figura 26 mostra o motor utilizado.

Com a utilização de motores de corrente contínua de 24 Volts e 100 watts, houve a necessidade da construção de um sistema de redução, para que este ganhasse torque suficiente para o deslocamento do protótipo. Como esforços anteriores mostraram que a caixa de redução não era viável, partiu-se para pesquisas em reduções via polias e correias.

Novamente as rotações por minuto deste motor, foram levantadas e um estudo mostrou que a relação deveria ser pelo menos de 7:1, ou seja, cada sete giros do motor provoca um giro direto na roda.



Figura 26 – Motor de corrente contínua, 24 Volts 100watts, utilizado no terceiro protótipo.

### 3.4.4 Eixo

Antes da confecção do eixo, um projeto foi elaborado e desenhado com ajuda do software AutoCAD, pois as peças não poderiam ter nenhuma folga, já que os rolamentos devem estar bem encaixados no cubo, para que o eixo possa girar sem nenhum tipo de atrito, além de impedir que sujeira ou outros do gênero possam entrar no cubo e prejudicar o funcionamento deste.

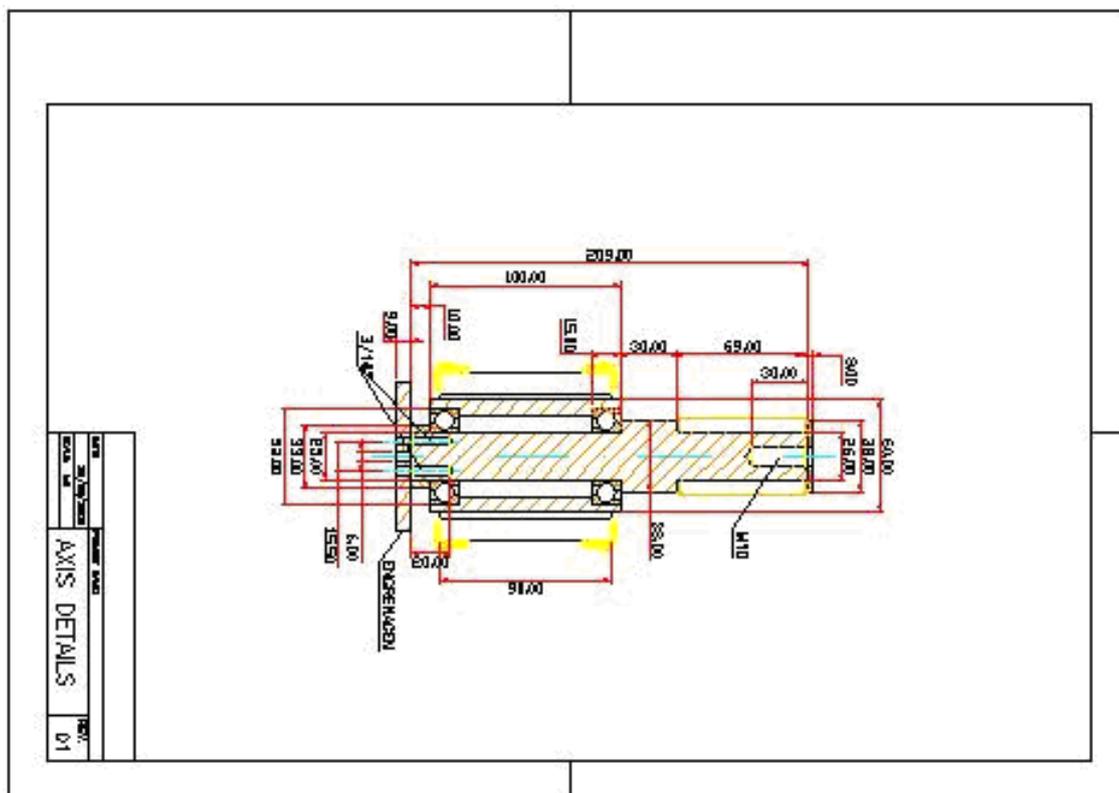


Figura 27 – Desenho do eixo utilizado no terceiro protótipo

Cada peça foi torneada separadamente seguindo a risca o desenho da figura 27, após a confecção das peças o eixo foi montado, o cilindro que é a base do módulo do eixo foi desenvolvido em aço 1020, nesta peça foi realizada um rebaixo em ambas as extremidades para que os rolamentos pudessem ser acoplados e presos.

Cada cilindro recebeu em suas extremidades rolamentos que foram fixados apenas pela precisão do desbaste da extremidade, se prendendo inicialmente pela pressão. A próxima etapa foi instalar um eixo ao furo central dos dois rolamentos (Figura 28 e 29), assim com a fixação do cilindro a base do terceiro protótipo, o eixo gira com uma força necessária muito menor. A polia utilizada é a HTD384-3M-12 (figura 30), e foi fixada na extremidade do eixo que fica voltada para o interior da base deste, a outra ponta do eixo foi fixado no centro da roda.



Figura 28 – Foto do cilindro base do eixo usinado em aço 1020.



Figura 29 – Foto do eixo acoplado no centro dos rolamentos



Figura 30 – Foto da polia que foi acoplada ao eixo.

### ***3.4.5 Montagem da estrutura base do terceiro protótipo.***

Com o eixo e a base montada, chegou a hora de acoplar os eixos a base e instalar os motores que tracionariam as polias através de correias, e com esse movimento a roda anexada ao eixo proporciona o deslocamento do protótipo. Este trabalho foi realizado com muita precisão, para que não ficassem folgas nas polias ou espaçamentos incorretos entre as rodas que pudessem prejudicar o deslocamento do protótipo. O desenho da figura 31 mostra a estrutura completa da parte mecânica do terceiro projeto.

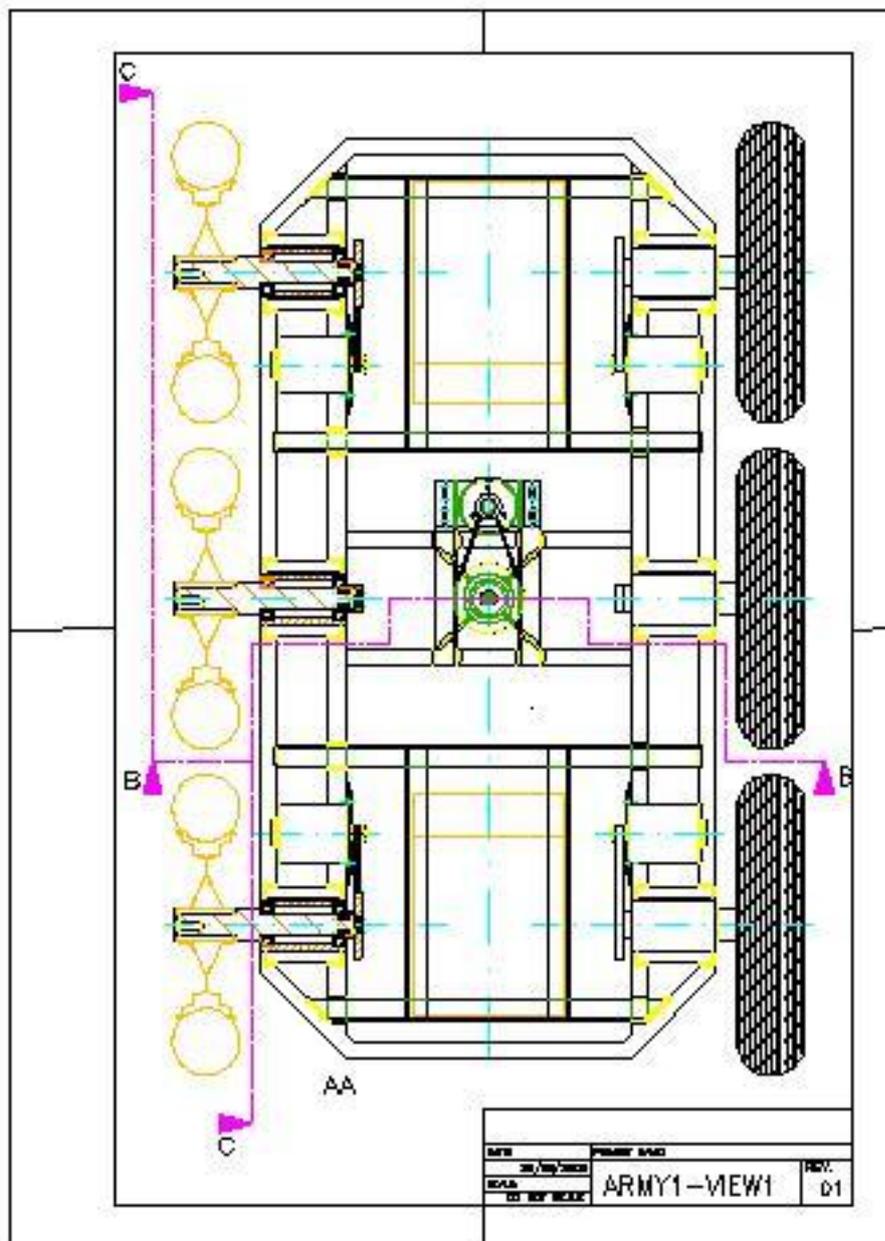


Figura 31 – Desenho da parte mecânica do terceiro protótipo

Os eixos acoplados na parte dianteira e traseira da estrutura receberam polias e estas foram ligadas aos motores por meio de correias, cada conjunto trabalha independente, proporcionando assim tração 4x4. Os eixos centrais foram montados apenas para distribuir melhor o peso e manter um maior contato com o terreno. O desenho na figura 32 e 33 apresentam a distância entre os centros das rodas e o posicionamento do eixo, motor e polia.

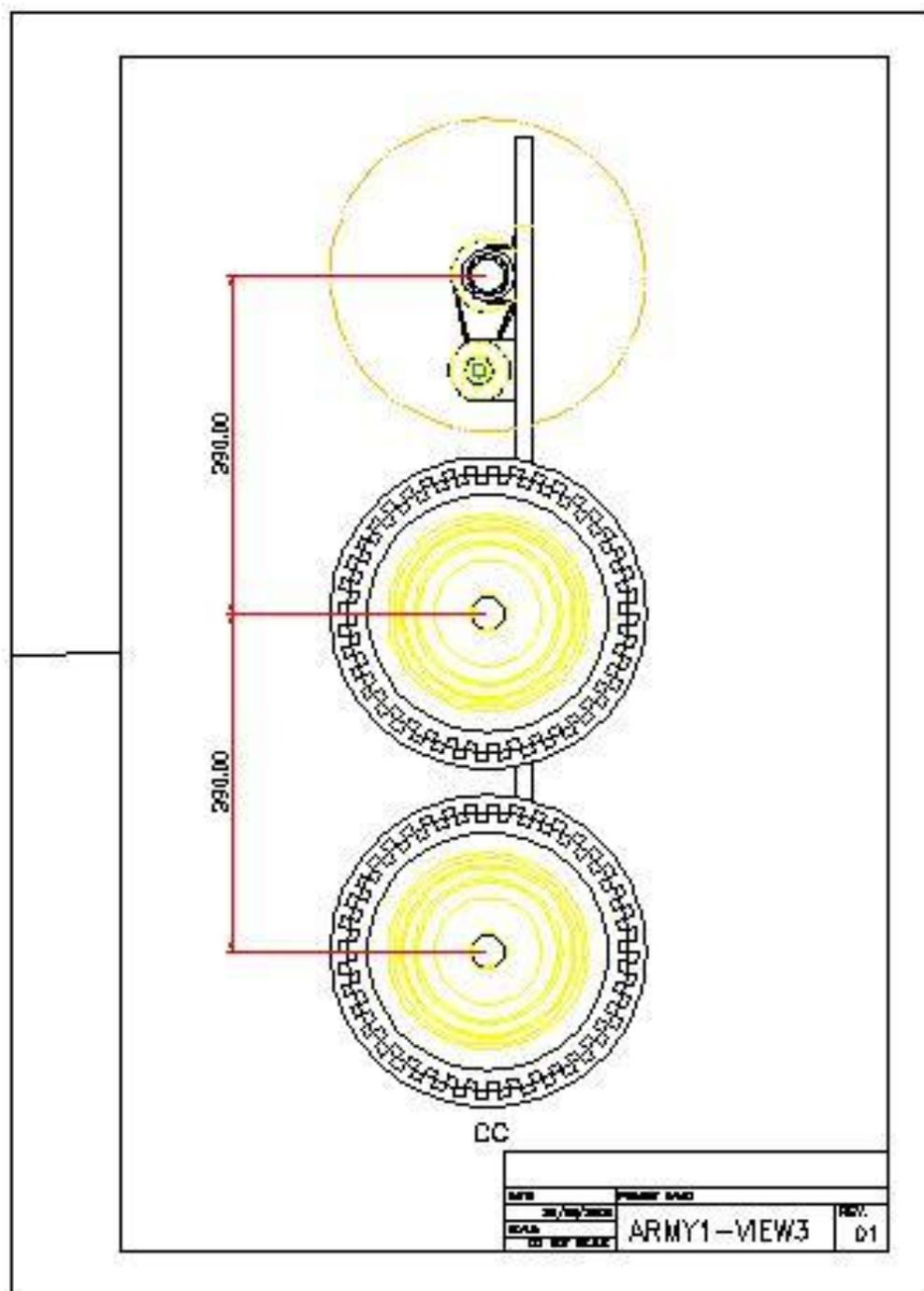


Figura 32 – Distância entre as rodas e disposição do motor, polia e eixo.

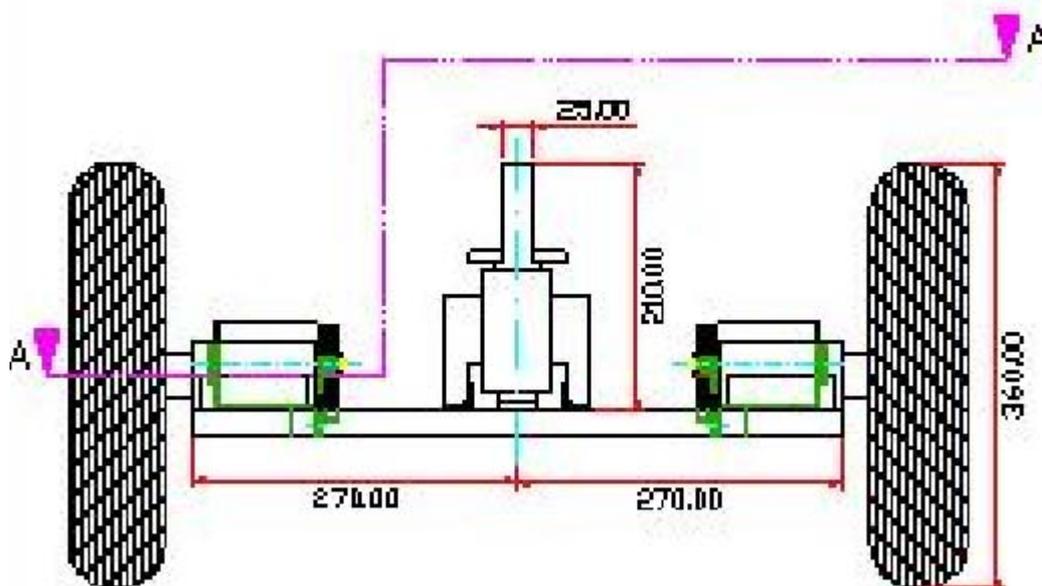


Figura 33 – Distância entre as rodas e disposição do motor, polia e eixo, vista frontal.

### 3.4.6 Alimentação

No segundo protótipo utilizaram-se baterias seladas de 12 volts geralmente utilizadas em no-breaks, essas baterias se mostraram eficientes, porém como o terceiro protótipo necessitava de uma maior demanda de corrente, a solução encontrada foi a utilização de baterias de 12 volts e 40 amperes (figura 34), utilizadas em carros, porém como agora este utilizava motores de 24 volts a saída encontrada foi a utilização de duas baterias, além de fornecer os 24 volts as duas baterias proporcionam uma maior autonomia para o protótipo.

Como essas baterias possuem peso de aproximadamente 24 kg essas foram dispostas de maneira a não sacrificar uma determinada região da base do protótipo.

As baterias foram ligadas em série para a alimentação dos motores, porém como neste alguns equipamentos precisam de 12 volts, uma ligação proveniente de uma das baterias supriu essa necessidade.



Figura 34 – Bateria utilizada para alimentação do terceiro protótipo. 12volts 40 amperes.

Ainda para atender outras partes e circuitos deste protótipo que utilizam 12 volts, essa tensão foi retirada da outra bateria que serviu para alimentar outras placas eletrônicas, como a placa de acionamento dos motores, a placa do sonar, a iluminação e a placa de controle de três variáveis. O computador instalado no protótipo necessita de 19 volts para seu funcionamento, assim, para alimentar este equipamento os 24 volts retirados da associação das duas baterias passou por um conjunto de diodos e resistores que baixou essa tensão para cerca de 19.5 Volts que foram suficientes para alimentar o equipamento.

### ***3.4.7 Sistema de acionamento dos motores - PWM.***

O sistema de acionamento dos motores do terceiro protótipo foi baseado no esquema apresentado no tópico 3.3.2.3, porém agora com o uso de seis rodas e um maior comprimento, a forma deste fazer curvas teve que ser alterada. Um circuito PWM, mostrado na figura 35, precisou ser desenvolvido para controlar a velocidade dos conjuntos dos motores, esquerdos e direitos. Assim com o aumento da velocidade do conjunto esquerdo o protótipo se desloca para a direita e com o

aumento do conjunto direito e diminuição do conjunto esquerdo, este se desloca para a esquerda, os outros acionamentos se mantiveram da mesma forma.

Com o controle da corrente enviada para os motores já estabelecido, a placa para acionamento e inversão dos motores, manteve o padrão do segundo protótipo, a única diferença é que como o computador instalado no terceiro protótipo não possuía portas LPT, ao projeto da placa foi adicionado um microcontrolador PIC 16F84A que fez a conversão dos dados de formato serial para formato paralelo, a porta utilizada para envio dos dados foi a porta USB, porém o envio foi realizado por um conversor USB - Serial que transforma a porta USB em uma porta COM (RS232). O Controle do fluxo de corrente foi realizado através de um transistor do tipo MOSFET IRFZ46 que controla o fluxo da corrente através da frequência de pulsos que são enviados em sua base, esse componente suporta corrente de dreno de até 50 amperes e tensão de dreno de até 50 volts (IRFZ46, 2009).

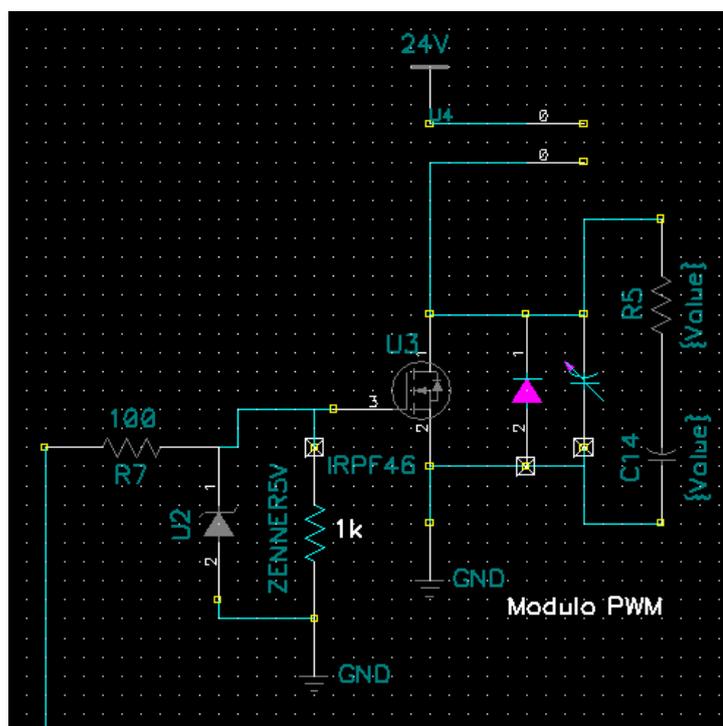


Figura 35 – Diagrama do módulo PWM para controle de velocidade dos motores, utilizando como base transistores mosfet.

### **3.4.8 Transmissão de dados**

O formato escolhido para a transmissão e recepção dos dados do computador central para o protótipo, foi o mesmo utilizado no segundo protótipo ilustrado na figura 12, nenhuma mudança ou adição de tecnologia foi incrementada.

### **3.4.9 Sistema de captura de imagem.**

Assim como o sistema de transmissão de dados este sistema não sofreu alterações e se manteve no mesmo formato que o descrito no tópico 3.3.2.5.

### **3.4.10 Módulo de fala.**

Considerando que o robô possa estar monitorando o gado junto aos trabalhadores da fazenda, foi adicionada uma tecnologia que permitiu com que o robô autômato reproduzisse instrução enviada pelo operador do computador central, como existe uma interconexão do computador central com o robô autômato, o usuário pode acessar o programa falador versão 1.0, este programa é disponibilizado gratuitamente na internet, foi adaptado por Tarciso Carlos Xavier Salida, programador independente que utiliza a tecnologia de voz da Microsoft, o programa reproduz arquivos textos ou textos armazenados na área de transferência. A figura 36 mostra um screenshot do software.

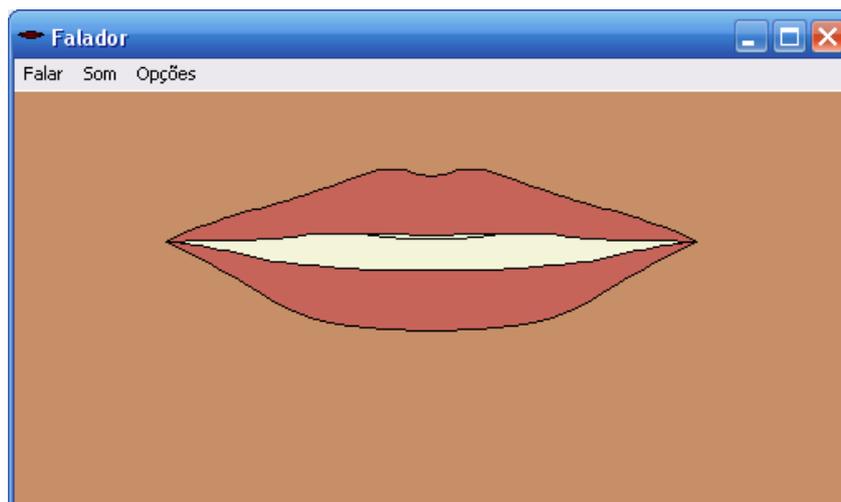


Figura 36 – “screenshot” do programa falador, usado para pronunciar comandos enviados pelo usuário do computador central.

### **3.4.11 Módulo Sonar.**

Para que o robô pudesse realmente ser autômato, este precisa ser capaz de desviar de obstáculos do campo automaticamente, assim um circuito foi projetado utilizando um equipamento de sonar, o circuito desenvolvido utiliza um microcontrolador que é responsável por receber os dados do sonar decodificá-los e enviar em formato RS232 ao microcomputador instalado no robô, que usará os dados colhidos para a tomada de decisão. A figura 37 apresenta o sonar utilizado e suas especificações técnicas. A figura 38 apresenta o diagrama do circuito desenvolvido para controle e utilização desse equipamento.

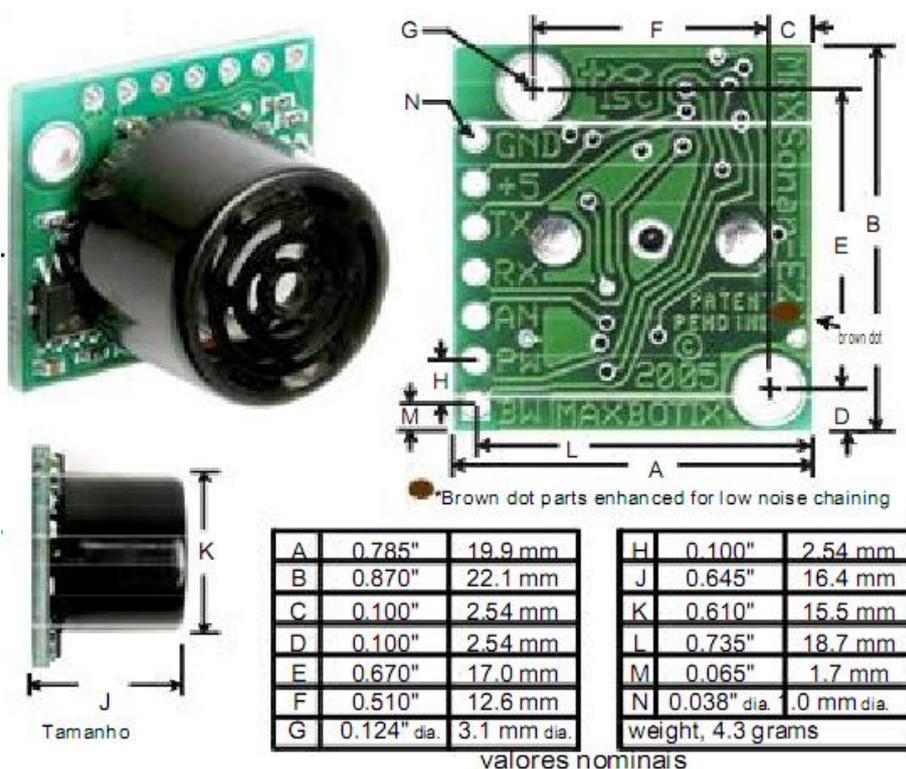


Figura 37 – Especificações técnicas do sonar utilizado.

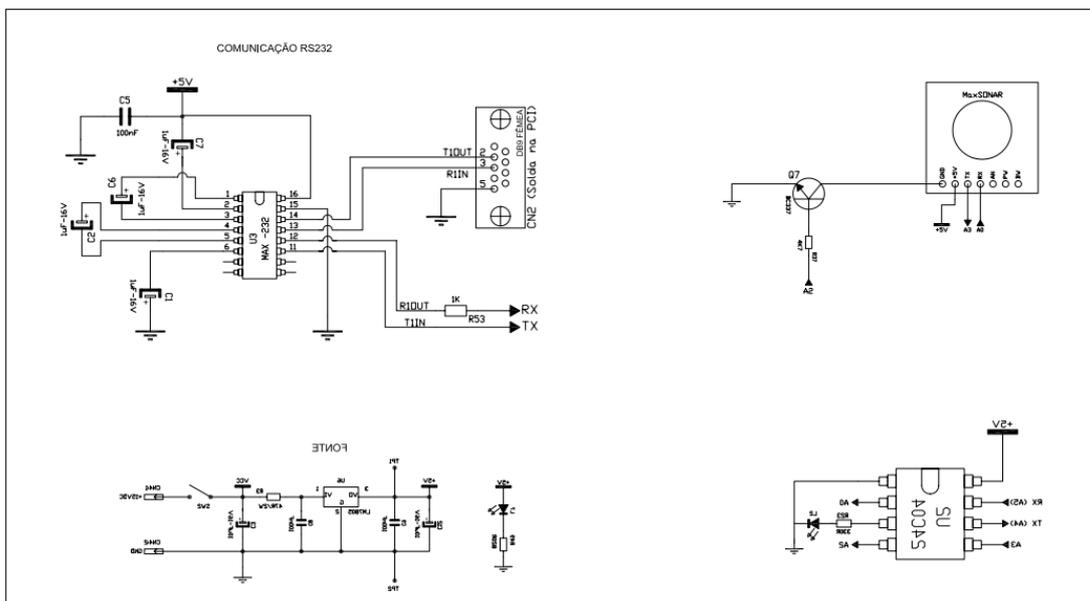


Figura 38 – Diagrama do circuito da placa sonar.

### 3.4.12 Placa de circuito para controle de três variáveis

Uma placa de circuito eletrônico foi desenvolvida para controle de três variáveis fundamentais do robô autômato, essa placa possui um microcontrolador PIC que é o responsável pelo processamento das informações, porém na mesma placa se encontram três circuitos independentes que realizam funções distintas, as figura 39 e 40 mostram o diagrama elétrico do circuito desenvolvido. As funções que foram atribuídas a este circuito foram:

- Decodificação dos dados do sensor de altura de pasto.
- Acionamento do motor de passo responsável pelo movimento da parte superior do robô autômato.
- Controle PWM para controle da velocidade dos motores responsáveis pelo deslocamento do protótipo.

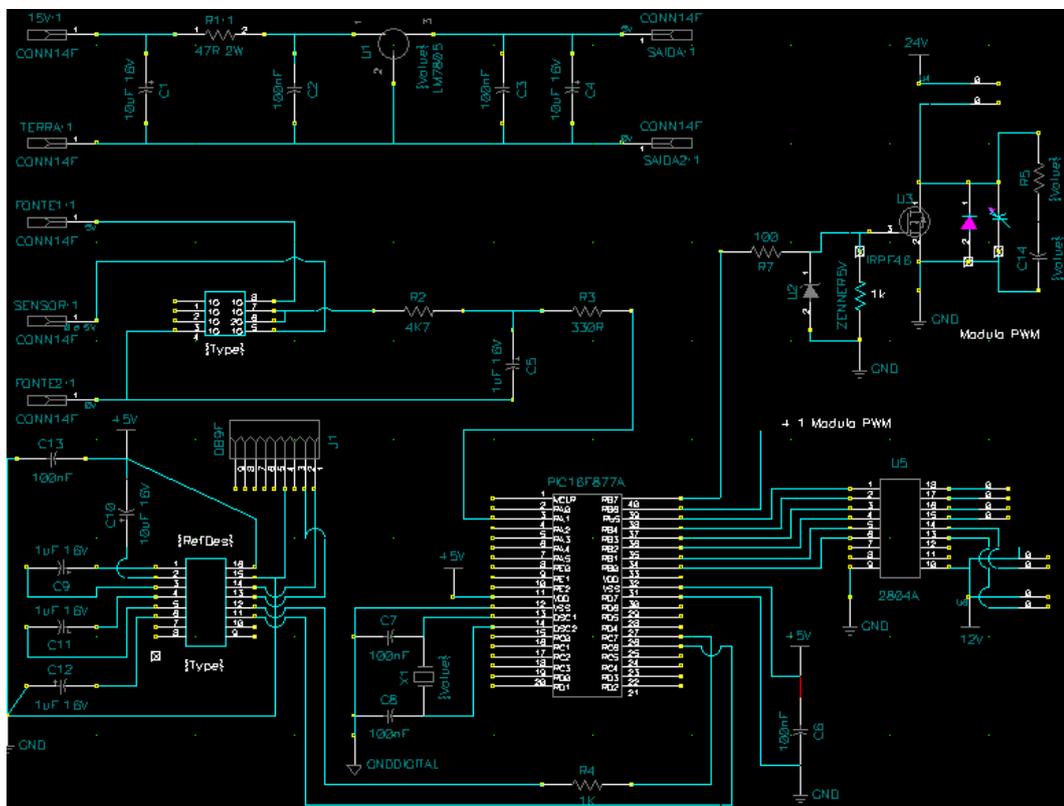


Figura 39 – Diagrama da placa de controle de três variáveis: Motor de passo, PWM e Sensor.

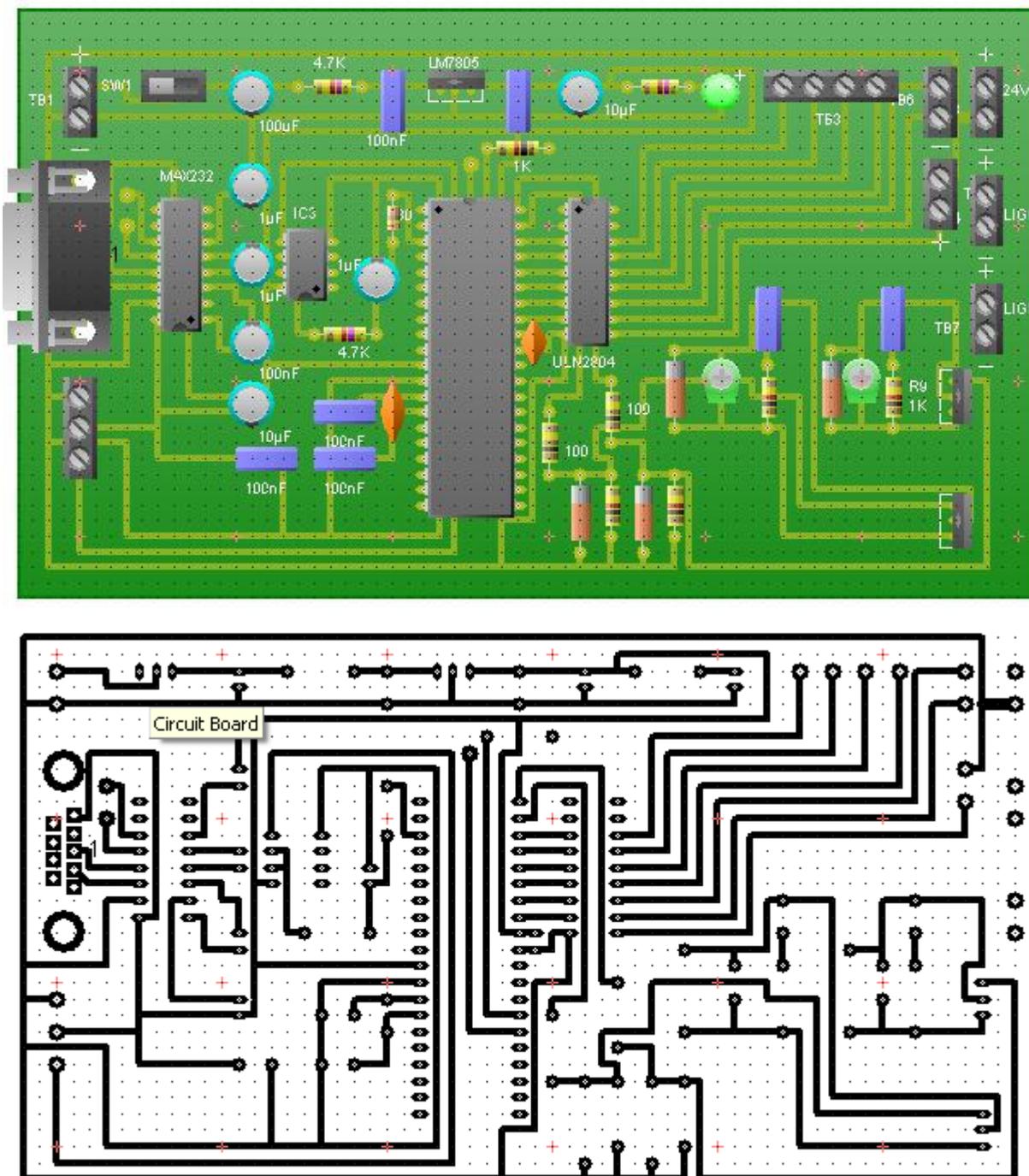


Figura 40 – Diagrama e circuito elétrico da placa de controle de três variáveis: Motor de passo, PWM e Sensor, montada em simulado – PCB.

### **3.4.13 Módulo GPS**

Na maioria dos robôs, para que esse possa saber a posição onde ele se encontra, um ponto inicial deve ser estipulado ou calibrado, com a utilização de motores de passo para seu deslocamento, é possível armazenar os passos realizados de cada ação, assim, esse cálculo indica a posição atual do robô.

Já no pasto este modelo não funciona, já que mesmo com a utilização de motores de passo que garantem uma precisão no giro, o pasto impõe as rodas do robô variáveis que não podem ser controladas, por exemplo, o robô pode acionar o giro da roda, mas pode acontecer deste patinar e assim não proporcionar o devido deslocamento. Para que o controle do posicionamento do robô não dependa da quantidade de giros dos motores, a utilização de um módulo GPS foi de extrema importância para a viabilidade do projeto.

Inicialmente utilizou-se um módulo receptor ME-1000RW com 65 canais com antena interna reduzida, este módulo transmite o sinal GPS em formato texto via RS232, porém o módulo apresentou uma leitura inconstante (ME-1000RW, 2009). Com uma nova busca, adquirimos o módulo GPS GT-3731 44 canais que funciona praticamente da mesma forma, porém já é encapsulado e sua saída pode ser facilmente ligada a uma porta USB, o funcionamento desse módulo é simples as informações detectadas por este são enviadas em forma de texto (GT-3731R,2007), um programa desenvolvido em linguagem Visual Basic versão 6.0 fez a tradução deste código e fornece os dados necessários para a orientação do robô.

## **3.5 Sistemas de controle do robô autômato**

### **3.5.1 Sistema de controle remoto via operador**

Com todos os componentes e circuitos instalados no robô autômato, o computador central faz uma conexão remota ao notebook instalado ao protótipo,

essa conexão é realizada através de software e é possível graças à interligação destes via rede “wireless”. Após essa conexão remota ser estabelecida o operador agora tem disponível na tela do computador central todos os softwares instalados no robô autômato, são estes:

- Controle do acionamento dos motores.
- Controle PWM para velocidade dos motores.
- Módulo GPS que mostra a posição atual do robô autômato.
- Controle da câmera para movimentação destas.
- Software de leitura do sonar, que mostra a distância dos obstáculos.
- Controle do motor de passo para movimentação da parte superior do robô.
- Acionamento dos faróis.
- Medidor da altura do pasto.

Com acesso a estes sistemas o operador pode interagir com o robô autômato, a função básica que este pode executar é o acionamento dos motores, que podem deslocar o robô autômato para frente, para trás, direita e esquerda. O segundo controle que é possível realizar é regular a velocidade com que o protótipo pode se deslocar é importante ainda salientar que para o robô autômato realizar curvas para a direita ou a esquerda, o software faz a curva aumentando a velocidade de um dos lados e reduzindo a velocidade do lado oposto, esse procedimento é disponibilizado em tela para o operador, mas é recomendável que esse processo seja realizado via software, pois exige uma grande complexidade de acionamentos. Conforme o protótipo se desloca no pasto, o operador recebe em sua tela a posição GPS deste e as imagens enviadas pelo sistema de captura de imagem, outro controle disponível para o operador é o controle das câmeras que se movem na horizontal e vertical, o sistema de captura, envia as imagens em tempo real, além dos movimentos das câmeras o operador ainda pode mover a base superior do robô autômato, para a esquerda ou direita, com isso as câmeras também se movem alcançando um ângulo muito maior. O operador apesar de poder ver a imagem de possíveis obstáculos,

também recebe informações através do software do sonar, o sonar informa em metros a distância da barreira. Na mesma tela ainda o operador recebe informações da altura do pasto que também são registradas em um banco de dados, por fim o operador se necessário pode via software iluminar o caminho do robô automático, ascendendo os dois faróis dispostos neste.

### **3.5.2 – Sistema de controle automático usando redes neurais artificiais**

O sistema de controle automático do robô foi desenvolvido baseado no processo de aprendizagem de máquina com uma rede neural atuando como um controlador automático. Neste sistema o Robô é capaz de gerar uma trajetória a partir de trajetórias “aprendidas” anteriormente, e assim tomar decisões de direção automaticamente de acordo com as variações do ambiente que compreende as trajetórias estipuladas. Neste modelo de controle os dados coletados pelo GPS, Sonar, Motores e PWM foram utilizados como entrada da rede, e a saída da rede gera o padrão de acionamento dos motores e sinal do PWM, que dará a nova direção para o robô. A figura 41 ilustra o sistema de controle desenvolvido com base em redes neurais.

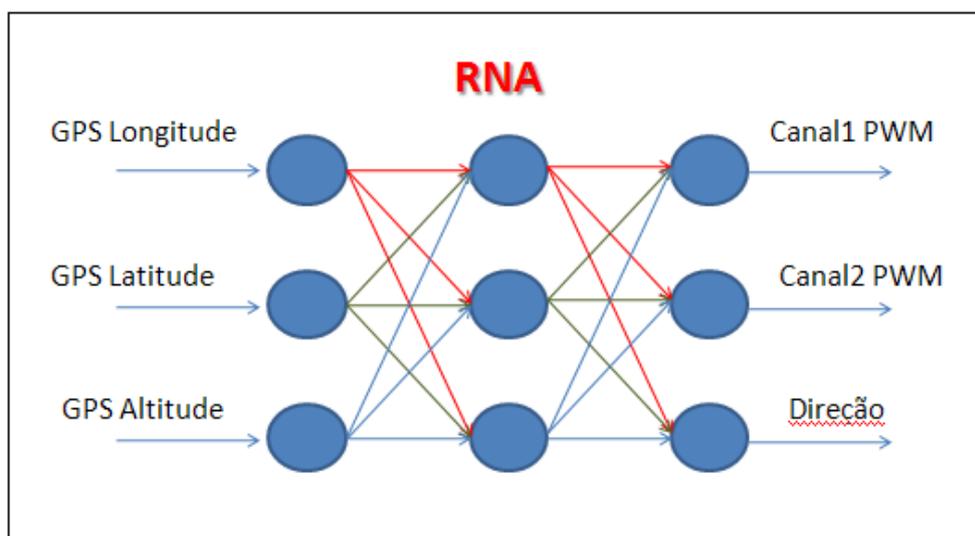


Figura 41 – Diagrama da rede neural desenvolvida para controle do robô.

Para testar este sistema um problema simples de trajetória foi proposto, o problema consiste em orientar o robô por três rotas diferentes para o deslocamento do protótipo do ponto A ao ponto B, conforme apresentado na figura 42. Durante o deslocamento do protótipo por estes caminhos, os dados dos componentes do protótipo são armazenados em um arquivo texto, após o termino, os dados colhidos são usados para treinar uma rede neural artificial em um computador externo ao robô, utilizamos uma rede Neural tipo MLP cuja topologia esta mostrada na figura 42.

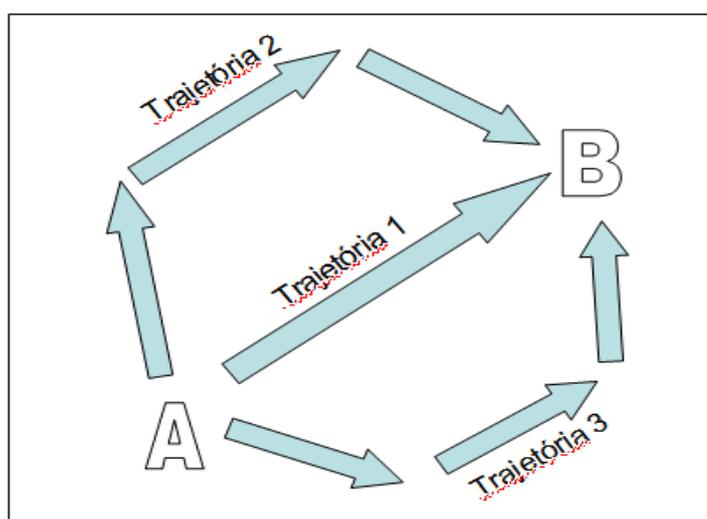


Figura 42 – Ilustração das três trajetórias treinadas.

Nesta topologia a entrada da rede são os três dados de posicionamento do GPS obtidos durante o estagio de treinamento das trajetórias possíveis. Após a realização das três trajetórias mostradas na figura 43 um conjunto de dados foi gerado para simular outras trajetórias possíveis, para treinar a rede, conforme a figura 43:

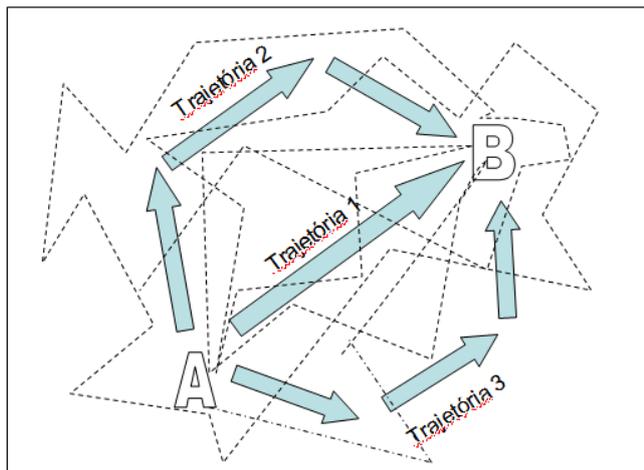


Figura 43 – Demonstração de trajetórias calculadas pela rede neural artificial

Uma rede neural com a mesma topologia foi desenvolvida dentro da CPU do robô e usada para receber as entradas do GPS usando a matriz de pesos da rede treinada no simulador externo para tomar as decisões de trajetória automaticamente. Para testar este sistema o robô foi comandado para ir de um ponto A até um ponto B, mas com um obstáculo na trajetória central conforme mostra a figura 44. A análise do comportamento do robô neste sistema permitiu avaliar o uso da Rede neural como um controlador autômato do robô. Este sistema foi implementado somente no protótipo numero três.

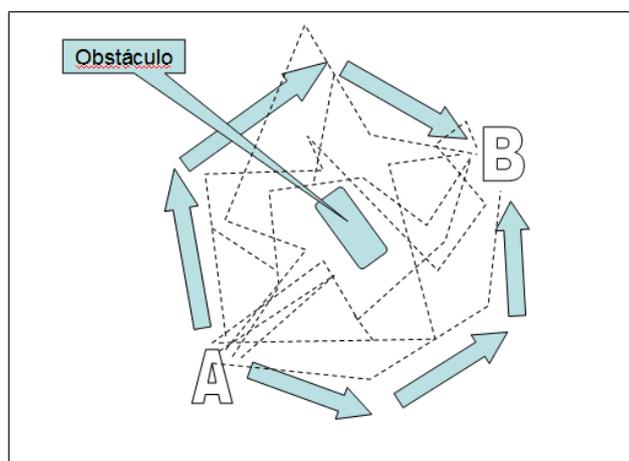


Figura 44 – Trajetórias calculadas entre A e B, com obstáculo.

## **4 Resultados e discussão**

### **4.1 Rede Wireless**

Várias formas de redes sem fio foram testadas para a comunicação entre o computador central e o robô, uma das formas mais eficazes montadas em laboratório foi a ilustrada na Figura 13, que utiliza banda larga para a transmissão de dados. Levado ao campo a rede instalada ao protótipo também se mostrou bastante eficaz, e foi a forma de disposição de equipamentos que proporcionou grandes distâncias sem a utilização de antenas, porém como na cidade de Pirassununga até a data dos testes não se conta com a tecnologia de transmissão de dados em formato 3G, a emissão das imagens da câmera instalada no robô autômato ficou comprometida, porém, testes em cidades que já possuem a tecnologia 3G como é o caso de Leme-SP e São Carlos-SP o funcionamento atingiu os resultados esperados, mas como os testes de campo foram realizados em sua grande maioria na cidade de Pirassununga no campos da universidade de São Paulo, optou-se pela configuração de transmissão de dados da figura 12, que é uma rede “wireless” que utiliza roteador para a comunicação sem fio. A única melhoria que foi implantada do segundo para o terceiro protótipo, foi o uso de antenas de maior alcance, para proporcionar maiores distâncias ao protótipo.

### **4.2 Resultados obtidos no primeiro protótipo.**

Após o término da confecção e montagem do primeiro protótipo já citado acima, um acionamento manual foi instalado e o equipamento foi levado para testes em uma superfície lisa e plana, como esperado este se locomoveu com força e precisão, assim uma carga com peso aproximado de 50 kg foi adicionado, valor proporcional ao que esse deveria suportar, novamente na mesma superfície este mostrou torque suficiente para realizar o trabalho, após estes testes iniciais o

protótipo foi levado a um pasto com altura média de 26 centímetros, porém o equipamento não conseguiu se deslocar após várias tentativas, os motivos notados mais aparentes para o não funcionamento deste foram: o protótipo possuía uma altura relativamente baixa, o que ocasionou um grande atrito com o pasto; as rodas também proporcionaram sua parcela de culpa por possuírem um diâmetro pequeno, assim, acabaram por patinar na forragem impossibilitando o tracionamento deste. Como este não atendeu as expectativas esperadas, o protótipo foi abandonado e um novo foi desenvolvido e construído.

## ***4.2 Resultados obtidos no segundo protótipo.***

O segundo protótipo foi submetido a vários testes em cada etapa de sua construção e serão relatados abaixo:

### ***4.2.1 Movimentos***

Após a montagem da estrutura do segundo protótipo, este foi testado em uma superfície lisa e se portou muito bem, então novamente foi levado ao pasto para novos testes, e desta vez o protótipo se deslocou sem problemas em um pasto com altura média de 35 centímetros. Neste teste foram realizados movimentos em todos os sentidos, e em nenhum movimento encontramos problemas ou irregularidades.

### ***4.2.2 Transmissão de dados***

Para que pudéssemos testar a eficiência da rede “wireless”, responsável pela comunicação entre robô autômato e computador central, esta foi submetida a vários

testes de comunicação que utilizou arquivos de aproximadamente 10MB, para envio do computador central ao robô autômato e vice-versa, a rede se portou muito bem no envio e recepção dos arquivos de dados e imagens.

### **4.2.3 Sistema de captura de imagem**

O primeiro sistema de captura de imagem, ilustrado na figura 45, funcionou normalmente quando o protótipo ficava em repouso, porém apresentou dois problemas sérios no deslocamento do protótipo. O primeiro problema é que as imagens enviadas com o protótipo em movimento ficavam totalmente tremidas e distorcidas, o segundo problema encontrado apareceu quando os motores de passo precisavam manter a câmera em uma determinada posição, para que estas pudessem ficar na posição desejada os motores precisavam ficar constantemente energizados, com isso eles aqueciam e apesar de não apresentar risco aos motores ou ao equipamento, este processo consumia muita bateria.

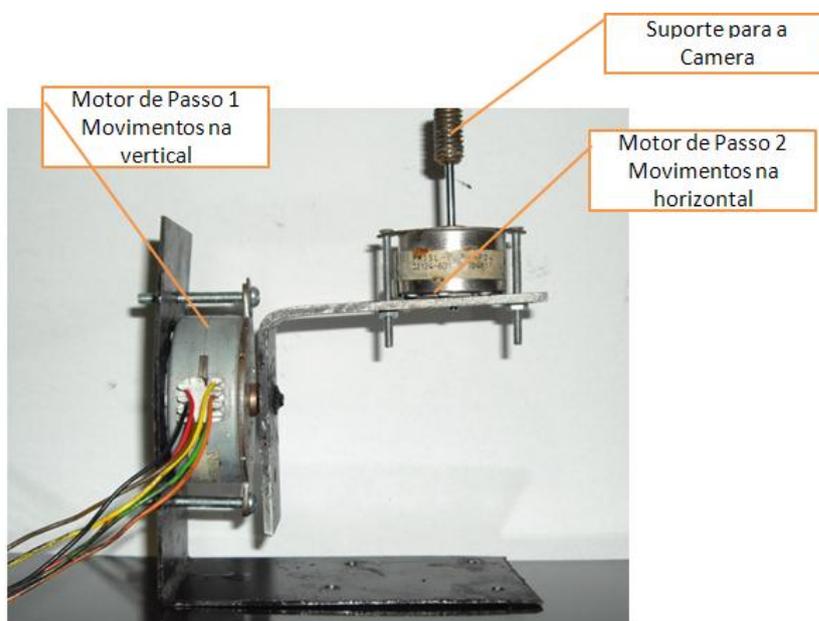


Figura 45 - Figura do controle da câmera web.

Para resolver este problema, um novo sistema de captura de imagem substituiu o antigo conforme já foi relatado no tópico 3.3.2.5, com a implantação do novo sistema o envio de imagens em tempo real mostrou-se bastante eficiente, porém em alguns momentos a rede se mostrou um pouco lenta e as imagens sofreram pequenos atrasos, nada que comprometesse o projeto. A figura 46 mostra uma foto do sistema de captura de imagens do segundo protótipo.



Figura 46 – Sistema de captura de imagem do segundo protótipo.

#### **4.2.4 Módulo Sonar**

O sonar mostrou-se bastante eficiente, mas com pequenas imprecisões nas medições iniciais, assim como este faz medições em frações de segundos, a saída encontrada foi criar um sistema que realizasse vinte medições antes de apresentar o resultado, após as vinte medições serem adquiridas o sistema de controle do sonar faz uma média das leituras, com o valor médio o erro caiu consideravelmente, claro que com o valor médio o equipamento teve uma perda de 10 mm de precisão, porém para trabalhos em pastos medidas dessa proporção são insignificantes.

### **4.2.5 Partes mecânicas**

O equipamento mecânico do robô autômato se portou bem nos testes, apenas um detalhe chamou a atenção. A saída da caixa de redução do motor era muito fina com aproximadamente 6 milímetros, essa saída é a base da ligação entre o motor e a roda (figura 47), assim, com todos os equipamentos instalados no robô esta estrutura recebeu uma força peso alta e após a realização de muitos testes neste equipamento, notou-se que o eixo sofreu uma pequena deformação, assim caso não fosse construído um terceiro protótipo este eixo deveria ser modificado, a opção mais simples e que resolveria o problema por definitivo seria modificar a caixa de redução, para que essa acople um eixo com uma espessura maior, propiciando uma melhor acoplagem.

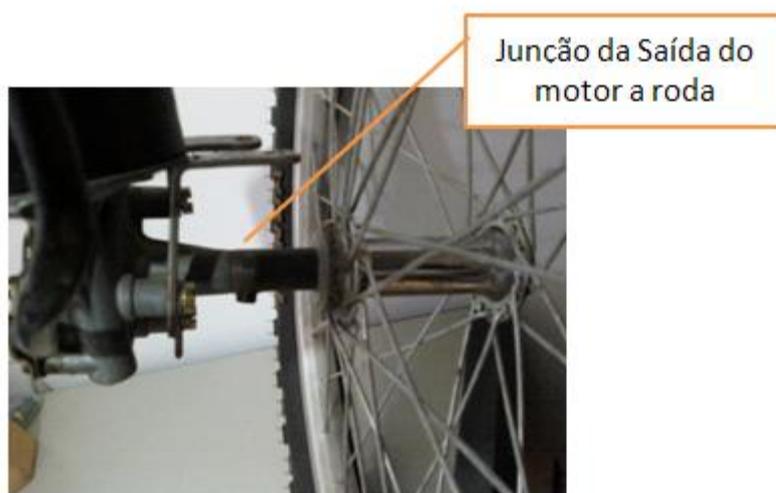


Figura 47 – Acoplagem do eixo da caixa de redução a roda do segundo protótipo

### **4.2.6 Placa de acionamento dos motores**

A placa de acionamento dos motores do segundo protótipo funcionou como o projeto previa, a figura 48 apresenta a foto da placa instalada no protótipo, esta recebeu alimentação de 12 volts, a entrada foi ligada a porta paralela do notebook

instalado no protótipo, os terminais do relês NF(Normalmente fechado) foram ligados ao terra das baterias, os contatos NA(normalmente aberto) ao pólo positivo 24 v, o pino central de cada par de relê foi ligado a um motor.



Figura 48 - placa de acionamento dos motores instalada no protótipo

#### ***4.2.7 Visualização do protótipo em teste de campo***

A figura 49 apresenta fotos do segundo protótipo do robô autômato em testes de campo, os testes foram feitos via operador e este foi capaz de locomover o robô pelo campo nos sentidos: frente, ré, direita e esquerda. O robô enviou imagens em tempo real do campo e o operador ainda foi capaz de enviar mensagens em formato de texto que foram lidas pelo módulo de fala do robô. A rede de dados se portou bem para distâncias de até 100 metros, pois este ainda não dispunha de antenas amplificadoras de sinal. Ainda é importante registrar que as baterias duraram aproximadamente 1 hora antes de precisarem ser recarregadas ou substituídas.

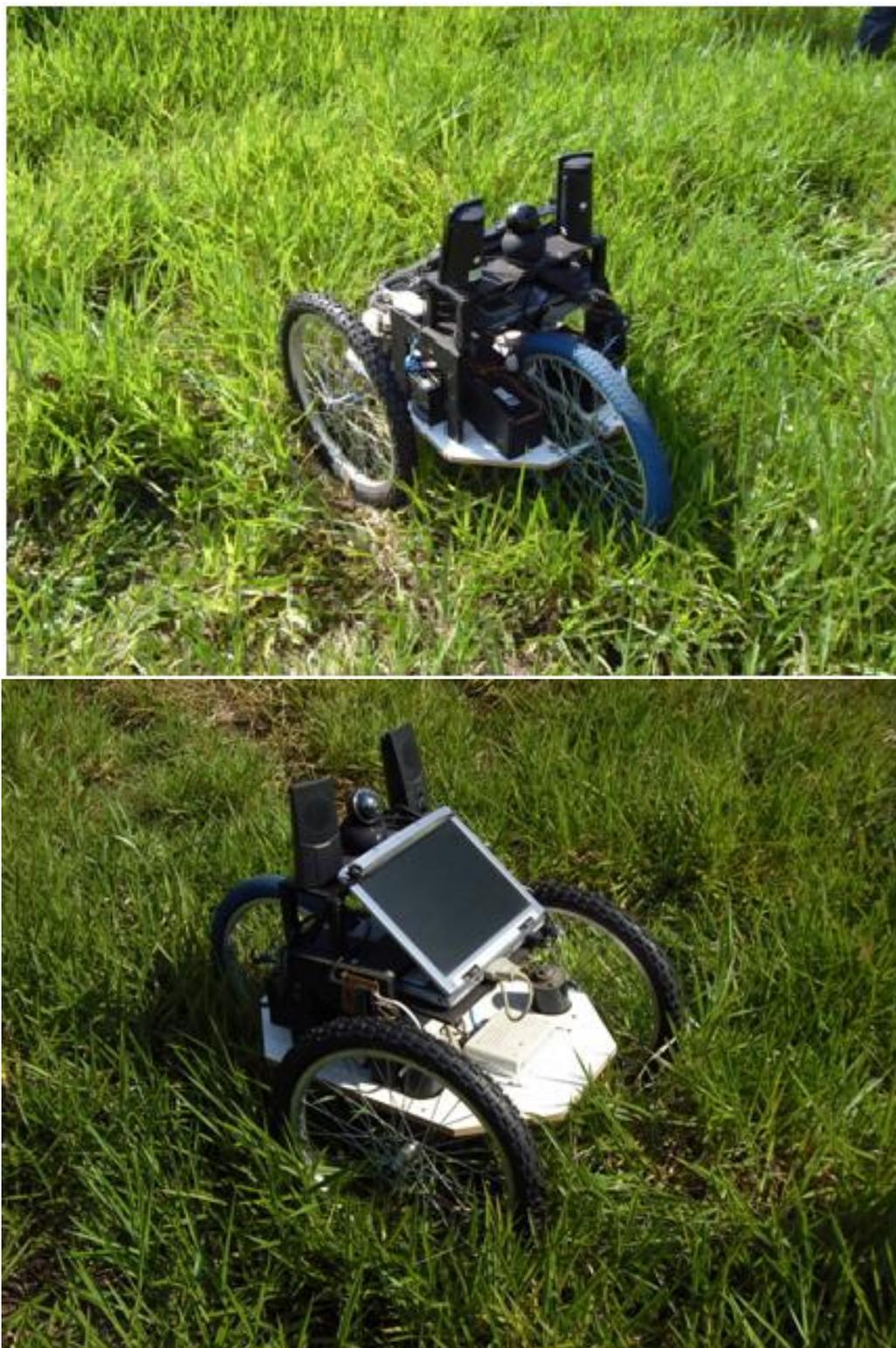


Figura 49 – Fotos do teste do segundo protótipo se locomovendo no pasto.

### **4.3 Resultados obtidos no terceiro protótipo**

#### **4.3.1 Base mecânica**

A partir dos desenhos e projetos, o terceiro protótipo foi montado visando incluir as melhorias listadas anteriormente, a figura 50 mostra o quadro de sustentação do terceiro protótipo já montado, este foi feito de metalom 20x20 mm.



Figura 50 – Estrutura da base do terceiro protótipo.

### ***4.3.2 Primeiro eixo montado no terceiro protótipo***

Apesar de possuir eficiência em seu torque e rotação, o primeiro eixo montado foi abandonado, por ser pesado e ocupar muito espaço, a figura 51 apresenta a estrutura montada, constituída de motor contínuo e caixa de redução retirada de portões eletrônicos.



Figura 51 – eixo e motor criado para o terceiro protótipo.

### ***4.3.3 Estrutura do eixo utilizado no terceiro protótipo.***

Pelos problemas apresentados com o primeiro eixo criado, o novo eixo utilizou peças usinadas em aço 1020, a figura 52 mostra a montagem deste, é importante ressaltar que os eixos proporcionaram ao novo protótipo a possibilidade de suportar uma grande capacidade de peso e um grande torque com a estrutura montada com as polias, correias e motores.



Figura 52 - Peças do eixo do terceiro protótipo.

A figura 53 mostra o eixo já montado e pronto, a primeira imagem mostra a parte interna do eixo onde é presa a polia que é fixada no eixo por um chanfro no cubo. A segunda imagem é a parte do eixo que vai ligada a roda. Esta imagem mostra que o eixo roda sobre rolamentos, estes rolamentos são instalados nas duas extremidades do cubo e fez com que a força necessária para impulsionar o robô fosse reduzida consideravelmente.



Figura 53 – Fotos do eixo montado.

Estes eixos foram fixados na base do terceiro protótipo e apresentaram um excelente funcionamento, foram tão eficientes que ao invés de alimentarmos os motores com 24 volts, tivemos que alimentar com tensão mais baixa 12 volts, pois a rotação estava muito alta e poderia comprometer outros equipamentos eletrônicos que podem ser danificados com impacto provocados pela alta velocidade.

#### ***4.3.4 Baterias para alimentação do protótipo***

A figura 54 mostra a disposição das baterias utilizadas para a alimentação de todo o sistema, outro detalhe, é que primeiramente a base do terceiro protótipo foi

montada com chapa de metal e posteriormente esta chapa foi trocada por uma chapa de acrílico, por dois motivos, primeiro o acrílico é mais leve e segundo o acrílico não sofre processos de corrosão.



Figura 54 – Foto da base e disposição das baterias utilizadas para alimentação do robô autômato.

#### **4.3.5 Placa de controle de três variáveis: PWM, motor de passo e Sensor de medição de forragem.**

A placa para controle das três variáveis funcionou perfeitamente, todo o controle foi realizado por um microcontrolador PIC 16F877A, para isto este teve que ser programado para a realização dos controles, o controle do PWM, que foi o responsável pelo controle da velocidade dos motores, contou com um transistor mosfet que de acordo com a frequência imposta em sua base, controla a corrente que passa pelo motor, conseqüentemente sua rotação, é importante salientar que vários modelos de transistores mosfet foram testados até que o IRFZ46A resolveu o problema. O controlador de motor de passo que controla o deslocamento da parte superior do robô, também foi controlado pelo microcontrolador PIC, porém seu chaveamento utilizou um CI ULN2804. A leitura do sensor de forragem contou com um CI 741 que é um amplificador operacional e na forma como foi instalado, envia o sinal a porta do microcontrolador PIC responsável pela conversão do sinal analógico para digital, essa conversão de sinal é que determina a altura do pasto. As funções que esta placa deve atender são enviadas via porta serial. Todas as três funções foram realizadas com perfeição, a foto da placa pronta é apresentada na figura 55.

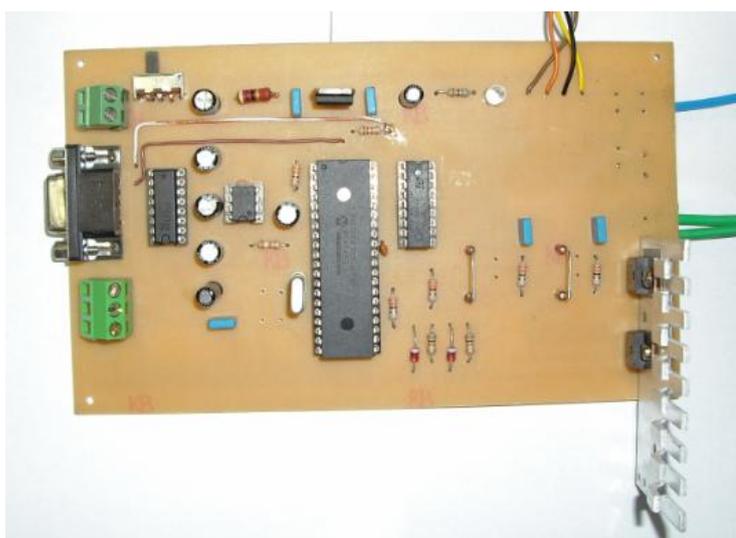


Figura 55 – Foto da placa controladora de PWM, Motor de Passo e Sensor de Forragem.

A figura 56 ilustra o sensor desenvolvido especialmente para a medição da altura do pasto, trata-se de uma bóia de combustível de carro adaptada com uma lâmina de poliéster, assim, conforme o robô vai se locomovendo, a lâmina de poliéster acompanha o desenho do formato da forragem, com isso a haste da bóia que é ligada diretamente a uma resistência, muda o valor desta, o circuito desenvolvido para converter o sinal de analógico para digital, envia uma tensão na entrada dessa resistência e colhe o valor de saída, o valor da tensão de saída é proporcional ao valor da resistência imposta a essa tensão, no circuito de leitura essa tensão é transformada em um número digital que é lido pelo sistema do robô, determinando assim a altura da forragem, é importante salientar que este filme de poliéster e a haste possuem um certo peso, assim o sensor criado deve ser calibrado para desconsiderar esse fator peso e proporcionar uma precisão mais correta, essa calibração é feita diretamente no software de controle do robô.



Figura 56 – Sensor construído para medição da altura da forragem

#### **4.3.6 Placa de acionamento dos motores.**

O sistema de acionamento dos motores (figura 57) do terceiro protótipo contou com a associação de duas placas, a primeira é a placa de controle de três variáveis que faz o controle do PWM e a segunda é a placa de relês que aciona os motores, o funcionamento ocorreu conforme esperado, a única modificação que foi necessária na placa de relês que funcionava no segundo protótipo, foi a adição de um microcontrolador PIC16F84A, que foi necessário para fazer a conversão dos dados seriais para o formato paralelo, já que optou-se por utilizar no terceiro protótipo um computador mais leve e compacto e que infelizmente não conta com portas paralelas.

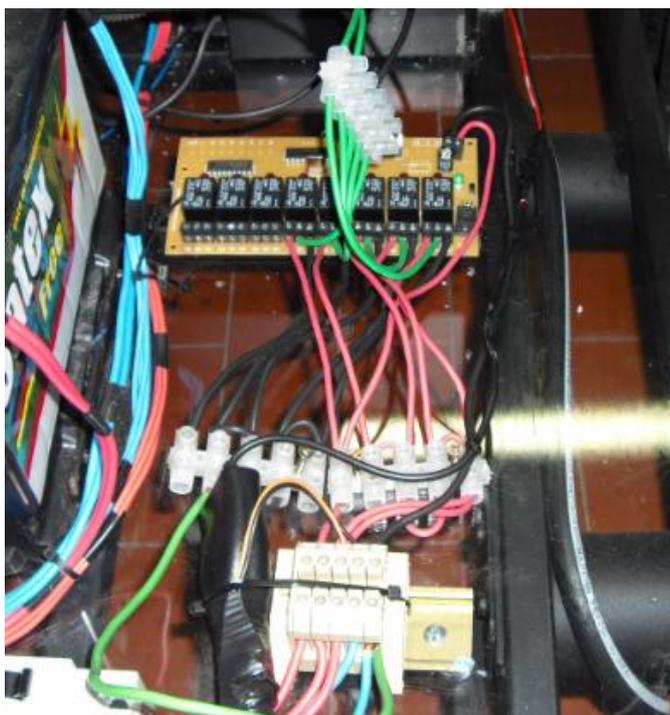


Figura 57 – Placa de acionamento dos motores, instalada na base do terceiro protótipo.

### **4.3.7 Sistema de captura de imagem e Módulo GPS**

O sistema de captura de imagem foi o mesmo utilizado no segundo protótipo e atendeu muito bem as expectativas, na figura 58 é apresentada a foto da câmera motorizada instalada na parte superior direita do protótipo, do lado esquerdo se encontra o módulo GPS, este se portou muito bem, e transmitiu via porta USB em formato de texto as informações por este captada.



Figura 58 – Câmera motorizada e GPS instalados no terceiro protótipo.

### **4.3.8 Módulo Sonar e base giratória**

No terceiro protótipo para que esse pudesse ter um maior campo de captura de imagem e obstáculos, o notebook que faz o controle dos equipamentos eletrônicos no robô autômato foi trocado por um equipamento menor, mais leve e que pode ser instalado em uma base giratória que é acionada através de um motor de passo (figura 59). O motor de passo associado a uma correia e polia pode girar a base, com isso este pode fazer movimentos na vertical permitindo assim que o módulo sonar e o módulo de captura de imagem pudessem cobrir uma área muito maior.



Figura 59 – Base giratória para acomodação do notebook e sonar.

#### 4.4 Protótipo final.

Nas figuras 60, 61, 62 e 63 são apresentadas imagens do protótipo final já em fase de acabamento. É importante ressaltar que as chapas de metal foram substituídas por chapas de acrílico, para uma melhor visualização das partes do protótipo e por esse material não ser corrosivo.



Figura 60 – Disposição dos equipamentos elétricos e eletrônicos no terceiro protótipo, vista de frente.

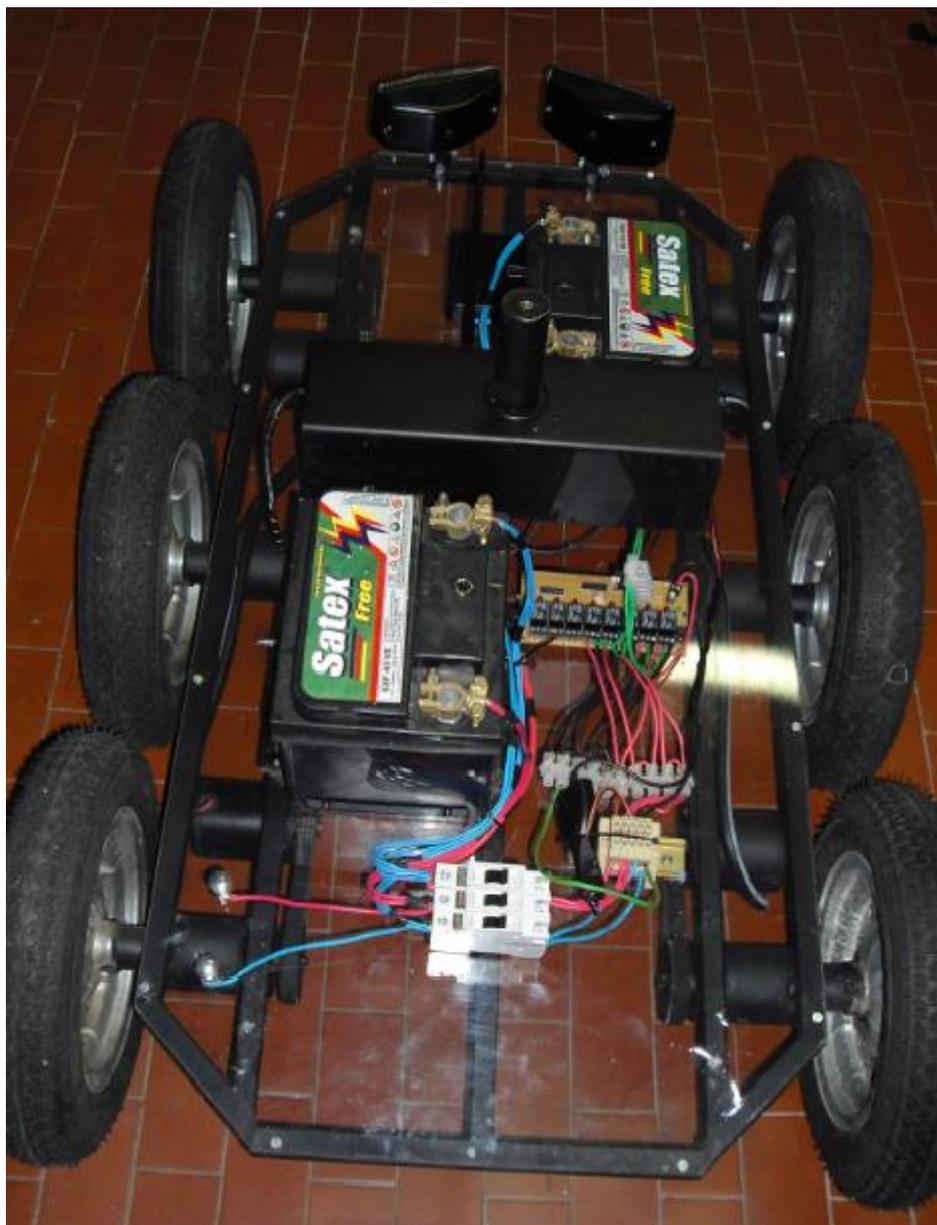


Figura 61 – Disposição dos equipamentos elétricos e eletrônicos no terceiro protótipo, vista traseira.



Figura 62 – Foto das rodas, eixo e motores.



Figura 63 – Fotos do protótipo final.

## 4.5 Controle remoto do robô

A locomoção do robô autômato com controle do operador funcionou de acordo com o projeto, o operador foi capaz de guiar o robô para frente, ré, direita e esquerda, mover a parte superior do robô para a direita e esquerda, movimentar o módulo de captura de imagem para a vertical e horizontal, ter acesso as medições realizadas pelo sonar e contar com as informações do sistema GPS instalado ao robô, os movimentos de direção do protótipo ainda puderam ser regulados de acordo com a velocidade desejada. Na Figura 64 é apresentada a imagem do software que o usuário tem acesso para controle do robô. Quanto a dirigibilidade observou-se que no terceiro protótipo o robô obteve dificuldades para realizar curvas fechadas.

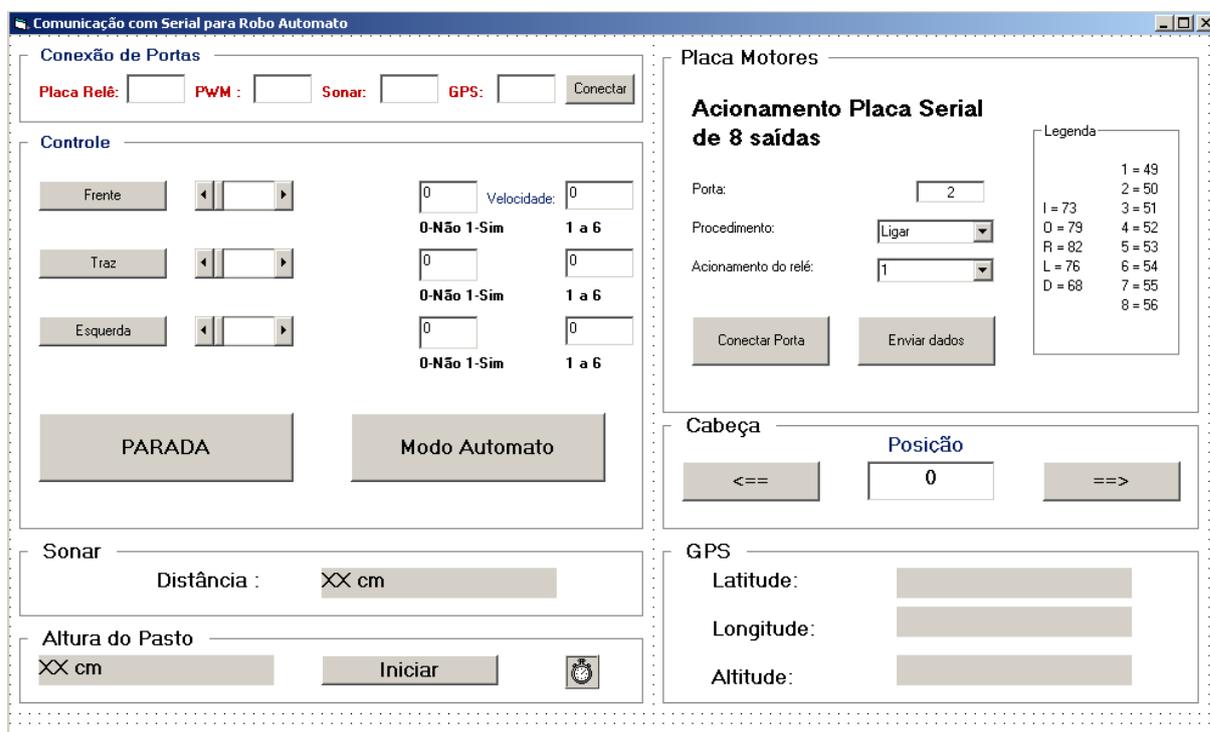


Figura 64 – Tela do software desenvolvido para controle do robô autômato.

#### 4.6 Controle autômato do robô.

O uso da rede neural como controladora autômata do robô se mostrou muito eficiente, na tabela 2 apresenta-se o código que é enviado ao robô para que este se movimente da maneira escolhida pela rede, após a rede ser treinada, pontos aleatórios foram retirados da área usada para os testes, em seguida essas coordenadas foram enviadas para a rede neural. Estes valores das coordenadas de GPS são apresentados na tabela 3. As respostas e as respectivas ações realizadas no sistema de direcionamento mecânico do robô são mostradas na tabela 4. Nota-se que dentro da área delimitada usada para treinar a rede conforme a figura 42, a mesma foi capaz de prever com 100% de acerto da trajetória esperada, quando leva-se em conta o quadrante em que a rede se encontra, ou seja, no quadrante superior da trajetória a rede sempre vira para a direita, no quadrante inferior a rede vira para a esquerda e próximo às coordenadas da trajetória central a rede segue em linha reta. Isto demonstra que após o treinamento correto de uma dada trajetória o robô será capaz de se aproximar ao máximo do ponto objetivo (ponto B da figura 42) de forma autômata.

Código de Movimentação			
PWM1	PWM2	Direção	Movimento
0	1	1	Direita
1	0	1	Esquerda
1	1	1	Frente
1	1	-1	Ré
0	0	0	Parado

Tabela 2 – Códigos para movimentação do robô (combinação e resultado)

COORDENADAS DE GPS TESTADAS			
Movimento	Latitude	Longitude	Altitude
X0 Y0 Z0	0.6769	0.9401	1
X1 Y1 Z1	0.6853	0.9690	1
X2 Y2 Z2	0.6714	0.9888	1
X3 Y3 Z3	0.6494	0.9680	1
X4 Y4 Z4	0.6246	0.9500	1
X5 Y5 Z5	0.6300	1.0005	1
X6 Y6 Z6	0.6542	0.9999	1
X7 Y7 Z7	0.6710	0.9600	1

Tabela 3 – Coordenadas de GPS testadas na rede neural artificial

Movimento	Latitude	Longitude	Altitude	Movimento
X0 Y0 Z0	0.984495	-0.352335	0.975551	Esquerda
X1 Y1 Z1	0.888610	1.000000	0.995887	Frente
X2 Y2 Z2	0.109503	1.000000	0.995887	Direita
X3 Y3 Z3	0.998358	0.988153	0.998554	Frente
X4 Y4 Z4	0.999713	-0.459736	0.999231	Esquerda
X5 Y5 Z5	0.044817	1.000000	0.997105	Direita
X6 Y6 Z6	0.031908	1.000000	0.997019	Direita
X7 Y7 Z7	0.997380	0.163889	0.995301	Esquerda

Tabela 4 – Resposta da saída da rede neural artificial.

## 5 Conclusão

Do desenvolvimento e da montagem do robô bem como os testes a que este foi submetido, é possível afirmar que:

O primeiro protótipo não apresentou resultados satisfatórios, o segundo protótipo foi capaz de se locomover no pasto, e com as melhorias e inovações acopladas ao terceiro protótipo projetado e construído, este foi capaz de se locomover no pasto com dois tipos de comandos, o primeiro via comando manual e o segundo com tomadas de decisões autômatas com o uso de redes neurais artificiais.

Para a transmissão dos dados entre computador central e robô autômato, duas montagens de redes “wireless” mostraram-se eficientes para a comunicação. Na primeira montagem foi utilizado um dispositivo de banda larga via telefonia celular instalado ao robô autômato, esse método apresentou eficiência nas cidades que disponibilizam tecnologia 3G e ineficiência e perda de dados em locais que ainda estão sujeitos a recepção de dados com tecnologia 2G. O segundo método testado e utilizado no terceiro protótipo foi uma rede “wireless” com a utilização de um roteador, esse formato de rede se mostrou bastante eficaz e atendeu todas as exigências que foram impostas a este.

Os softwares para controle do projeto foram desenvolvidos na linguagem de programação Visual Basic versão 6.0, por possuir facilidades na comunicação via porta serial. Os programas criados foram capazes de controlar os seguintes dispositivos: módulo GPS, placa de acionamento dos motores, placa de controle do PWM, base giratória, sensor de medição da forragem, sistema de captura de imagem e módulo de fala. Os dispositivos citados mostraram-se bastante eficazes.

O sensor desenvolvido para a medição do pasto mostrou-se adequado, mas os dados obtidos ainda não permitem avaliar a precisão das medidas.

O robô autômato enviou dados e imagens captadas no campo com grande desempenho.

## **5.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Este projeto foi um grande passo para o monitoramento robótico do campo, porém, muitos estudos ainda precisam ser realizados para que esta tecnologia possa ser aplicada, neste sentido ficam as seguintes sugestões:

- 1) Novas estruturas dotadas de mais articulações mecânicas devem ser estudadas para vencerem as enormes barreiras que o pasto impõe ao robô.
- 2) Para o sistema de alimentação do robô, novas fontes de energia devem ser avaliadas e testadas, tais como: reaproveitamento da energia gerada a partir da locomoção do robô, energias limpas e até mesmo um motor a combustão.
- 3) Outros tipos de sensores podem ser desenvolvidos para colher dados com maior precisão da altura do pasto, e acoplados ao robô realizar outras medições que possam auxiliar na preservação das pastagens, exemplos destes são: densidade da forragem e umidade do solo.
- 4) A adaptação dos animais quanto à presença de robôs no controle de processos do campo.

## Referência

BROWN, L.; EPI-Earth Policy Institute. (2002). Disponível em:<<http://www.earth-policy.org/Updates/Update6.htm>>. Acesso em 24 jan. 2009.

AGUIAR, D., Manejo adequado de pastagem e sistema silvipastoril na preservação do solo, Embrapa Gado de Corte. (2009). Disponível em: [http://www.cnpqc.embrapa.br/index.php?pagina=bancodenoticias/2009/13102009\\_o\\_vinos.html](http://www.cnpqc.embrapa.br/index.php?pagina=bancodenoticias/2009/13102009_o_vinos.html). Acesso em: 26 Nov. 2009.

PÁSCOA, A. G.; MATEUS, J. R., Aplicação dos sistemas de informação geográfica para definição de estratégias de manejo de bovinos nas pastagens, Grupo de estudos e pesquisas em etologia e ecologia animal. FCAV/UNESP. Revista Brasileira Zootecnia, Jul 2007, vol.36,p.45-51.ISSN1516-3598.

VAUGHAN, R., SUMPTER, N., HENDERSON, J., FROST, A. and Cameron, S. *Experiments in Automatic Flock Control* (2000), Journal of Robotics and Autonomous Systems 31 pp.109-117.

AJAP, Zootecnia de precisão, Associação dos Jovens Agricultores de Portugal | by agriciencia, Inovação e tecnologia na formação agrícola. Disponível em: <http://zoooprecisao.agrinov.wikispaces.net/2.+ZOOTECNIA+DE+PRECIS%C3%83O>. Acessado em: 16 Dez. 2009.

ORDONEZ, E. D. M; PENTEDADO, C. G.; SILVA, A. C. R., Microcontroladores e FPGAs: aplicações em automação. São Paulo, Novatec, 2005.

PIC16F8X Data Sheet. 18-pin Flash/EEPROM 8-Bit Microcontrollers. Microchip Technology Inc (2002). Disponível em: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30430c.pdf>. Acesso em: 27 Jul 2009.

PIC16F87XA Data Sheet, 28/40/44-pin Enhanced Microcontrollers. Microchip Technology Inc (2003). Disponível em: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf>. Acesso em: 27 Jul 2009.

SIMON, H., Redes Neurais: Princípios e práticas, Editora Bookman, 2ª Edição, São Paulo, 1999.

TAFNER, M. A., Redes Neurais Artificiais: Aprendizado e Plasticidade, Revista "Cérebro & Mente", Março/Maio 1998. Disponível em: <http://www.cerebromente.org.br/n05/tecnologia/rna.htm>. Acesso em: 01 Dez 2009.

PRADO, T. A., Implementação de um controlador PID embarcado para o controle em malha fechada de um estimulador neuromuscular funcional, (2009). Dissertação apresentada à faculdade de Engenharia – UNESP – Campus de Ilha Solteira.

WILLIES, M. J., Proportional-integral-derivate control, Departamento de química e Engenharia de processos, Universidade de Newcastle, (Nov. 1998).

PARHIN, D R; SINGH, M K, Real-time navigational control of mobile robots using an artificial neural network, 1Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology Rourkela, Orissa, India; 2Department of Mechanical Engineering, Government Engineering College Bilaspur, Chhattisgarh, India, (January 2009).

XIE, M(Min), Fundamentals of robotics: linking perception to action / Ming Xie. P. cm. – (Series in machine perception and artificial intelligence; v. 54). ISBN 981-238-313-1 – ISBN 981-238-335-2 (pbk.) 1.Robos. I. Título. II. Série, 2003. vol. 53, cap. 1.

TANENBAUM, A. S., Redes de computadores. (2003), 4ª Edição, ISBN: 8535211853, Editora Campus.

DUPRAD, C., Comunicação para todos, vice-presidente Comercial e de Assuntos Corporativos da Ericsson Brasil. Disponível em: [http://www.ericsson.com/br/solutions/3G/artigo\\_duprat.shtml](http://www.ericsson.com/br/solutions/3G/artigo_duprat.shtml). Acesso em: 01 Jan 2009.

IRFZ46, HEXFET Power Mosfet. International Rectifier. Disponível em: <http://digchip.com/datasheets/parts/datasheet/232/IRFZ46-pdf.php>. Acesso em: 10 Dez 2009.

LV-MaxSonar-EZ1 Datasheet, LV-MaxSonar EZ1 High Performance Sonar Range Finder, MaxBotix Inc, (2007). Disponível em: <http://www.tato.ind.br/files/EZ1.pdf>. Acesso em: 02 Jul 2009.

ME-1000RW, 65 channels with ultra-high sensitive Smart GPS Antenna module, ME Components, Disponível em: <http://res.trilha21.com/001000608/files/ME-1000RW.pdf>. Acesso em: 07 Set 2009.

GT-3731R, USB Gps Receiver Series, UniTraq International Corp., (2007)., Disponível em: <http://res.trilha21.com/000000006/doc/GT-3731R%2520Technical%2520Manual%2520v1.1.pdf>. Acesso em: 15 Out 2009.