

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**EDUARDO SOARES MELNIK**

**PROJETO DE DIPLOMAÇÃO**

**AUTOMATIZAÇÃO DE VEÍCULO MOVIDO A MOTORES  
DE PASSO**

Porto Alegre

2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

# **AUTOMATIZAÇÃO DE VEÍCULO MOVIDO A MOTORES DE PASSO**

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para Graduação em Engenharia Elétrica.

**ORIENTADOR: TIARAJU VASCONCELLOS WAGNER**

Porto Alegre

2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

EDUARDO SOARES MELNIK

## **AUTOMATIZAÇÃO DE VEÍCULO MOVIDO A MOTORES DE PASSO**

Este projeto foi julgado adequado para fazer jus aos créditos da Disciplina de “Projeto de Diplomação”, do Departamento de Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: \_\_\_\_\_

Prof. Me. Tiaraju Vasconcellos Wagner, UFRGS

Mestre pela UFRGS – Porto Alegre, Brasil.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Luís Alberto Pereira, UFRGS

Doutor pela Universidade de Kaiserslautern – Kaiserslautern, Brasil

Prof. Me. Tiaraju Vasconcellos Wagner, UFRGS

Mestre pela UFRGS – Porto Alegre, Brasil

Prof. Tristão Júlio Garcia dos Santos, UFRGS

Bacharel pela UFRGS – Porto Alegre, Brasil

Porto Alegre, dezembro de 2010.

## **RESUMO**

Este trabalho objetiva demonstrar a viabilidade da automatização de algumas atividades humanas repetitivas. Nele é descrita a implementação de uma plataforma movida por quatro motores de passo independentes acoplados às rodas, usada para testar eficiência e precisão de rotinas de software desenvolvidas para controle de movimentos e medição de distâncias. Exemplificam-se tais rotinas por um sistema de estacionamento automático veicular.

**Palavras-chave:** Automação e Controle. Motor de Passo. Veículos. Eletrônica. Microcontrolador 8051. Estacionamento Automático. Sensores. Ultrassom.

## **ABSTRACT**

This project aims to demonstrate the feasibility of automating some repetitive human activities. It describes the implementation of a platform driven by four independent stepper motors attached to wheels, used to test efficiency and accuracy of software routines developed for motion control and measurement of distances. Those routines are exemplified by an automated parking system.

**Keywords: Control and Automation. Stepper Motor. Vehicles. Electronics. 8051 Microcontroller. Automatic Parking. Sensor. Ultrasound.**

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	12
2	ESCOLHA DA ESTRUTURA MECÂNICA DO PROJETO .....	13
3	ESCOLHA PRELIMINAR DAS PEÇAS COMPONENTES DO SISTEMA .....	14
3.1	MICROCONTROLADOR E SUA LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO .....	14
3.2	MOTOR DE PASSO .....	14
3.3	ACIONAMENTO (DRIVER).....	15
3.4	SENSOR.....	16
3.5	INTERFACE DE COMANDO DO USUÁRIO.....	16
4	FUNCIONAMENTO DO MOTOR BIPOLAR E COMANDO PELO MICROCONTROLADOR 8051 .....	17
4.1	ESTRUTURA E ACIONAMENTO DO MOTOR BIPOLAR .....	17
4.2	COMANDO ATRAVÉS DO MICROCONTROLADOR 8051 .....	18
4.3	ALGORITMO UTILIZADO PARA COMANDOS SIMPLES .....	20
4.4	INCERTEZA DE POSIÇÃO INICIAL E ERRO DE SENTIDO DE GIRO.....	20
5	GRAVAÇÃO DO CÓDIGO NO MICROCONTROLADOR .....	22
6	SENSORES.....	24
6.1	SENSOR ULTRASSOM .....	24
6.1.1	Medições e filtragem .....	25
6.1.2	Resposta do sensor a variadas frequência e formas de onda .....	30
6.1.3	Resposta do sensor à variação da distância .....	32
6.2	ALTERNATIVA DE PROJETO: SENSOR INFRAVERMELHO .....	32
6.2.1	Interfaceamento do sistema infravermelho com o microcontrolador .....	35
7	ACIONAMENTO DO EMISSOR DE ULTRASSOM .....	36
7.1	CONTROLE PELO 8051.....	37
8	CIRCUITO COMPARADOR.....	40
8.1	CONEXÃO DA SAÍDA DO COMPARADOR À ENTRADA DO MICROCONTROLADOR .....	41
9	INTERFACE DE CONTROLE DO USUÁRIO .....	42
10	CIRCUITO COMPLETO .....	43
11	ROTINAS DE PROGRAMAÇÃO .....	47
11.1	AGUARDANDO DE COMANDO DO USUÁRIO.....	48
11.2	FRENTE, TRÁS, DIREITA E ESQUERDA.....	48
11.3	VELOCIDADE.....	49
11.4	ESTACIONAR .....	49
11.5	MEDIR DISTÂNCIA .....	50
11.6	CALCULAR DISTÂNCIA .....	51
12	TESTES INICIAIS DE ROTINAS DE MOVIMENTO DA PLATAFORMA .....	52
12.1	PROBLEMAS DE ALIMENTAÇÃO .....	52
12.2	PROBLEMAS DE VIBRAÇÃO .....	52
12.3	PROBLEMAS DE CONJUGADO ELETROMAGNÉTICO .....	53
12.3.1	Avaliação da possibilidade de substituição dos motores .....	53
13	TESTE DOS COMANDOS PELO <i>DIP SWITCH</i> .....	55
14	TESTE DO SISTEMA DE MEDIÇÃO E ERROS IMPLÍCITOS TEÓRICOS ....	56
15	RESULTADOS ALCANÇADOS .....	58
16	CONCLUSÃO .....	61
	REFERÊNCIAS .....	62
	APÊNDICE A: PLATAFORMA MECÂNICA .....	64
	CONSTRUÇÃO DA PRIMEIRA VERSÃO DA PLATAFORMA .....	64
	ALTERAÇÃO DA PLATAFORMA DEVIDO AO BAIXO CONJUGADO.....	69

<b>Substituição das rodas.....</b>	<b>69</b>
<b>Caixa de redução e proporção entre distância entre eixos e entre rodas .....</b>	<b>70</b>
<b>CONSTRUÇÃO DA NOVA PLATAFORMA .....</b>	<b>70</b>
<b>PLATAFORMA COMPLETA COM SENSORES, CIRCUITO E ALIMENTAÇÃO.....</b>	<b>75</b>
<b>APÊNDICE B: PROGRAMA COMPLETO DO MICROCONTROLADOR.....</b>	<b>78</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Motor de passo bipolar magnético permanente com 10 polos e 2 enrolamentos.....	17
Figura 2 Pinagem do microcontrolador 8051 utilizado .....	19
Figura 3 Circuito para gravação do 8051 .....	22
Figura 4 Interface de gravação do 8051 .....	23
Figura 5 Sinal no sensor .....	25
Figura 6 Sinal no sensor com outra escala de tempo.....	26
Figura 7 Ruído de 60Hz no sensor, escalas de 2V/div e 5ms/div .....	26
Figura 8 Sensor conectado a um filtro passa-altas com frequência de corte de 15,4kHz .....	27
Figura 9 Diagrama de Bode do filtro da Figura 8.....	28
Figura 10 Resposta do sensor para obstáculo a 4cm .....	29
Figura 11 Resposta do sensor para obstáculo a 7cm com diferente escala de tempo.....	29
Figura 12 Saída filtrada do sensor para emissor alimentado por senoide .....	30
Figura 13 Saída filtrada do sensor para emissor alimentado por onda triangular .....	31
Figura 14 Saída filtrada do sensor para emissor alimentado por onda retangular.....	31
Figura 15 Desenho do módulo sensor-emissor .....	33
Figura 16 Módulo sensor-emissor .....	33
Figura 17 Esquema de ligação do fotodiodo .....	34
Figura 18 Circuito de acionamento do LED infravermelho .....	34
Figura 19 LM555 em configuração astável.....	36
Figura 20 Circuito de teste para aumento da tensão do emissor .....	37
Figura 21 Circuito acionador do emissor de ultrassom .....	38
Figura 22 Sinal no gerador de funções (senoide inferior) e no emissor (senoide superior) em escalas iguais e mesmo ajuste de terra.....	39
Figura 23 Circuito comparador.....	40
Figura 24 Estrutura simplificada de um pino de entrada/saída do 8051 .....	41
Figura 25 Interface para usuário fornecer comandos ao microcontrolador.....	42
Figura 26 Circuito completo do projeto .....	44
Figura 27 Leiaute da placa.....	45
Figura 28 Placa de circuito impresso.....	46
Figura 29 Placa com os componentes.....	46
Figura 30 Diagrama de blocos 1 do programa .....	47
Figura 31 Diagrama de blocos 2 do programa, referente à rotina de estacionamento. ....	48
Figura 32 Erro na leitura do sinal de ultrassom.....	59
Figura A-1 Roda, adaptador e motor utilizados .....	65
Figura A-2 Montagem do adaptador na roda.....	65
Figura A-3 Montagem do adaptador no motor e na roda .....	66
Figura A-4 Sistema roda, adaptador e motor fixado .....	66
Figura A-5 Rodas montadas a seus adaptadores .....	67
Figura A-6 Vista inferior da plataforma móvel.....	68
Figura A-7 Vista superior da plataforma móvel.....	68
Figura A-8 Plataforma com <i>protoboard</i> fixado.....	69
Figura A-9 motor com caixa de redução desmontado.....	71

Figura A-10 Retirada da engrenagem.....	71
Figura A-11 Aproveitamento da engrenagem no motor de passo .....	72
Figura A-12 Aproveitamento da engrenagem do motor de passo no eixo da caixa.....	72
Figura A-13 Fixação da engrenagem no eixo da caixa de redução .....	73
Figura A-14 Peças do sistema de motor de passo com redução .....	73
Figura A-15 Motor de passo com redução montado .....	74
Figura A-16 Motor de passo com redução montado à roda .....	74
Figura A-17 Peças utilizadas em substituição à plataforma de madeira .....	74
Figura A-18 Nova plataforma completa – vista inferior .....	75
Figura A-19 Nova plataforma completa – vista superior .....	75
Figura A-20 Plataforma móvel – versão final .....	76

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 Sequência de alimentação das bobinas do motor da Figura 1 para giro horário e anti-horário .....	18
Tabela 2 Definição da saída do 8051 que aciona cada terminal dos motores .....	19

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

FET: Transistor de Efeito de Campo

BJT: Transistor de Junção Bipolar

LED: Diodo Emissor de Luz

8051: Microcontrolador INTEL da família 8051

## 1 INTRODUÇÃO

A automação e o conforto evidenciam-se a cada dia mais necessários, objetivando reduzir a preocupação com tarefas comuns no dia-a-dia, gerando maior disponibilidade para manter o foco em temas importantes, e gerar ganho em saúde e disposição física e mental.

Em grandes cidades, o fluxo veicular é massivo. As ruas são engarrafadas e os espaços de parada são poucos e pequenos. Estacionar torna-se uma tarefa que exige bastante concentração, gera ansiedade (principalmente no caso de se estar bloqueando a via) e implica o risco de pequenas colisões, entre outros inconvenientes.

A tecnologia, através do advento da direção hidráulica, dos retrovisores elétricos, dos sensores de estacionamento, das câmaras de ré e de variados outros meios tem facilitado a execução precisa e rápida dessas rotinas. A evolução evidente do processo exemplificado é o estacionamento automático, quando o próprio veículo confere a viabilidade de se encaixar em uma vaga e o faz autonomamente a um simples comando do motorista que demonstre seu desejo de parar em determinado local.

Este Projeto de Diplomação versa sobre uma plataforma móvel para estudos, implementações e testes acerca de rotinas que envolvem movimentos inteligentes como, fundamentalmente, estacionar de forma autônoma. Sua construção é feita com motores de passo independentes (um por roda), sensores e sistema de comando, com *software* instalado em um microcontrolador 8051.

## 2 ESCOLHA DA ESTRUTURA MECÂNICA DO PROJETO

A fim de executar um projeto capaz de demonstrar a viabilidade de sua implementação prática, mostra-se necessária a construção de uma plataforma móvel para simular um veículo real. Essa plataforma define, bem como seria na versão para veículo elétrico real, os limites mecânicos restritivos das respostas possíveis aos comandos desejados.

O modelo escolhido é de um motor de passo independente para cada uma das quatro rodas, com alinhamento fixo (sem sistema de rotação sobre o eixo vertical da plataforma nas rodas dianteiras, como em automóveis convencionais). À semelhança do alinhamento citado, existe o sistema de esteiras em tratores, que possui, entretanto, definição de contato com o terreno em área maior.

Tal opção dá-se em função do grande controle de giro proporcionado pelas características intrínsecas do motor de passo, que permite maior precisão aos movimentos do veículo, importante para o tipo de rotina que se deseja executar, com capacidade de comandar rotações diferentes em cada roda.

Cogitou-se, também, utilizar um automóvel comercial no projeto. Entretanto, essa ideia não é desenvolvida aqui devido a dificuldades de fixação das máquinas elétricas acionadoras dos sistemas de direção, aceleração, frenagem e câmbio sem provocar modificações permanentes no veículo, além da necessidade de ter disponível um modelo com câmbio automático - pois sincronizar mecanismos de acionamento de embreagem e de acelerador seria uma tarefa exaustiva e inútil ao propósito deste trabalho.

### 3 ESCOLHA PRELIMINAR DAS PEÇAS COMPONENTES DO SISTEMA

Este capítulo apresenta os equipamentos e a linguagem de programação utilizados na elaboração do projeto básico, fornecendo uma ideia geral de como funciona o sistema.

#### 3.1 MICROCONTROLADOR E SUA LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO

A escolha recai em um microcontrolador da família 8051 por experiência do autor, por já possuir familiaridade com o componente, seu método de programação, gravação e operação e por sua em linguagem ser *Assembly*, de baixo nível, dando maiores poderes ao programador. O circuito integrado escolhido é o AT89S52, microcontrolador Atmel 8051 com 8KB de memória *flash* interna programável, facilmente encontrado nas lojas locais de comércio de componentes eletrônicos.

Seria possível, também, utilizar outros microcontroladores 8051 de custo reduzido, cuja desprogramação necessária à gravação de novo código é, contudo, complexa ou inviável. Para projeto, entretanto, julga-se mais adequada uma versão com memória flash, que permite reprogramação através de um sistema bastante acessível, a ser descrito posteriormente.

#### 3.2 MOTOR DE PASSO

Escolhem-se motores com passo pequeno, pois, por acoplamento direto à roda, um motor com passo grande resultaria em menor controle do giro das rodas, movimento pouco suave da plataforma e baixo conjugado. Como a intenção era utilizar apenas uma fonte de alimentação (no projeto final, esse objetivo não é mantido), seria ideal escolher motores com tensão de alimentação compatível com a faixa de operação de 4V a 5,5V descrita no *datasheet* do microcontrolador AT89S52.

O modelo escolhido é o motor de passo bipolar 17 PM-H302, encontrado em loja de sucata, que possui tensão de alimentação de 3,5V e passo de 1,8°, ou seja, realiza duzentos passos por volta. Outras características que não foram, inicialmente, consideradas, são: corrente de 1,00A, resistência de 3,50Ω e conjugado de 1800g/cm. Operar o motor a tensões pouco maiores que a indicada (3,5V) não o traz danos, nesse caso, apenas desperdiça energia. Essa não idealidade foi relevada frente às demais características do motor que indicaram sua adequação aos objetivos.

### 3.3 ACIONAMENTO (*DRIVER*)

Se fosse possível, os motores seriam acionados diretamente pelo microcontrolador, alimentando suas bobinas em sequência e sentido determinado através do envio dos valores lógicos certos 1 e 0 para cada saída do 8051. Como cada motor tem duas bobinas, são necessárias quatro saídas para controlar completamente a operação do motor de passo. Sendo assim, e considerando que cada uma das quatro portas do 8051 tem oito saídas, é possível controlar todos os motores com apenas duas portas.

As portas do microcontrolador em questão, porém, permitem, para cada pino, corrente máxima da ordem de miliampères ou centenas de microampères, para corrente de entrada e de saída, respectivamente. Por tal razão, torna-se preciso o uso de *driver* para isolar a saída lógica do microcontrolador da entrada de potência dos motores.

O circuito integrado escolhido é o L293D, *driver push-pull* de quatro canais com diodos internos. Como são necessárias quatro saídas do 8051 por motor, e cada L293D tem quatro canais, é preciso um desses circuitos por motor.

Sua corrente máxima, de acordo com o *datasheet*, é de 600mA, com corrente de pico máxima de 1,2A. Sendo assim, tal circuito poderia ser inadequado ao acionamento dos

motores. Ensaaios com osciloscópio, porém, demonstram que o valor de pico da corrente circulante por uma bobina situa-se em torno de 250mA para condições de frequência de acionamento abaixo da qual não se pretendia operar - por volta de 25 passos por segundo, ou 7,5rpm -, ou seja, menos da metade dos 600mA permitidos como valor constante pelo *driver*.

### **3.4 SENSOR**

Sistemas de medição de distância populares para veículos utilizam ultrassom, princípio em que se baseia este projeto. Porém, o protótipo montado possui dimensões reduzidas em relação a um veículo de porte real, necessitando, dessa forma, de grande precisão de medida para distâncias pequenas, o que não há em módulos de estacionamento comerciais, que marcam distâncias a partir de valores em torno de 40cm.

Sendo assim, experimentou-se também um sensor infravermelho, que, por não apresentar resposta satisfatoriamente previsível, não é o sistema definitivo deste projeto, mas tem seu estudo demonstrado.

### **3.5 INTERFACE DE COMANDO DO USUÁRIO**

Cogitou-se utilizar, como meio de comando do veículo para o usuário, um controle remoto alimentado por outro microcontrolador, sendo a comunicação executada através de um módulo transmissor-receptor. Por simplificação, porém, é definido um sistema com fios, utilizando a porta zero do microcontrolador. Esse sistema é detalhado posteriormente no desenvolvimento do trabalho.

## 4 FUNCIONAMENTO DO MOTOR BIPOLAR E COMANDO PELO MICROCONTROLADOR 8051

Este capítulo explica o funcionamento do motor de passo bipolar e indica o *hardware* e o *software* necessários para comandá-lo através do microcontrolador 8051.

### 4.1 ESTRUTURA E ACIONAMENTO DO MOTOR BIPOLAR

O motor de passo bipolar magnético a ímãs permanentes, conforme Figura 1, possui ímãs fixos em seu rotor, e bobinas que devem ser alimentadas alternadamente entre si e em relação a suas polaridades para produzir giro.

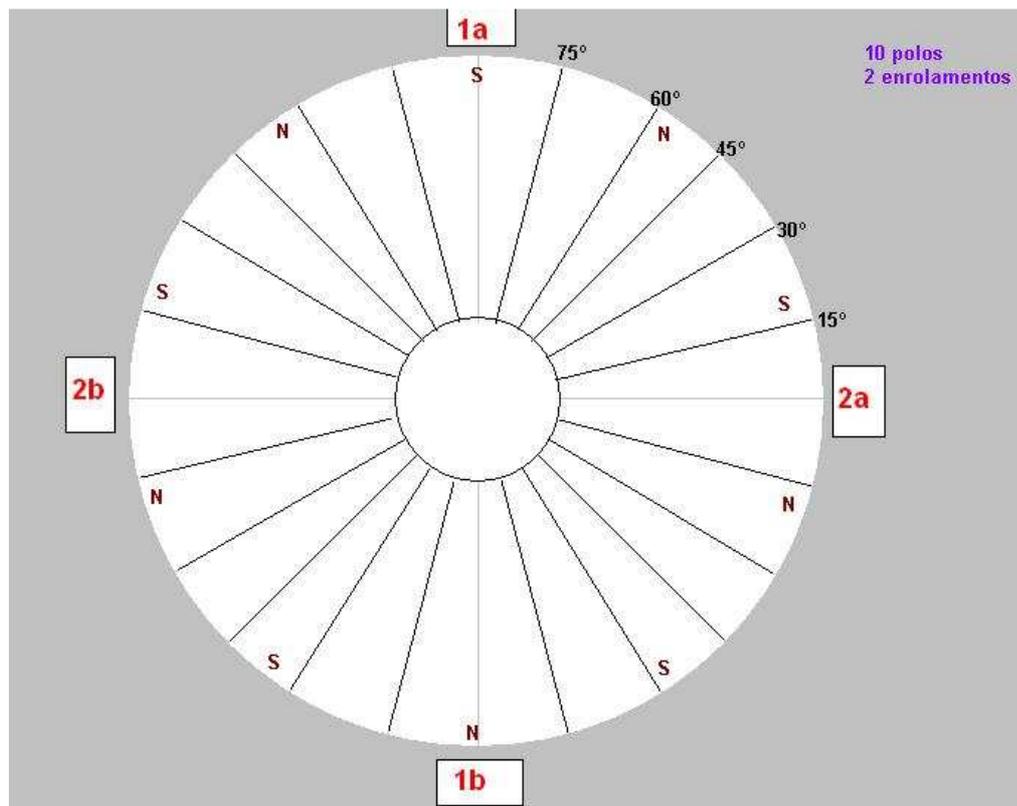


Figura 1 Motor de passo bipolar magnético permanente com 10 polos e 2 enrolamentos.

Os termos 1a, 1b, 2a e 2b representam, concomitantemente, os terminais das bobinas e os polos magnéticos gerados pela circulação de corrente nelas.

Assumindo que a forma construtiva do motor ilustrado gera, ao alimentar a bobina 1 com tensão positiva no sentido de 1a para 1b, um polo norte em 1a e um sul em 1b, assim como para a bobina 2, percebe-se que, na posição em que o rotor está nessa Figura, a sequência de alimentação necessária aos giros horário e anti-horário é a descrita pela Tabela 1.

**Tabela 1 Sequência de alimentação das bobinas do motor da Figura 1 para giro horário e anti-horário**

Terminal	Tensão (V)							
	Sentido horário				Sentido anti-horário			
1a	0	0	0	3,5	0	0	0	3,5
1b	0	3,5	0	0	0	3,5	0	0
2a	3,5	0	0	0	0	0	3,5	0
2b	0	0	3,5	0	3,5	0	0	0

Repetindo os quatro passos necessários a um ciclo horário ou anti-horário, define-se o giro do motor. Como a máquina elétrica utilizada precisa de duzentos passos por volta, mostram-se necessários cinquenta ciclos de alimentação para completar uma volta.

## 4.2 COMANDO ATRAVÉS DO MICROCONTROLADOR 8051

O microcontrolador 8051 possui quatro portas correspondentes a oito entradas/saídas paralelas cada (oito *bits*, ou um *byte*), conforme pinagem constante da Figura 2, extraída do *datasheet* do fabricante. O acionamento de cada motor de passo (quatro fios) pode, então, ser feito através de metade das saídas de uma das portas.

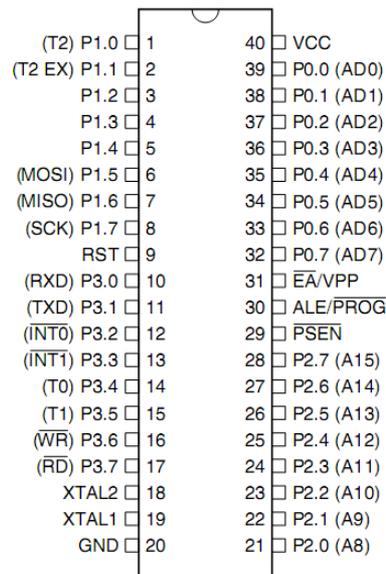


Figura 2 Pinagem do microcontrolador 8051 utilizado

O esquema de comando utilizado consiste em definir a porta P2 como controle dos motores do lado direito da plataforma, usando os *bits* P2.0 a P2.3 para a roda traseira, e os *bits* P2.4 a P2.7 para a roda dianteira, acionando os terminais 1a, 1b, 2a e 2b de cada motor na sequência do *bit* menos significativo (P2.0 e P2.4) para o mais significativo (P2.3 e P2.7). Analogamente, acionar o motor dianteiro esquerdo pelos *bits* P1.7 a P1.4, e o traseiro esquerdo através dos *bits* P1.3 a P1.0. Esse sistema está organizado na Tabela 2.

**Tabela 2 Definição da saída do 8051 que aciona cada terminal dos motores**

Terminal	Motor	Bit	Motor	Bit	Motor	Bit	Motor	Bit
1a	1 - direito traseiro	P2.3	2 - direito dianteiro	P2.7	3 - esquerdo dianteiro	P1.3	4 - esquerdo traseiro	P1.7
1b		P2.2		P2.6		P1.2		P1.6
2a		P2.1		P2.5		P1.1		P1.5
2b		P2.0		P2.4		P1.0		P1.4

### 4.3 ALGORITMO UTILIZADO PARA COMANDOS SIMPLES

O código utilizado para dar movimento à plataforma consiste, basicamente, em setar todos os *bits* das portas de acionamento dos motores em valor lógico baixo, exceto o *bit* correspondente ao terminal de cada motor em que se deseja ter um polo norte. Posteriormente, deve-se executar uma rotina temporizadora, que define a frequência com que os passos são dados e, portanto, a velocidade da plataforma. Definem-se os quatro passos fundamentais, repetindo a rotina descrita para os *bits* respectivos à posição no ciclo, conforme tabelas 1 e 2, e repete-se o ciclo para produzir movimento pelo tempo desejado.

A fim de fazer curvas, acionam-se as rodas da direita para produzir movimento à frente ou para trás na plataforma, e as rodas da esquerda de forma a girarem para trás ou à frente, respectivamente. Assim, cria-se, idealmente, um eixo no centro do veículo, sobre o qual ele rotaciona.

### 4.4 INCERTEZA DE POSIÇÃO INICIAL E ERRO DE SENTIDO DE GIRO

Ao iniciar a operação de movimento dos motores da plataforma, não se sabe a posição do rotor em relação aos polos gerados pelas bobinas. A Figura 1 caracteriza a situação em que se tem um polo sul alinhado com o posição 1a. Para produzir giro horário, nesse caso, de acordo com a Tabela 1, deve-se alimentar com tensão positiva, em sequência, o terminal 2a, o 1b, o 2b e o 1a.

Caso a posição inicial tenha um polo sul alinhado ao elemento 2a em vez de ao 1a, a máquina não se move no primeiro passo, passando a executar o giro a partir do segundo acionamento.

Semelhantemente, para posição inicial com polo sul alinhado ao 1b, o primeiro passo move a máquina no sentido oposto ao desejado, sendo que o segundo já a move no modo

correto. Da mesma forma, para uma posição inicial com um polo sul alinhado ao elemento 2b, a formação de um polo norte no 2a tende a repelir o norte magnético que está alinhado com ele, fazendo o motor girar, com igual probabilidade, dois passos horários ou anti-horários.

Assim, verifica-se que há um erro máximo de três passos (equivalente a  $5,4^\circ$ ) na determinação do giro total da máquina. Ou seja, no pior caso, há dois passos referentes ao primeiro acionamento executados no sentido oposto ao alimentar o terminal 2a com tensão positiva, e dois passos no sentido correto nos dois acionamentos seguintes, voltando o rotor a sua posição inicial, e totalizando, portanto, o equivalente a três acionamentos perdidos.

Essa incerteza é de pouca importância na maioria das rotinas de operação da plataforma, pois o deslocamento é feito por grande quantidade de passos até encontrar uma vaga para, então, estacionar, operação que requer maior precisão na contagem dos passos.

## 5 GRAVAÇÃO DO CÓDIGO NO MICROCONTROLADOR

O código é criado e exportado para hexadecimal através do programa Keil Uvision. Para gravá-lo no microcontrolador 8051, é utilizado o programa AEC\_ISP, versão 3.0, produzido pela AEC Electronics Limited, e o circuito feito de acordo com orientação de documento criado pelo professor Paulo Flores, do Centro Tecnológico Estadual Parobé (Rio Grande do Sul). Seu esquemático é apresentado na Figura 3.

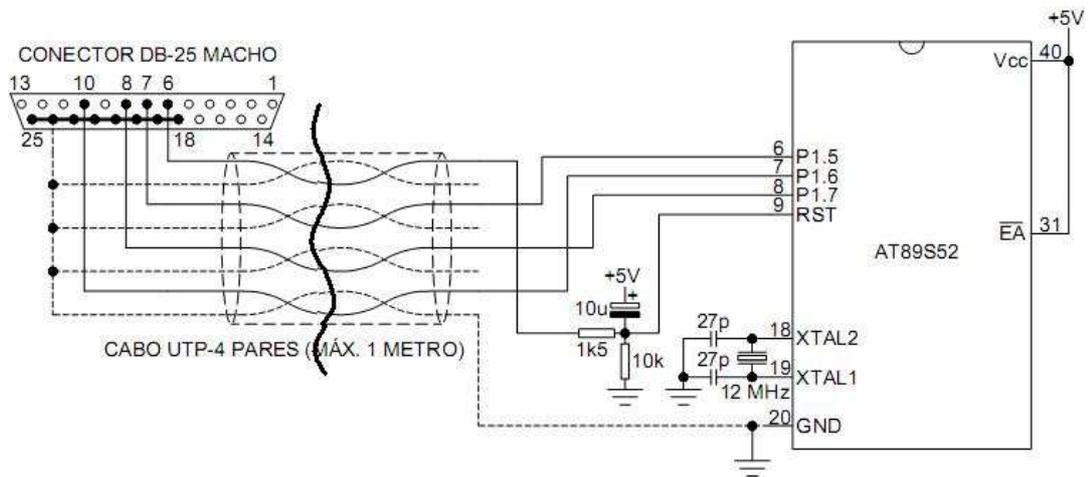


Figura 3 Circuito para gravação do 8051

Como se prevê necessária a realização de repetidas gravações, a fim de corrigir, ampliar ou simplificar o código para testes, faz-se uma placa gravadora com soquete para o microcontrolador, apresentada na Figura 4.

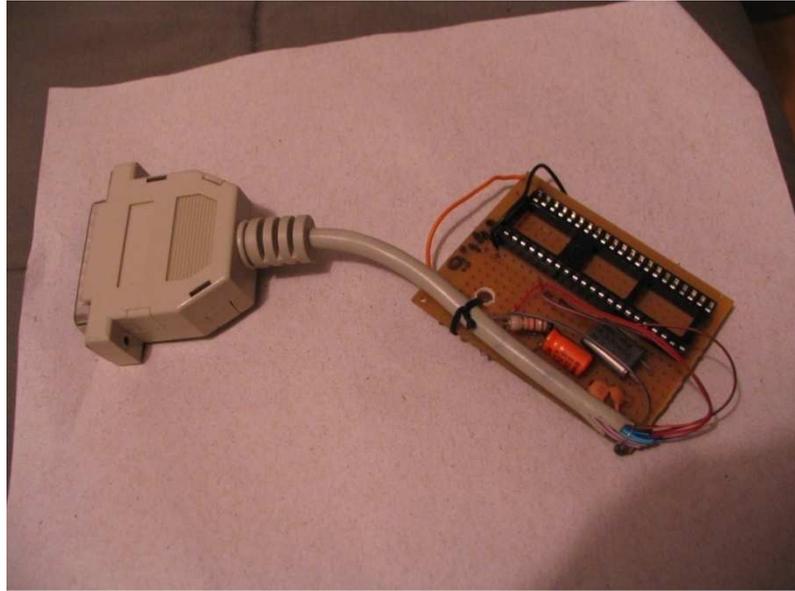


Figura 4 Interface de gravação do 8051

## 6 SENSORES

Por ser bastante preciso, ter custo razoavelmente baixo e estar presente na maioria dos equipamentos de auxílio ao estacionamento existentes no mercado, o sensor utilizado baseia-se na emissão e captação de ondas de ultrassom. Abaixo, são apresentados estudos feitos acerca desse sistema e, também, do uso de sensor infravermelho, não utilizado no projeto final.

### 6.1 SENSOR ULTRASSOM

Adquire-se um sistema de auxílio a estacionamento comercial veicular de baixo custo, cujo modelo não é indicado na caixa nem no manual, para utilizar seus sensores. O módulo com os integrados é descartado após verificação do funcionamento, usando-se apenas os transdutores. As especificações do módulo são as seguintes:

- Tensão de alimentação: DC12V
- Tensão de trabalho: DC9V-18V
- Corrente de alimentação: 20mA-200mA
- Distância de captação: 0,3-1,8m
- Frequência do ultrassom: 40kHz

Ressalta-se que, no circuito original, cada sensor é utilizado como emissor do sinal de ultrassom também, sendo que, neste projeto, a operação deles é unidirecional, ou seja, cada equipamento é ou receptor ou emissor do sinal de ultrassom, não tendo dupla funcionalidade.

### 6.1.1 Medições e filtragem

O princípio de funcionamento da maioria dos módulos de estacionamento comerciais baseia-se na emissão de um trem de pulsos de frequência bastante específica que, após um tempo medido, é recebido pelo mesmo piezoelétrico responsável pelo envio do sinal. Assim, de acordo com a velocidade de propagação de ondas mecânicas no ar, faz-se o cálculo da distância entre sensor e obstáculo.

Para verificar esse princípio e as demais características do sensor e do módulo, faz-se a alimentação de todo o conjunto e efetuam-se diversas medições.

As Figuras 5 e 6 mostram o sinal em um sensor (operando como emissor), com escala de tensão de 20V por divisão para ambas e escala de tempo de 0,1ms/div para a primeira e 0,2ms/div para a segunda.

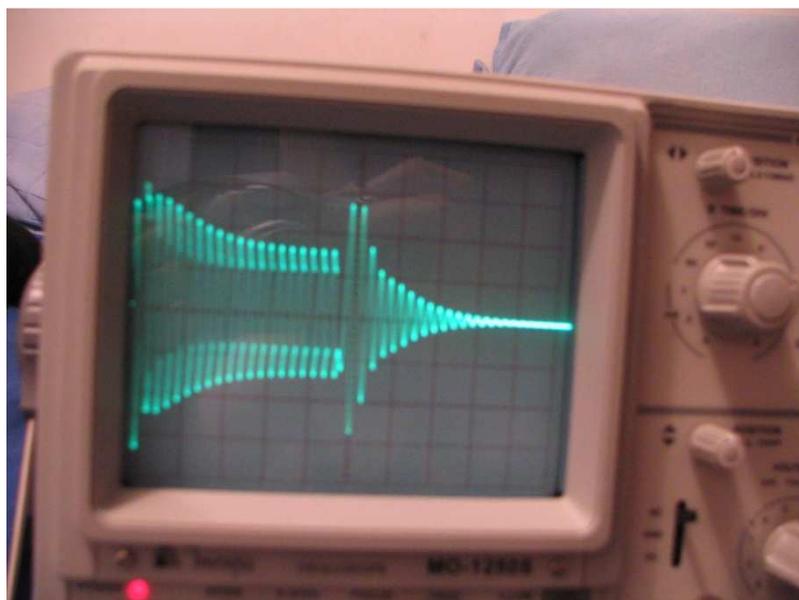


Figura 5 Sinal no sensor

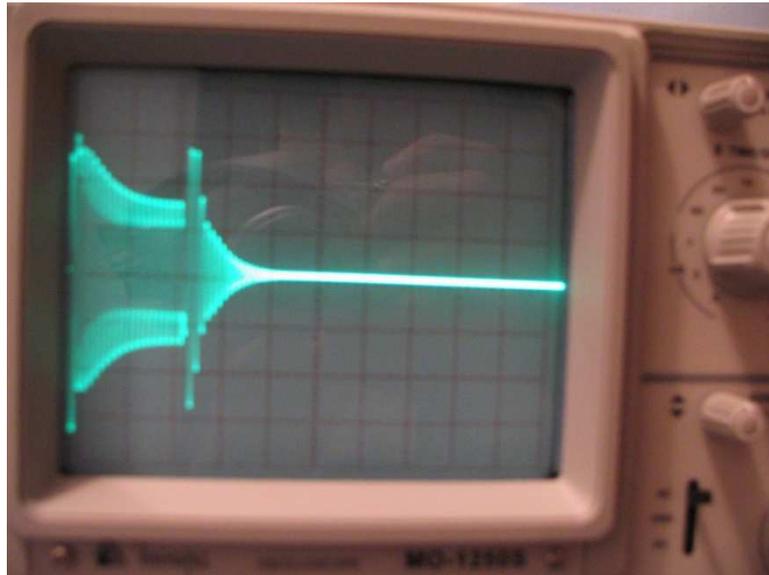


Figura 6 Sinal no sensor com outra escala de tempo

Medindo o sensor desconectado do circuito, sem qualquer ligação exceto ao osciloscópio, verifica-se um ruído de 60Hz com tensão de pico de 2V, conforme Figura 7.

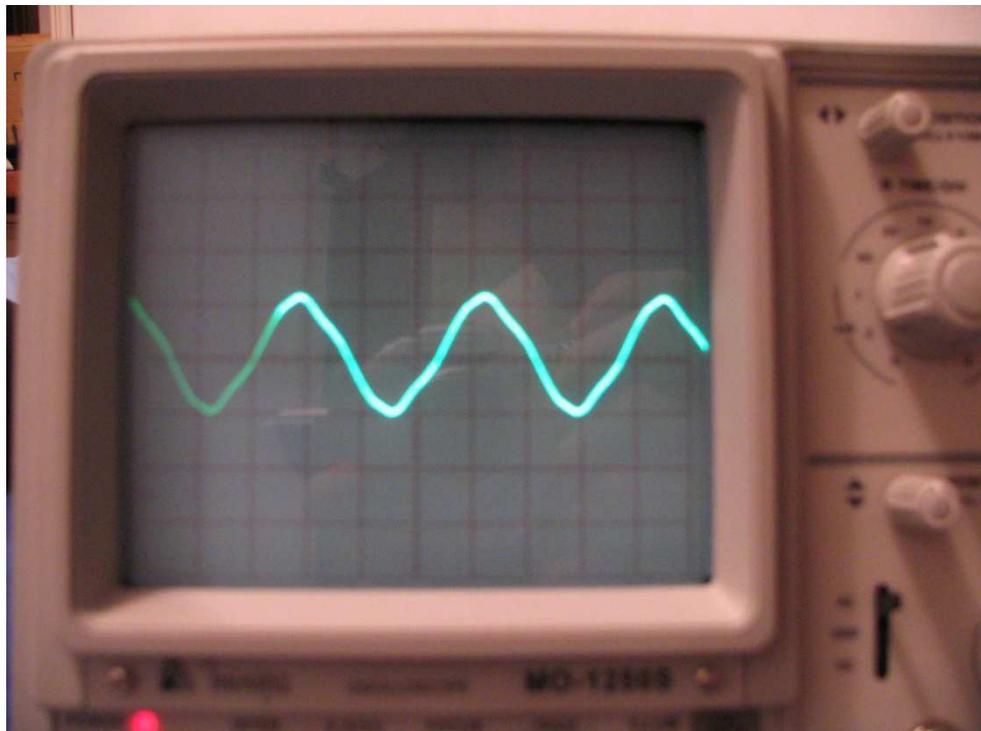


Figura 7 Ruído de 60Hz no sensor, escalas de 2V/div e 5ms/div

Conecta-se ao sensor, então, um filtro passa-altas simples, conforme Figura 8, com frequência de corte,  $f_c$ , de:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 4700 \times 2,2 \times 10^{-9}} = 15,4kHz$$

Assim, consegue-se grande atenuação para frequência de 60Hz, sem gerar muita perda no sinal de 40kHz.

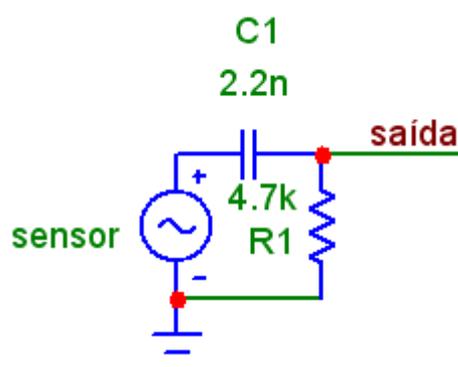


Figura 8 Sensor conectado a um filtro passa-altas com frequência de corte de 15,4kHz

O Diagrama de Bode do filtro é apresentado na Figura 9. Percebe-se uma atenuação de 0,6dB no sinal de interesse, que corresponde a um resultado de 93% do sinal original, e uma atenuação de 48dB para 60Hz, correspondendo a um resultado de 0,4% do ruído de baixa frequência anterior.

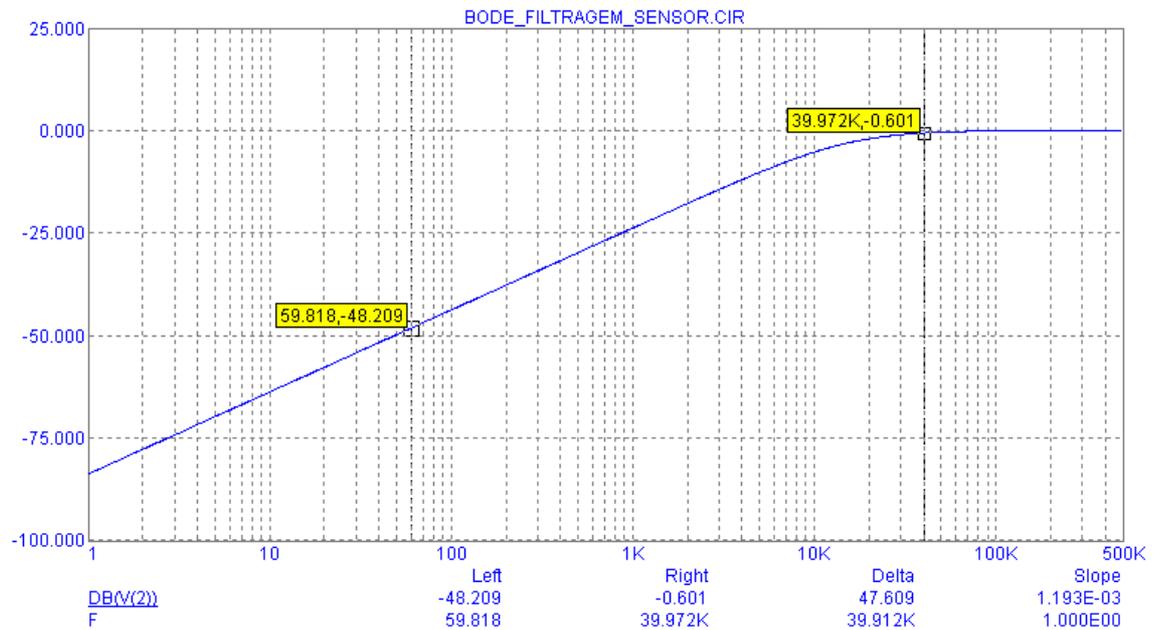


Figura 9 Diagrama de Bode do filtro da Figura 8

Aproximando um sensor desconectado a um dos sensores/emissores do sistema completo sem o filtro, é possível verificar uma onda predominante de 60Hz com um pequeno sinal de 40kHz somado.

Com o uso do filtro, verifica-se a resposta apresentada na Figura 10, para sensor e emissor apontados na direção de uma caixa (obstáculo) localizada a 4cm deles. A escala está em 20mV/div.

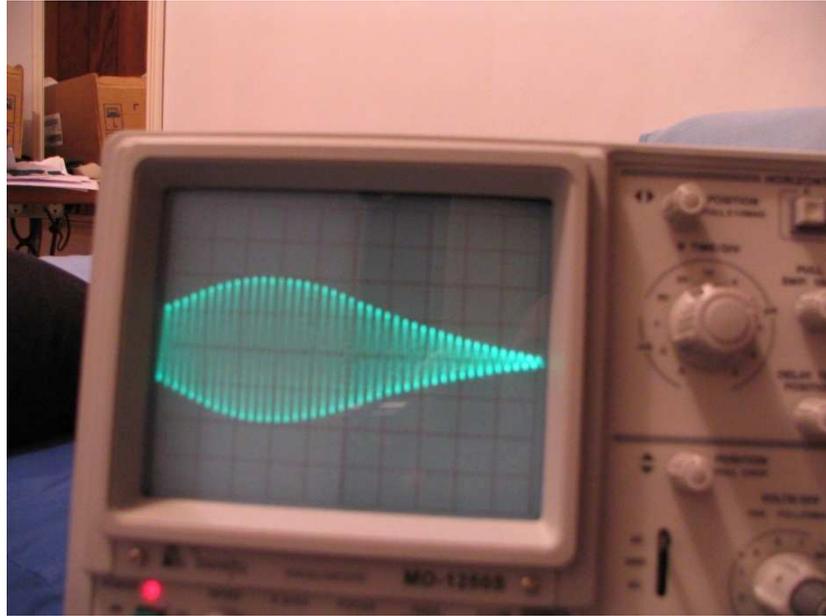


Figura 10 Resposta do sensor para obstáculo a 4cm

A Figura 11 mostra a resposta para obstáculo a 7cm. A escala de tensão está mantida; a de tempo, porém, é diferente. Percebe-se uma queda esperada na amplitude do sinal.

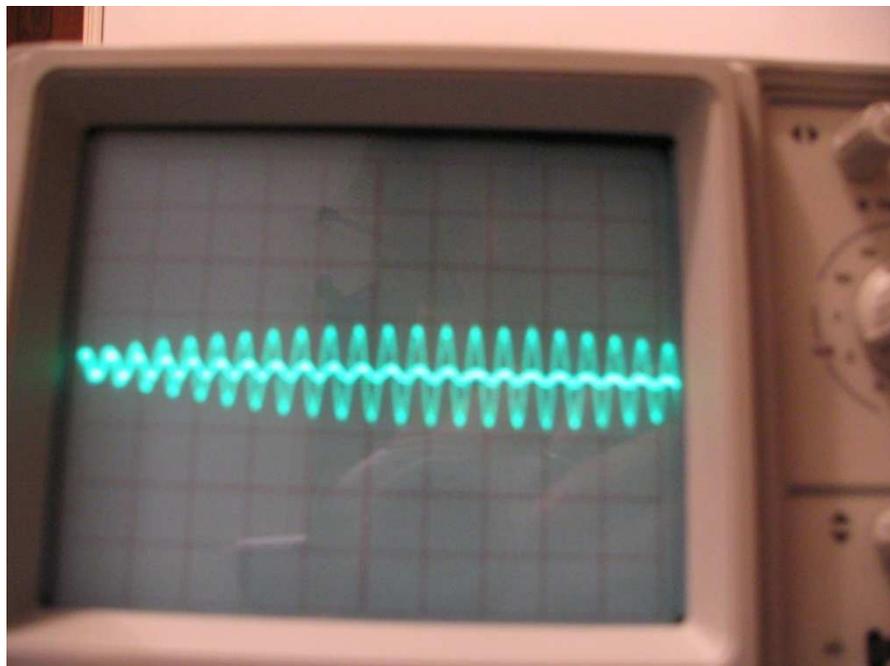


Figura 11 Resposta do sensor para obstáculo a 7cm com diferente escala de tempo

### 6.1.2 Resposta do sensor a variadas frequência e formas de onda

A fim de verificar a resposta do sensor/emissor a variadas frequências e formas de onda, faz-se a alimentação através de um gerador de sinais.

As Figuras 12, 13 e 14 apresentam, respectivamente, a resposta para sinal senoidal, triangular e retangular no gerador de funções. Verifica-se que a onda triangular resulta em uma tensão levemente menor, ainda bastante senoidal, e a retangular em tensão maior, com pequenos *spikes*.

Isso já demonstra a seletividade em frequência do sensor/emissor, que é um filtro passa-faixas com alto fator de qualidade, pois as harmônicas de maior ordem das ondas triangular e retangular são eliminadas.

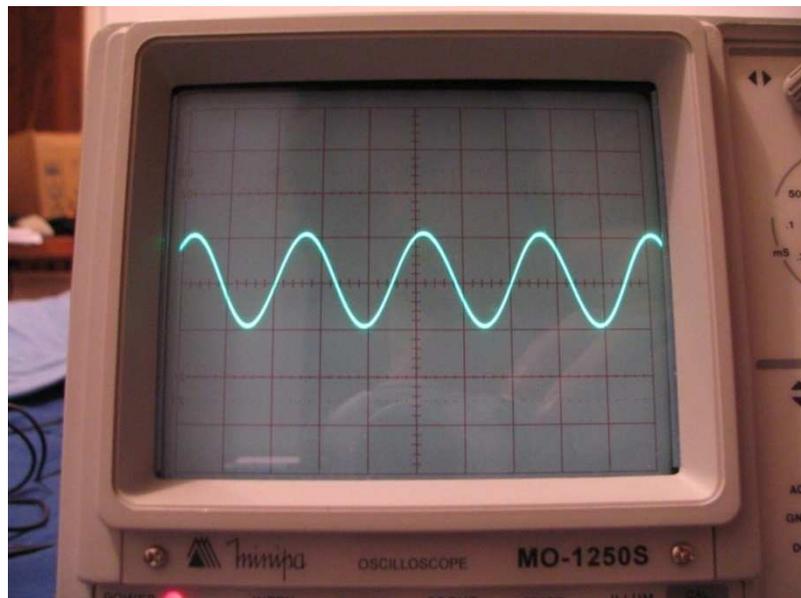


Figura 12 Saída filtrada do sensor para emissor alimentado por senoide

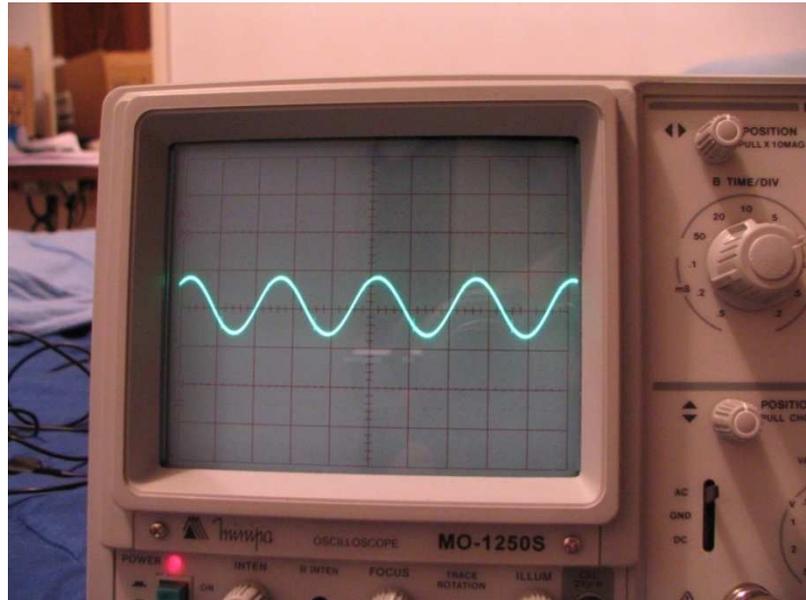


Figura 13 Saída filtrada do sensor para emissor alimentado por onda triangular

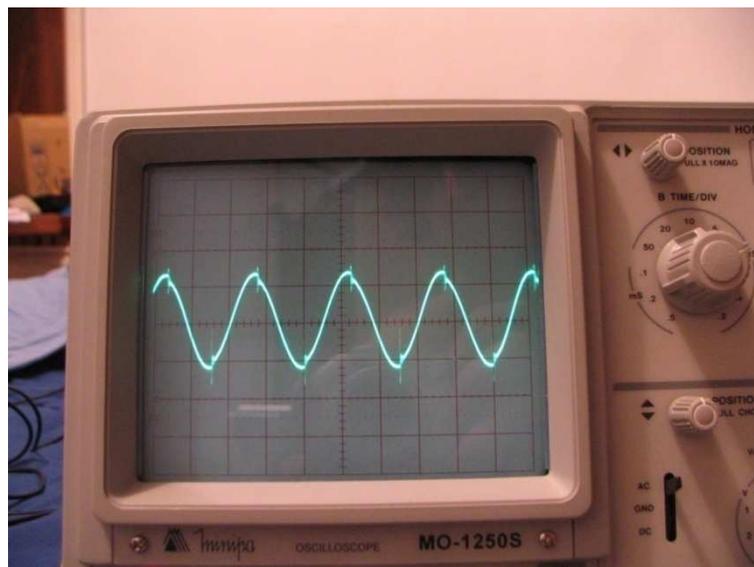


Figura 14 Saída filtrada do sensor para emissor alimentado por onda retangular

Para variação da frequência, constata-se que, a 38kHz, bem como a 43kHz, a tensão cai a um quarto do valor obtido a 40kHz. A 41kHz, a tensão fica em nível parecido àquela referente a 40kHz. Nesse sentido, percebe-se que a operação ideal é em torno de 40 a 41kHz, demonstrando, novamente, o alto fator de qualidade do filtro equivalente.

### 6.1.3 Resposta do sensor à variação da distância

Alterando-se a distância do sensor ao emissor ou ao obstáculo que reflete a onda, verifica-se que a amplitude medida, apesar de, na média, aumentar com maiores proximidades devido à menor dispersão da onda mecânica, a cada quarto de comprimento de onda alterna entre amplitude máxima e amplitude praticamente nula. Esse fenômeno ilustra a interferência da onda recebida pelo sensor com a refletida nele, cuja amplitude resultante é descrita pela equação abaixo, sendo  $A$  a amplitude da onda resultante da interferência,  $A'$  a amplitude da original e  $x$  a distância do sensor ao objeto que a ele direciona a onda, ou seja, o obstáculo.

$$A = 2 A' \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right)$$

A distância entre um valor de máximo e de mínimo, conforme equação acima, é, portanto, de  $\lambda/4$ , que resulta em 2,125mm.

## 6.2 ALTERNATIVA DE PROJETO: SENSOR INFRAVERMELHO

A fim de reduzir custos, é possível utilizar um sensor de onda eletromagnética. A grande maioria dos sensores de distâncias de baixo custo baseia-se em irradiação infravermelha, consistindo de um fotodiodo infravermelho alinhado a um diodo emissor de luz (LED). Assim, obtém-se um nível de tensão com certa proporcionalidade em função da distância entre o conjunto emissor-receptor e o obstáculo, pois, quanto mais distante do objeto em que a luz se reflete está, menos luz o sensor recebe, gerando tensões diferentes que podem ser interpretadas como distâncias diferentes.

As Figuras 15 e 16 apresentam o módulo sensor-emissor implementado para verificar a precisão do sistema baseado em infravermelho.

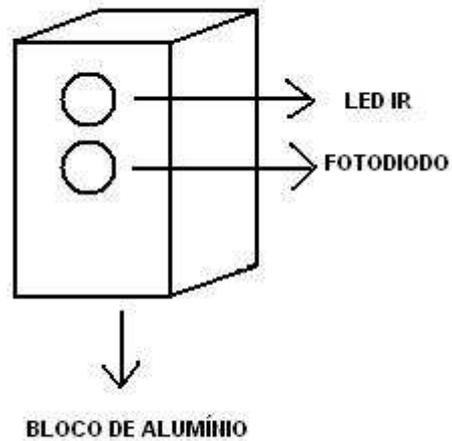


Figura 15 Desenho do módulo sensor-emissor

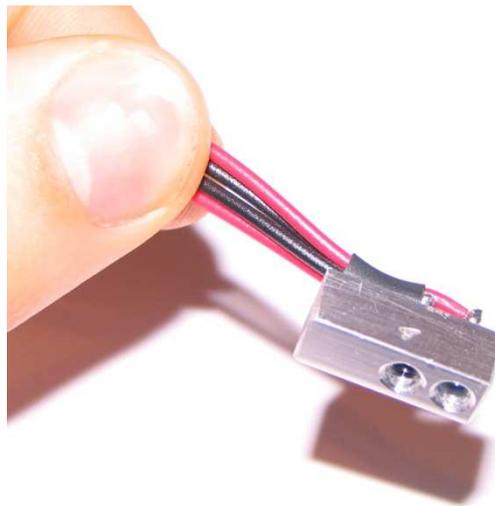


Figura 16 Módulo sensor-emissor

A Figura 17 mostra uma maneira de fazer a conexão do fotodiodo, utilizando um transistor FET para reduzir o efeito da não linearidade da saída em função da distância ao obstáculo. Quando a tensão na saída aumenta, a tensão na porta do transistor de efeito de campo também aumenta, gerando condução do dreno para a fonte e diminuindo, portanto, a

corrente no transistor de junção bipolar, reduzindo a corrente no potenciômetro e, dessa forma, reduzindo a tensão da saída.

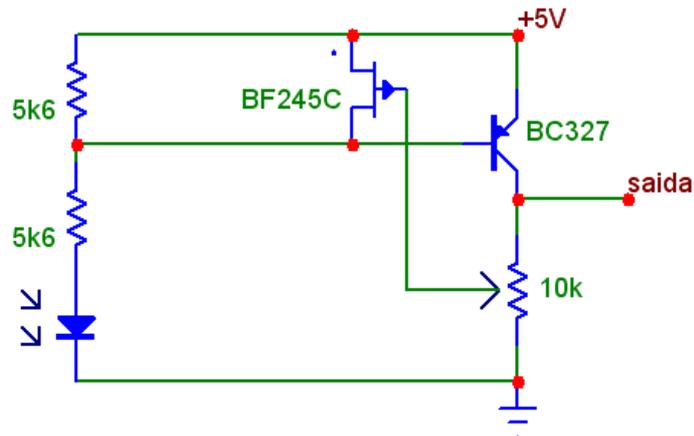


Figura 17 Esquema de ligação do fotodiodo

Como a tensão de saída do circuito acima varia em função das condições de iluminação do ambiente, é preciso compará-la a uma referência, que é a própria saída com o emissor desligado.

A Figura 18 mostra um circuito a ser comandado pelo microcontrolador a fim de ligar e desligar o LED infravermelho e, assim, permitir tal comparação. O valor do resistor é calculado de acordo com o ganho do transistor escolhido (em torno de 200) e uma corrente de 50mA, conforme especificação do LED utilizado.

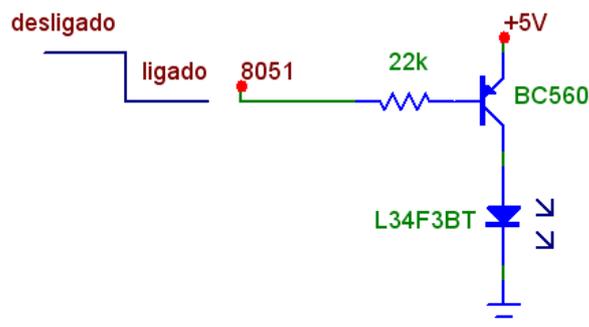


Figura 18 Circuito de acionamento do LED infravermelho

O resultado experimental do circuito sensor apresenta muita imprevisibilidade. A variação da saída em função da distância aumenta consideravelmente com a aproximação. Além disso, para determinada iluminação ambiente, quando a radiação infravermelha é bastante, não se consegue perceber diferença entre as saídas com o LED ligado e desligado, resultando em uma inviabilidade de leitura da distância.

Para superfícies com reflexibilidades variadas, as medições ficam, também, completamente comprometidas, limitando bastante a aplicabilidade do circuito.

Pelos motivos citados, opta-se por trabalhar com ultrassom, que é, de fato, o sistema mais utilizado em circuitos de estacionamento veicular e várias outras aplicações de medição de distância. Observa-se, porém, que, no presente trabalho, as distâncias medidas são bem menores que aquelas referentes a sistemas para veículos reais.

### **6.2.1 Interfaceamento do sistema infravermelho com o microcontrolador**

Para utilização em projetos diferentes, em que a resposta analógica do circuito apresentado é, eventualmente, satisfatória, cita-se, a seguir, ideia para a continuidade da implementação do sistema de medição por infravermelho:

É preciso interfacear com o microcontrolador o sistema desenvolvido. Assim, projeta-se um circuito para converter para digital a saída analógica de tensão do fotodiodo. Uma maneira de realizar isso é passar a saída do circuito do sensor por um sistema de modulação por amplitude ou por largura de pulso, utilizando o circuito integrado LM555 com a saída analógica do sistema sensor como controle de tensão.

Alternativamente, é possível utilizar um conversor analógico-digital. Porém, tal opção demanda o uso de muitas entradas do microcontrolador, o que pode ser inconveniente.

## 7 ACIONAMENTO DO EMISSOR DE ULTRASSOM

Conforme verificado, é possível alimentar, com boa resposta no sensor, o emissor de ultrassom com uma frequência entre 40 e 41kHz com uma onda retangular, mais fácil de ser obtida que uma onda senoidal de igual frequência.

Utilizando o circuito LM555 na configuração astável, conforme Figura 19, retirada do *datasheet* do fabricante, e com um potenciômetro no lugar de  $R_B$ , ajusta-se um trem de pulsos para a frequência desejada.

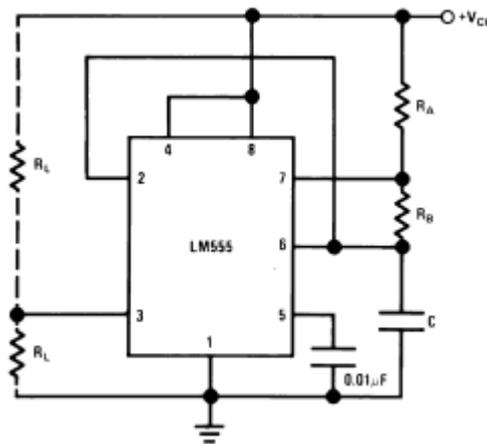


Figura 19 LM555 em configuração astável

Como a tensão de pico com que o emissor opera é da ordem de dezenas de Volts (chegando a mais de 100V pico-a-pico), é necessário alimentá-lo com tensão maior que 5V para ter resultado satisfatório na captação do sinal.

Projeta-se, então, para teste, o circuito da Figura 20, que não apresenta aumento real na tensão do emissor. O transformador utilizado possui núcleo de ferrite, pois transformadores com núcleo de ferro geram perdas imensas a partir de 400Hz, não sendo aplicáveis neste caso.

Para uma relação de transformação de 1:10, por exemplo, verifica-se uma impedância equivalente 100 vezes maior no secundário. Conclui-se, então, que a resistência de saída do

gerador de funções ( $50\Omega$ ) e a do LM555 não permitem o adequado funcionamento do sistema projetado, dado que há grande limitação de corrente, e pouquíssimo da tensão alimenta de fato o emissor.

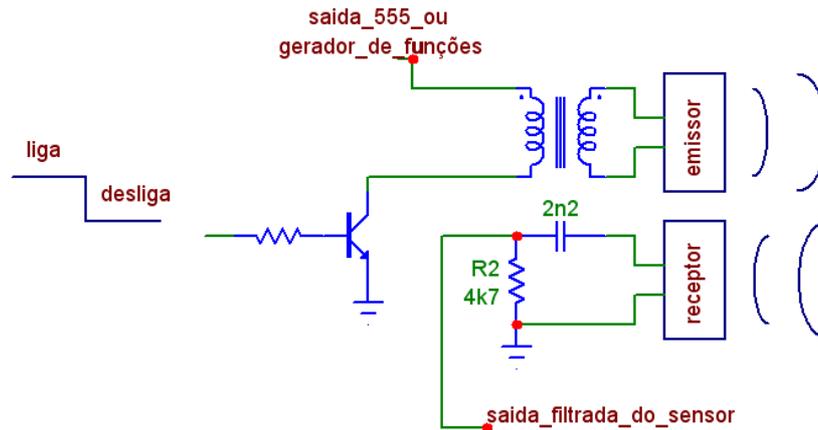


Figura 20 Circuito de teste para aumento da tensão do emissor

Decide-se, por fim, alimentar o LM555 com duas baterias de 9V em série, totalizando 18V, tensão máxima permitida pelo *datasheet* para esse circuito integrado. Alternativamente, é possível utilizar um conversor de tensão a fim de elevar seu nível sem precisar adição de baterias.

O uso do LM555 em vez do gerador de funções aumenta o ruído no circuito, piorando um pouco a saída do sensor, mantendo-a, ainda, porém, distante de um nível intolerável.

## 7.1 CONTROLE PELO 8051

Através do circuito apresentado na Figura 21, é possível comandar o emissor de ultrassom através de uma saída do microcontrolador. Quando essa saída está em nível lógico

alto, o transistor fica em corte, não permitindo circulação de corrente pelo emissor. Quando o nível é baixo, contudo, o transistor conduz, e o emissor é acionado.

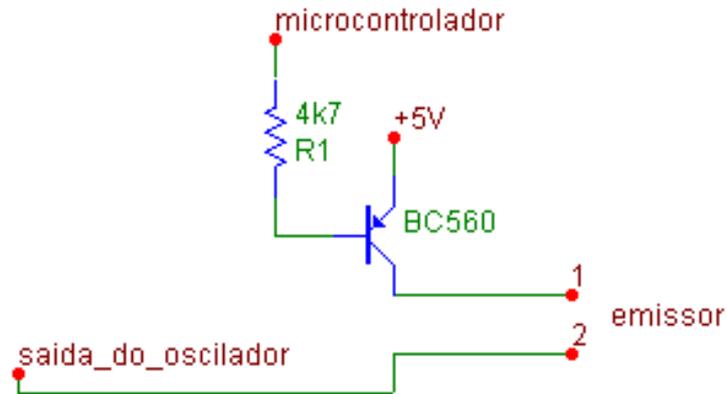


Figura 21 Circuito acionador do emissor de ultrassom

O teste dessa estrutura faz-se conectando o pino do resistor a 5V (mesmo do emissor do BC560) e ao terra, com o terminal 2 do emissor ligado ao gerador de funções. Conforme a Figura 22, que apresenta, ao conectar o resistor ao terra, a medição do gerador de funções em um canal e a medição entre os terminais do emissor em outro, a amplitude do sinal é completamente transmitida ao emissor (somada a um nível DC de 5V). Caso o resistor seja conectado a 5V, a tensão alternada medida no emissor anula-se. Para alimentação por onda retangular, o resultado de operação do transistor é o mesmo.

A corrente medida no emissor para onda retangular de 18V pico-a-pico tem valor em torno de 15mA, o que baterias comuns comportam facilmente.

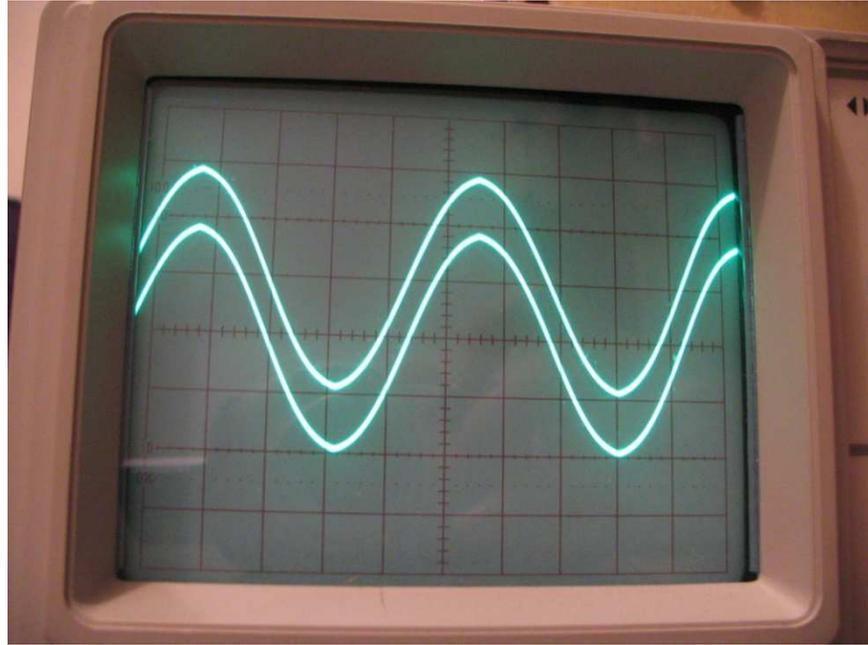


Figura 22 Sinal no gerador de funções (senoide inferior) e no emissor (senoide superior) em escalas iguais e ajustes de terra sobrepostos.

## 8 CIRCUITO COMPARADOR

O sinal obtido pelo sensor precisa ser tratado para assumir forma digital (níveis lógicos alto e baixo), de forma a permitir comunicação com o microcontrolador.

Após passar por um filtro passa-altas, conforme capítulo 6, o sinal ainda apresenta algum ruído. Assim, para se determinar a chegada da onda de ultrassom ao sensor, é preciso comparar o nível de tensão obtido na saída do filtro a um valor de referência maior que o ruído para que, então, gerem-se pulsos de nível lógico alto na saída do comparador quando houver captação de onda de ultrassom pelo sensor, e mantenha-se nível lógico baixo em caso de não captação. O esquema é apresentado na Figura 23.

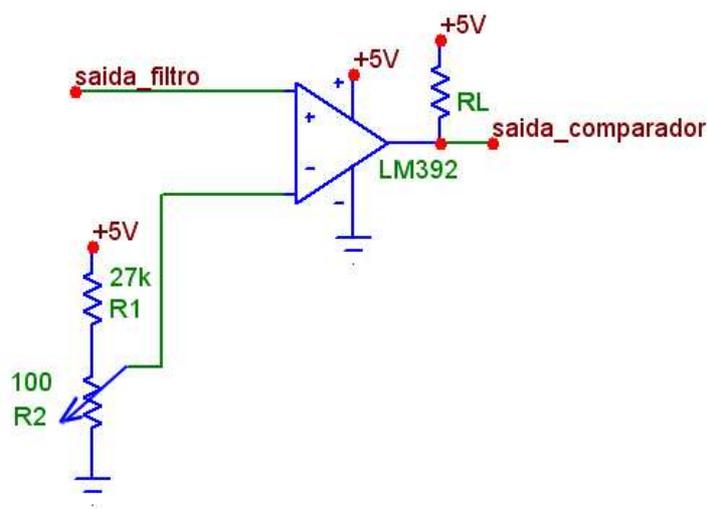


Figura 23 Circuito comparador

Como o LM392 tem saída em coletor aberto, é necessário acrescentar à saída um resistor  $R_L$  de *pull-up* de valor adequado conectado à alimentação correspondente ao nível lógico alto, 5V. Escolhendo-se  $R_L$  de  $27k\Omega$ , percebe-se uma subida demasiadamente lenta do sinal, devido à capacitância de saída do circuito comparador e à baixa corrente permitida pelo resistor  $R_L$ . Substituindo-o por um resistor de  $2,7k\Omega$ , o desempenho apresentado passa a ser bastante satisfatório.

## 8.1 CONEXÃO DA SAÍDA DO COMPARADOR À ENTRADA DO MICROCONTROLADOR

Com o auxílio da Figura 24, que contém ilustração da estrutura simplificada de um pino de entrada/saída do 8051 (configuração dreno aberto), pode-se perceber que, no caso de o microcontrolador executar comando para escrever nível lógico baixo no pino da porta, a saída do *latch* é baixa, alimentando a porta do transistor de efeito de campo (FET) com tensão alta, fazendo-o entrar em condução. Portanto, independentemente do valor do sinal obtido na saída do circuito comparador em aberto ser alto ou baixo, quando conectado ao pino da porta, implica em nível lógico baixo no pino.

Quando, porém, é executado comando para escrever nível lógico alto, a tensão na porta do FET é baixa, fazendo o transistor ficar em corte e assumir a tensão VCC. Com a saída do comparador em nível lógico alto, essa tensão é mantida ao conectá-la ao pino da porta. Caso a saída do comparador esteja em nível lógico baixo, há condução entre VCC do microcontrolador e o pino de saída do comparador através do resistor  $R_{pull\_up}$ , permitindo um bom funcionamento do sistema.

Pelos motivos elucidados, evidencia-se necessária a escrita de nível lógico alto no pino da porta conectado à saída do comparador.

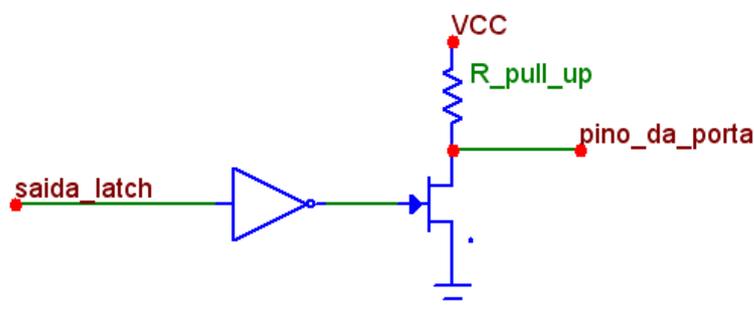


Figura 24 Estrutura simplificada de um pino de entrada/saída do 8051

## 9 INTERFACE DE CONTROLE DO USUÁRIO

Os comandos permitidos ao usuário, através da porta P0, acionados cada um por chave própria em um *dip switch*, conforme Figura 25, são:

- Frente (chave 1): move o veículo para frente;
- Trás (chave 2): move o veículo para trás;
- Direita (chave 3): rotaciona o veículo sobre seu eixo vertical em sentido horário;
- Esquerda (chave 4): rotaciona o veículo sobre seu eixo vertical em sentido anti-horário;
- Velocidade (chave 5): alterna entre três valores de velocidade através de pulso breve no pino correspondente (ligar e desligar a chave);
- Estacionar (chave 6): verifica a viabilidade de estacionar e, caso haja, executa.

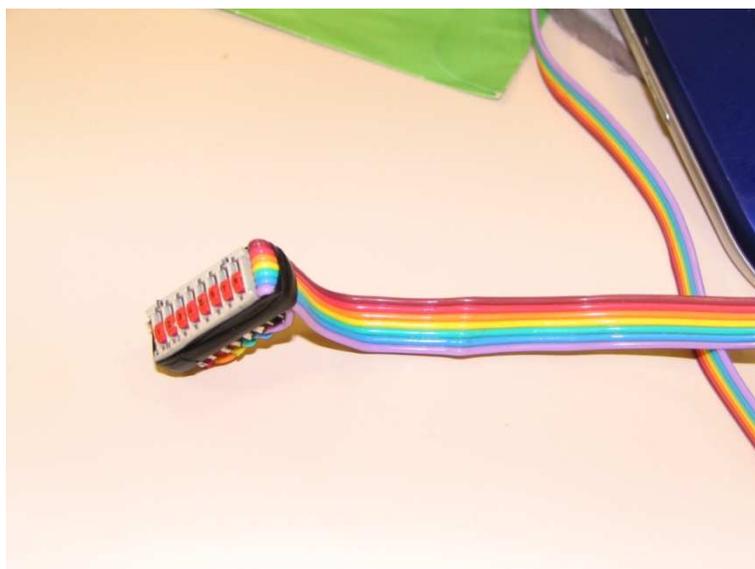


Figura 25 Interface para usuário fornecer comandos ao microcontrolador

## 10 CIRCUITO COMPLETO

Através do programa Eagle 5.9.0, desenha-se o circuito completo, presente na Figura 26, que tem alguns itens ainda não descritos de sua estrutura detalhados a seguir.

Um par emissor-sensor está posto na dianteira direita do veículo e outro na traseira direita, tendo cada emissor acionamento por pino individual do microcontrolador através de transistores bipolares de canal positivo (BJTs tipo P).

Os sensores são ambos conectados em paralelo e o tratamento do sinal é único. A onda emitida por um emissor não interfere no resultado do sensor oposto, apenas naquele que com ele faz par.

Os *drivers* são acionados por um conjunto de quatro pilhas de 1,2V ou 1,5V. O LM555 é alimentado por duas baterias de 9V em série, que energiza, também, um LM7805, circuito integrado regulador de tensão, cuja saída de 5V é conectada ao microcontrolador, ao pino V+ do comparador e ao pino emissor de cada transistor BC560.

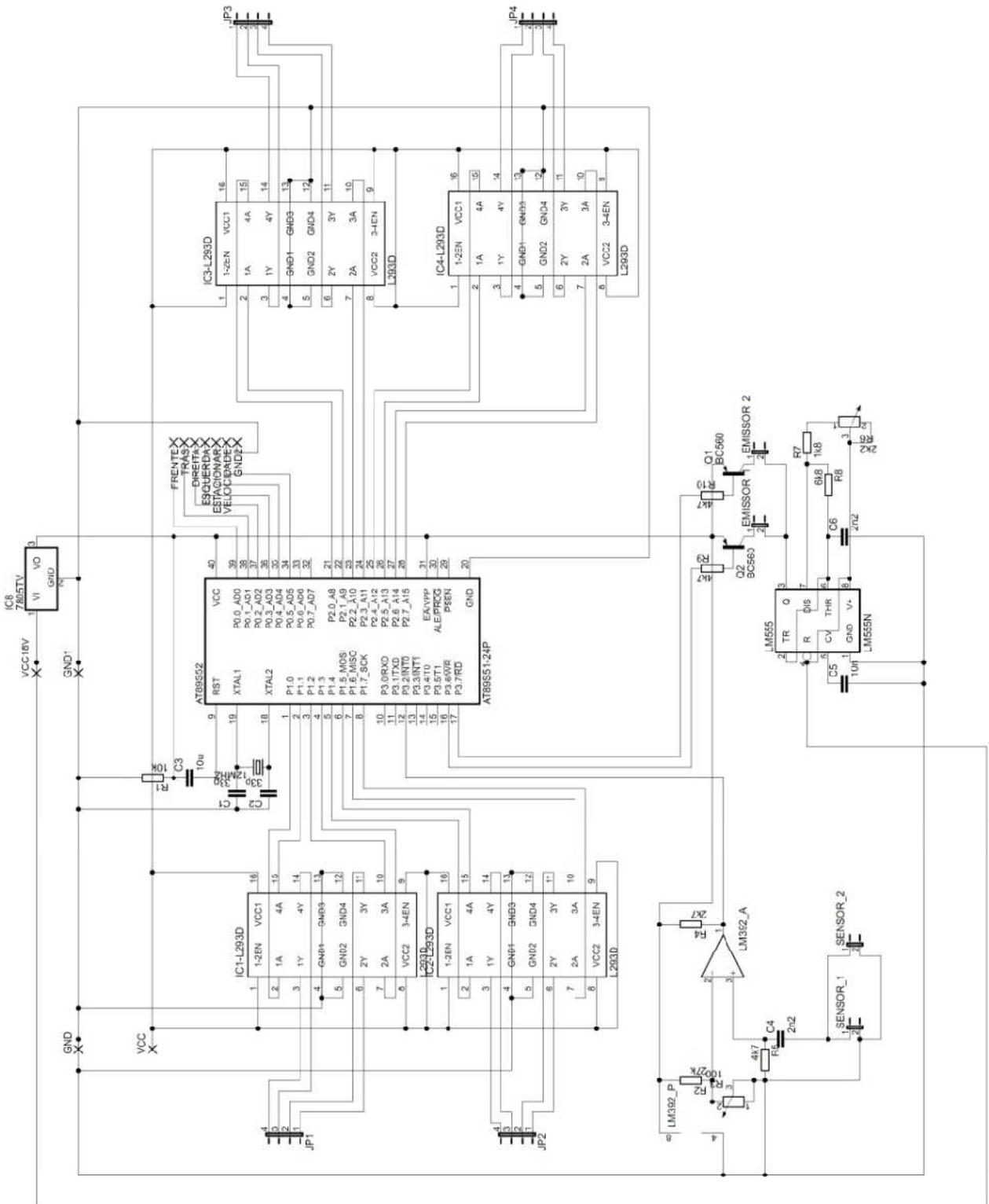


Figura 26 Circuito completo do projeto

Chega-se ao leiaute apresentado na Figura 27, sendo as linhas finas os caminhos não roteados, feitos manualmente com fios depois de terminada a placa.

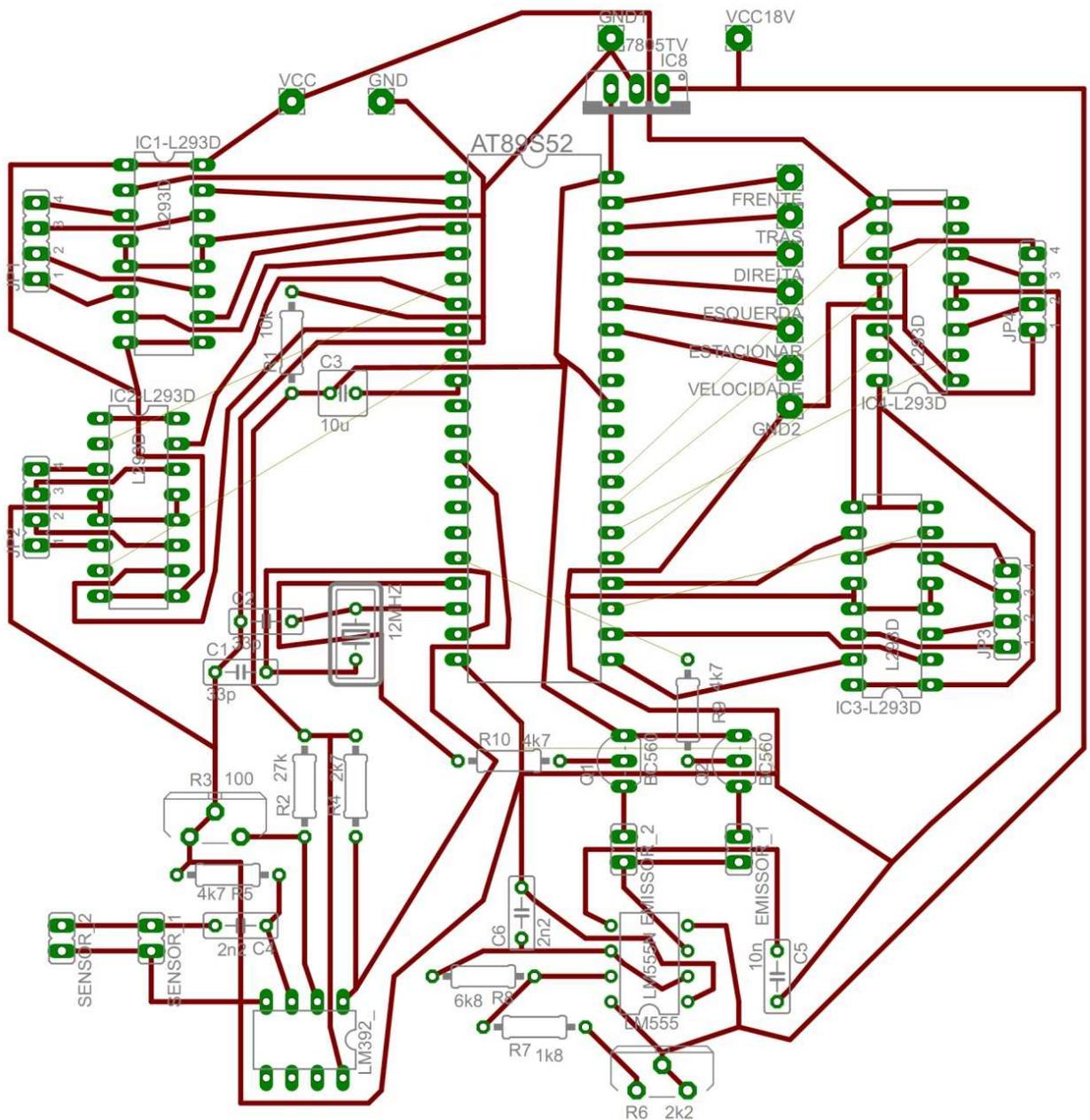


Figura 27 Leiaute da placa

A placa obtida após os processos de impressão, transferência de desenho, correção de trilhas falhas, corrosão e limpeza é apresentada na Figura 28. A vista superior com os componentes montados está na Figura 29.

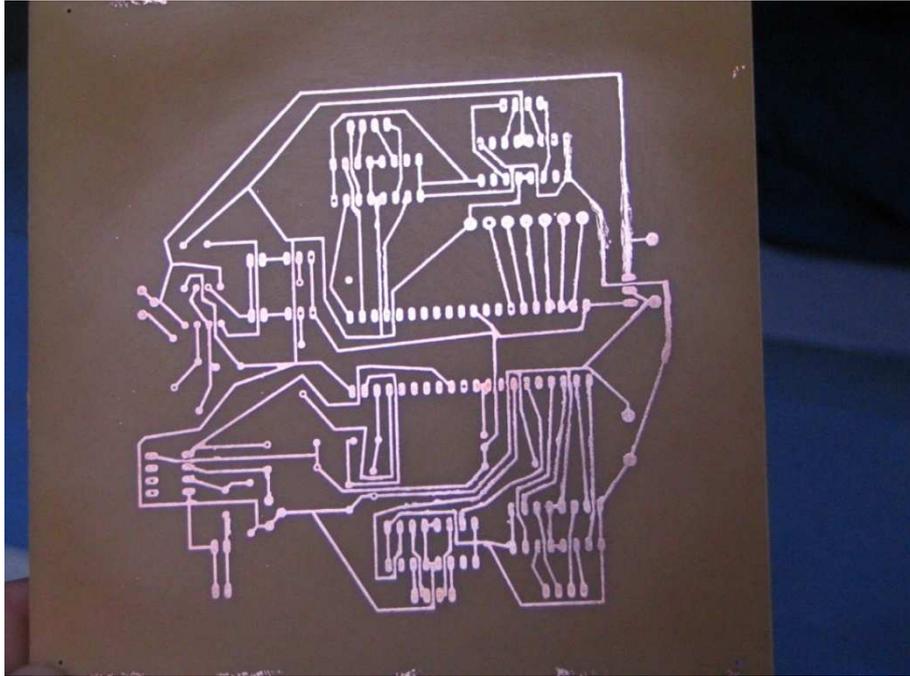


Figura 28 Placa de circuito impresso

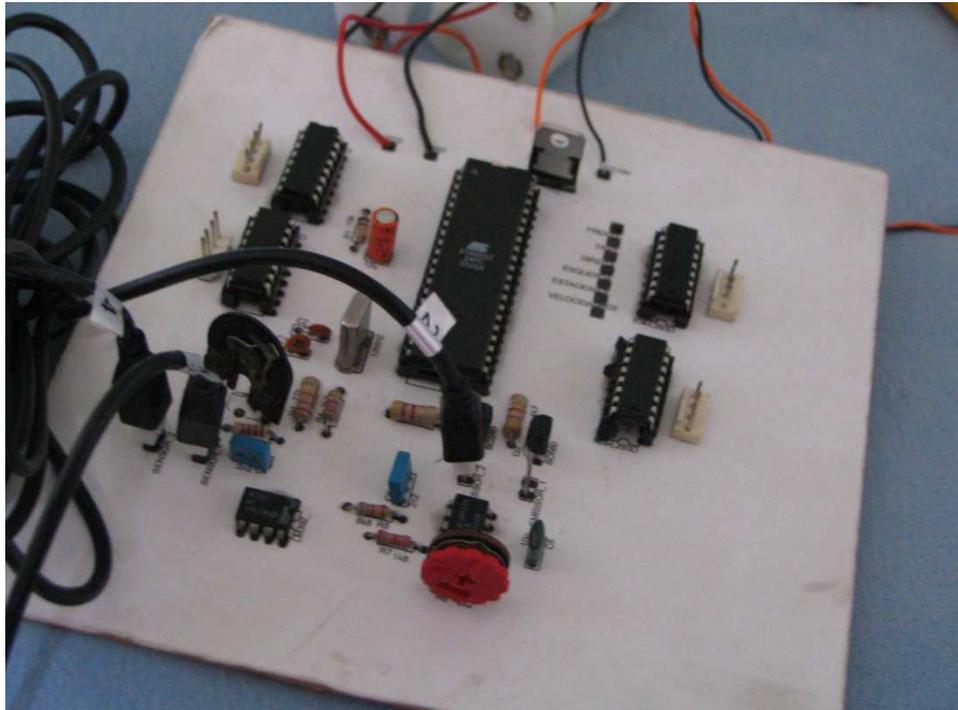


Figura 29 Placa com os componentes

## 11 ROTINAS DE PROGRAMAÇÃO

Neste tópico, não são apresentados códigos de programação, apenas o diagrama de blocos simplificado do *software* (Figuras 30 e 31) e breve explicação de cada rotina a ser executada pelo microcontrolador. Para o caso de haver interesse em aprofundamento neste tema, o programa completo e comentado está presente no Apêndice B.

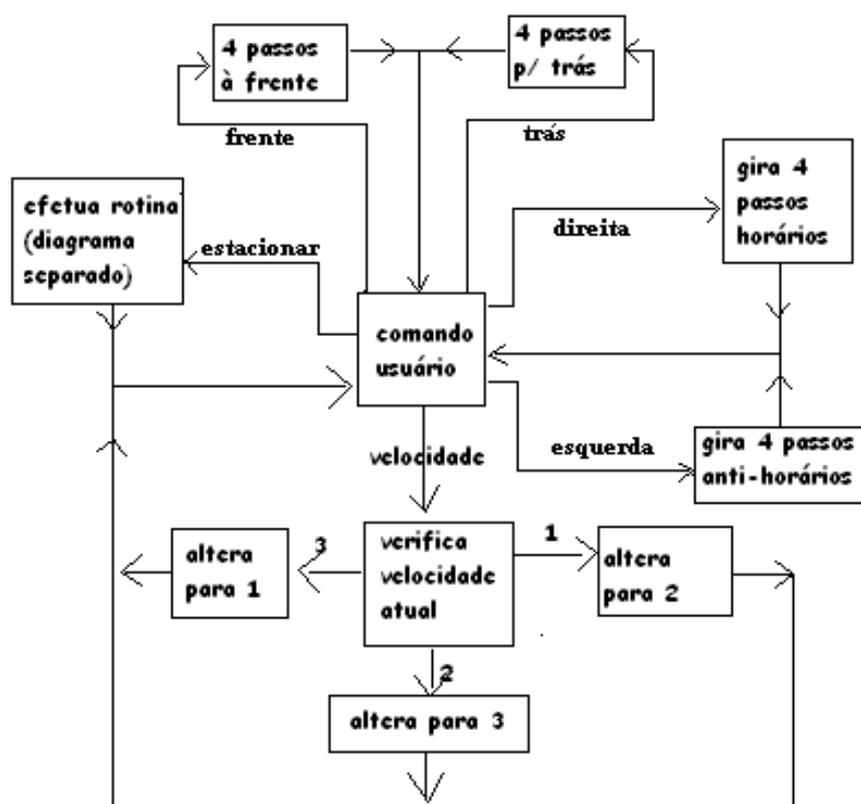


Figura 30 Diagrama de blocos 1 do programa

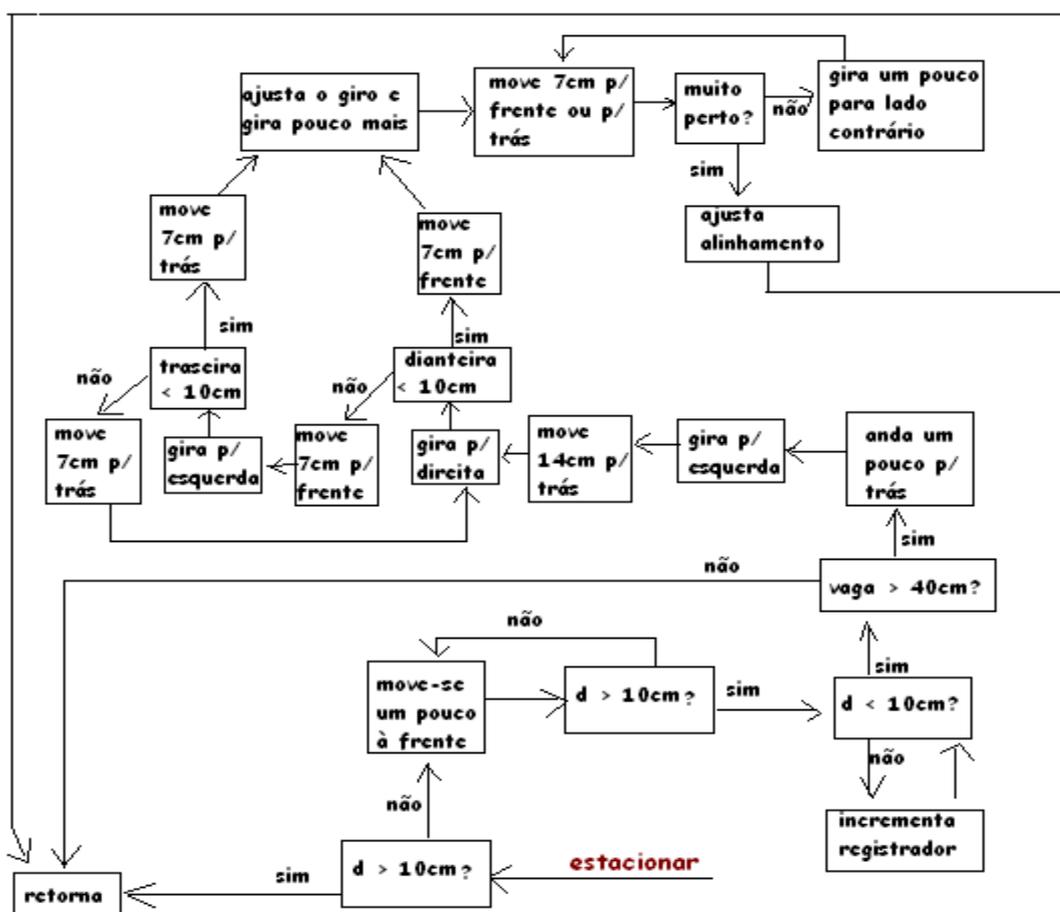


Figura 31 Diagrama de blocos 2 do programa, referente à rotina de estacionamento.

## 11.1 AGUARDANDO DE COMANDO DO USUÁRIO

O microcontrolador aguarda o comando do usuário executando um AND da porta P0 a um valor que identifique cada um deles. Enquanto nenhuma ordem é dada, essa rotina é repetida.

## 11.2 FRENTE, TRÁS, DIREITA E ESQUERDA

São movidos às portas P1 e P2 os valores presentes nas tabelas 1 e 2 correspondentes a um passo dos motores e, então, é executada uma rotina de *delay*, a fim de manter a

alimentação por tempo suficiente para o conjugado do motor executar giro ou pelo tempo definido pela rotina de velocidade. Após, são executado os três passo seguinte intercalados pela rotina de *delay*.

Com os quatro motores acionados pela mesma sequência, produz-se movimento à frente ou para trás. Acionando os da esquerda por uma sequência e os da direita pela oposta, produz-se giro para “direita” (giro horário sobre o eixo vertical da plataforma por vista superior) ou para “esquerda”.

### **11.3 VELOCIDADE**

Essa rotina executa um *delay* diferente, de 1,3s, para dar tempo ao usuário de ligar e desligar a chave sem que o programa interprete um acionamento como várias chamadas à rotina. Então, um registrador utilizado para definir a duração do *delay* do acionamento dos motores é alterado sequencialmente entre três valores, sendo o menor metade do médio, e o maior, seu dobro.

### **11.4 ESTACIONAR**

O usuário deve posicionar o veículo ao lado do obstáculo que faz fronteira com o início da vaga, de forma que o sensor dianteiro verifique uma proximidade máxima de 10cm a esse obstáculo. Caso a distância seja maior que 10cm, o procedimento é abortado, e retorna-se ao aguardo de um comando do usuário.

Depois de passar pela condição inicial, o veículo vai-se movendo à frente e realizando novas medições de distância até encontrar um valor maior que 10cm para o sensor dianteiro, que determina o início da vaga. Continua-se movendo à frente até atingir distância menor que 10cm novamente (final da vaga), armazenando em um registrador a distância percorrida

através do conhecimento da quantidade de chamadas à rotina “frente” e de quanta distância cada chamada significa.

Calcula-se, logo, o tamanho da vaga, e, se ela for menor que 40cm, aborta-se o estacionamento e retorna-se ao aguardo de um comando do usuário.

Se a vaga for maior que 40cm, o veículo retorna um pouco por ter passado da vaga e é girado para a “esquerda” de forma à extremidade de cada roda percorrer uma distância em torno de 7cm. Move-se, então, 14cm para trás e, a partir desse ponto, realiza um ciclo movimentando-se por 14cm periféricos em sentido horário, 7cm para frente, 14cm anti-horário e 7cm para trás, repetindo-o até o sensor da frente ou de trás captar uma distância menor que 10cm após o giro.

Depois de verificada a proximidade, é necessário reduzir os passos a fim de não provocar choque com o obstáculo do lado de dentro da vaga (meio-fio, por exemplo). Assim, é feita mais uma aproximação, e é, então, corrigida a posição do veículo para passar a girar 1,75cm em vez de 7cm, executando a aproximação até a dianteira ou a traseira atingir 1,5cm.

Depois de atingida a nova distância mínima, é feito o eventualmente necessário alinhamento do veículo à vaga, girando-o até a outra ponta atingir a distância de 1,75cm. Salienta-se que se está assumindo um alinhamento inicial razoável, pois aproximar um lado através de giro afasta o outro. Essa é uma rotina, não obstante, que pode ser aperfeiçoada.

## **11.5 MEDIR DISTÂNCIA**

O *timer 0* do 8051 é configurado para rodar independentemente do valor de *int0* (pino P3.2 do microcontrolador), incrementar a cada ciclo de máquina quando *TR0*, *bit* do *TCOM*, está habilitado, e usar o modo 16 *bits*, ou seja, armazenar o tempo em código binário de 16 *bits*.

Para o pino ligado à saída do comparador, é enviado o sinal lógico 1, de acordo com a necessidade apontada em 8.1. Liga-se o emissor de ultrassom e habilita-se a contagem de tempo até o sensor receber o sinal ou ultrapassar-se um intervalo máximo, gerando resultado correspondente a obstáculo demasiadamente distante. No caso do resultado último, é necessário realizar uma nova medição em função da possibilidade de interferência destrutiva explicada em 6.1.3, girando o veículo a fim de aproximar ou afastar o sensor em torno de um quarto de comprimento de onda. Após, é necessário ajustar a posição do veículo girando para o sentido contrário.

### **11.6 CALCULAR DISTÂNCIA**

Como o produto de 340m/s por 15 $\mu$ s (15 ciclos de máquina) resulta em 5mm de distância percorrida pela onda, e metade dessa distância entre sensor e obstáculo (2,5mm), para guardar a distância em um só registrador de 8 *bits* expressando-a em múltiplos de 2,5mm, divide-se o resultado do *byte* baixo do *timer 0* por 15 e multiplica-se o resultado do *byte* alto por 17 (equivalente a 256/15), somando-se esses dois valores.

Ajusta-se, após, a distância calculada subtraindo-se dela uma constante de 10mm, cuja natureza é referida no capítulo 14, considerando, aqui, um afastamento de 3mm do sensor em relação à borda do veículo.

## **12 TESTES INICIAIS DE ROTINAS DE MOVIMENTO DA PLATAFORMA**

Com a plataforma mecanicamente funcional e as rotinas instaladas sequencialmente no microcontrolador, embora ainda sem os sensores e seus circuitos de acionamento e tratamento de sinal, iniciam-se os testes funcionais. Logo de início, encontram-se falhas no desempenho, cujas descrições e soluções estão nos itens a seguir.

### **12.1 PROBLEMAS DE ALIMENTAÇÃO**

Verificam-se interrupções na execução do programa depois de transcorridos tempos variáveis a partir da alimentação do sistema. Esses erros devem-se à interferência na tensão de alimentação do microcontrolador causada pelas correntes dos motores.

Por tal razão, evidencia-se necessário isolar a alimentação do microcontrolador e dos motores, procedimento concretizado pelo uso de duas fontes independentes.

### **12.2 PROBLEMAS DE VIBRAÇÃO**

Após isolar a alimentação entre circuito de potência e de controle, pode-se observar o funcionamento ininterrupto do acionamento, com giro correto das rodas para o veículo em suspensão. Porém, ao apoiar a estrutura no solo, o movimento dos motores fica, em alguns momentos, indefinido. Paralelamente, a rotação da plataforma é completamente frustrada.

A enorme vibração da plataforma indica que, como as rodas utilizadas têm pneus grandes, o acionamento concomitante dos quatro motores pode causar grande deformação nos pneus na presença de conjugado resistente significativo, induzindo ressonância mecânica e falha ao giro.

Nesse sentido, altera-se a programação a fim de reduzir os efeitos de vibração, acionando cada motor em momento diferente dentro de um mesmo período de passo. Posteriormente, tenta-se executar curvas com acionamento sequencial em apenas uma, duas ou três rodas, bloqueando ou girando para sentido contrário uma ou duas das rodas restantes com alimentação constante em uma bobina. As vibrações diminuem, mas a rotação mantém-se frustrada.

### **12.3 PROBLEMAS DE CONJUGADO ELETROMAGNÉTICO**

A falha na rotação consiste, portanto, no fato de o conjugado eletromagnético do motor ser menor que o conjugado resistente, já que, em curvas, tem que haver derrapagem dos pneus, envolvendo maior atrito, situação em que se enfrenta maior dificuldade para o funcionamento.

Aumentar a tensão dos motores não traz nenhum acréscimo perceptível ao conjugado, pois se está passando a operar em região de saturação magnética. Nota-se, apenas, aumento na temperatura dos *drivers*, pois a corrente nos enrolamentos dos motores cresce proporcionalmente, gerando basicamente perdas.

A única solução visualizada é, conseqüentemente, alterar a plataforma, substituindo ou adaptando partes mecânicas para diminuir o conjugado resistente ou trocando os motores. Por não ser o foco deste trabalho, tais procedimentos mecânicos são detalhados no Apêndice A.

#### **12.3.1 Avaliação da possibilidade de substituição dos motores**

Para ter maior conjugado, mantendo-se o número de passos por rotação em um valor alto, ou seja, não se alterando o ângulo de rotação correspondente a um passo, é necessário

um motor de maior porte, implicando em maior peso na plataforma e, portanto, maior conjugado resistente, opondo-se à vantagem de se ter aumento do conjugado da máquina. Além disso, motor de maior potência necessita acréscimo de tensão ou de corrente, o que pode causar transtornos à especificação da fonte, e, no caso de corrente, do *driver* escolhido.

Pelos motivos citados, alterar os motores também não é a melhor das opções. Caso outras tentativas não resultassem em sucesso, essa hipótese seria abordada com mais profundidade.

### **13 TESTE DOS COMANDOS PELO *DIP SWITCH***

Devido ao fato de a porta P0, utilizada para enviar comandos do usuário ao microcontrolador, não possuir resistores internos de *pul-up*, o circuito não funciona, pois a tensão no pino é baixa mesmo enviando nível alto à porta. Faz-se necessária, então, adaptação, consistindo em enviar nível lógico baixo à porta P0 (*software*) e acionar as chaves conectando o pino à tensão de 5V (*hardware*).

Feitos os ajustes necessários, todas as rotinas iniciais, de movimento à frente e para trás, de giro e de alteração de velocidade, funcionam de acordo com o previsto, bem como a alternância entre elas através das chaves.

## 14 TESTE DO SISTEMA DE MEDIÇÃO E ERROS IMPLÍCITOS TEÓRICOS

O maior erro esperado nesse sistema deve-se à incerteza da fase inicial da onda de ultrassom recebida. Como a onda tem amplitude negativa em metade de seu ciclo, o recebimento do sinal pode não ser interpretado até meio comprimento de onda depois do início da recepção (precisamente, um pouco mais, pois é necessário ainda atingir um nível mínimo de tensão para o pulso ser gerado pelo comparador).

Tendo em vista que a distância percorrida pela onda é o dobro daquela entre o sensor e o obstáculo, dado que ela é emitida, refletida e retornada, o erro de meia onda na medição passa a um erro de quarto de onda na distância entre sensor e obstáculo. Para velocidade de 340m/s (propagação de ondas mecânicas no ar) e frequência de 40kHz, esse erro corresponde a pouco mais de 2mm, valor desprezível.

O erro devido à demora na execução dos comandos pelo microcontrolador é ainda bem menor, já que um ciclo de máquina demora 1 $\mu$ s (a frequência de operação do 8051 é 1/12 da frequência do cristal de, nesse caso, 12MHz), tempo suficiente para a onda percorrer apenas décimos de milímetro.

Elabora-se um código simples para ligar o emissor de ultrassom e habilitar um *timer* do microcontrolador, desabilitando-o ao receber o sinal. De acordo com o tempo do ciclo de máquina do 8051 responsável pelo incremento do *timer*, calcula-se a distância e emitem-se pulsos em um LED ligado a uma saída do microcontrolador em quantidade proporcional a tal distância. Verifica-se, para o circuito de teste ainda montado em *proto-board*, resultado de grande precisão em função da variação da distância.

Constata-se, contudo, a soma de uma constante de aproximadamente 7mm à medição da distância. Essa constante existe porque a membrana oscilante não está na borda do encapsulamento dos sensores, ponto do qual a distância de interesse é medida. Tal erro fixo e,

eventualmente, mais algum determinado pela posição do sensor na plataforma, é facilmente removido via programação.

## 15 RESULTADOS ALCANÇADOS

O acionamento dos motores, o movimento para frente e para trás, o giro horário e anti-horário da plataforma e a alternância de velocidades através de controle pelo 8051, após vários ajustes elétricos e mecânicos, funcionam conforme esperado. A leitura de comandos fornecidos pelo usuário também obtém sucesso.

O comando do emissor pelo microcontrolador e a leitura do receptor do sinal de ultrassom obtém êxito também. O circuito de comparação opera bem, identificando o sinal no sensor, tratando o ruído e enviando o sinal ao microcontrolador. A alimentação dos emissores através de trem de pulsos gerado pelo LM555 funciona de maneira quase idêntica à alimentação por gerador de funções, apenas adicionando um pequeno ruído em forma de *spikes*.

A medição da distância para circuito e software de teste demonstra bastante precisão e alcance satisfatório, em torno de 20cm. Para o projeto em sua última versão, há instabilidade no sistema sensor, causando falhas à rotina de estacionamento, que, de uma forma geral, funciona, apresentando problemas fundamentalmente na finalização, pois pequenas distâncias às vezes são identificadas com valores maiores, causando colisão da plataforma à barreira da lateral da vaga (meio-fio). Essa instabilidade deve-se ao efeito de interferência destrutiva associado à duração do ciclo de leitura da saída do comparador pelo 8051, maior que o ciclo definido no software referente ao teste executado em *proto-board*.

A fim de facilitar a compreensão da causa do erro, analisa-se a Figura 32, em que são apresentados, no gráfico superior, um sinal senoidal de frequência 40kHz e amplitude 10mV e uma tensão de referência para o comparador e, no inferior, o trem de pulsos resultante na saída do comparador (idealizado) e um trem de pulsos de 250kHz destinado apenas a representar a leitura efetuada pelo microcontrolador. Para a situação exemplo dessa imagem, são perdidos os dois primeiros pulsos recebidos, lendo-se apenas o terceiro, resultando em

erro no tempo medido de retorno do sinal de ultrassom e, portanto, no valor calculado da distância ao obstáculo.

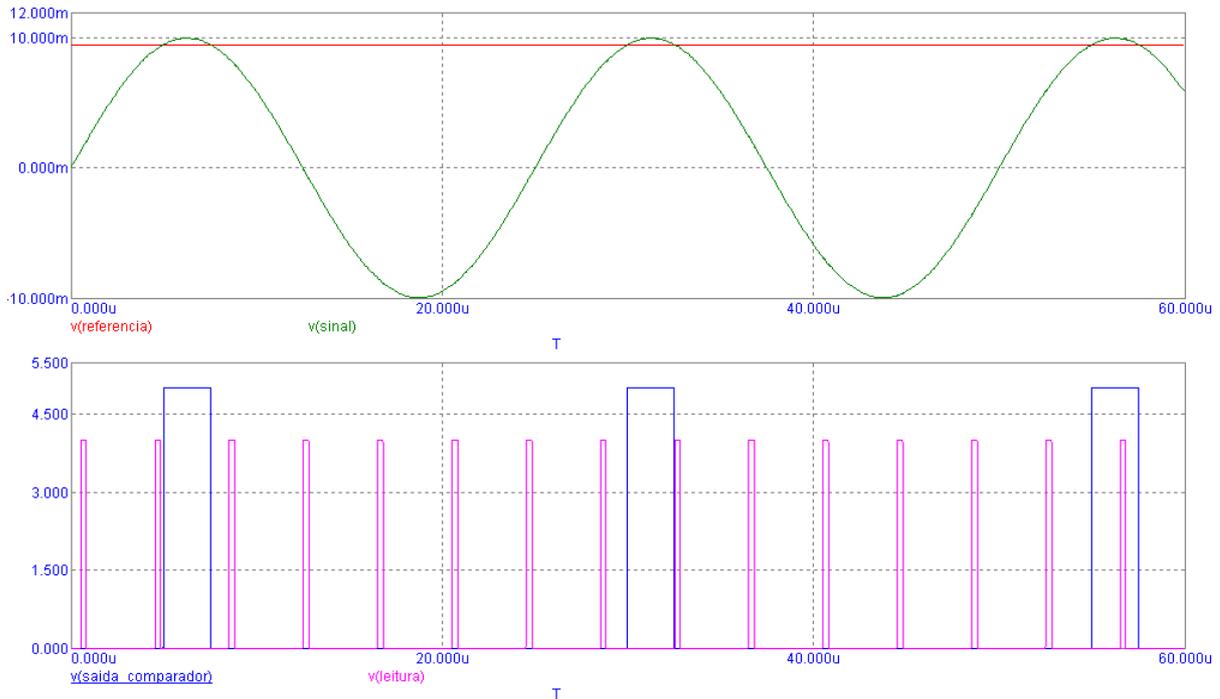


Figura 32 Erro na leitura do sinal de ultrassom.

Uma maneira bastante simples de reduzir consideravelmente a probabilidade de ocorrência desse erro consiste em substituir o cristal de 12MHz ligado ao microcontrolador por um de 36MHz (máximo permitido), bem como ajustar as constantes das rotinas de programação. Assim, a frequência da leitura é três vezes maior. Essa solução é, contudo, paliativa, pois apenas torna menos recorrente o erro, não o eliminando por completo.

Para resolver efetivamente o problema, é necessário alterar o *hardware*, inserindo, entre a saída do comparador e a entrada do 8051, um monoestável, que gera, ao receber um sinal de nível alto (ou baixo, o que implicaria a necessidade de inverter as entradas V+ e V- do comparador), um pulso de largura constante, a ser ajustada para qualquer valor maior que o tempo de execução de um ciclo de leitura do microcontrolador que, no caso da rotina e do cristal utilizados, é de 4 $\mu$ s. Dessa forma, o efeito de interferência é driblado ou pela segunda

medição a uma nova distância quando o cancelamento é forte (sem geração de pulso na saída do comparador), ou pela regularização da largura do pulso executada pelo monoestável quando o cancelamento é fraco (pulso estreito na saída do comparador).

Por exiguidade de tempo, tais correções serão possíveis apenas após a entrega e a apresentação deste trabalho, ficando aqui encaminhada a solução a quem mais possuir interesse em desenvolver projeto assemelhado.

## 16 CONCLUSÃO

A escolha do tipo de sensor define caminhos muito diferentes para atingir as especificações de um projeto, sendo essa, possivelmente, a principal decisão do projetista. Utilizando sensores de baixo custo com características previsíveis aliados a sistemas programáveis, é possível realizar medições bastante precisas, permitindo a boa execução de funções de automatização com o uso de dados confiáveis.

A medição de distâncias através de infravermelho tem grande imprecisão devido às características de não linearidade, de variação da resposta em função da reflexibilidade do obstáculo e de inconstância para diferentes iluminações ambientes. O sistema de ultrassom possui grande precisão e robustez, tendo como um dos principais pontos negativos o efeito de cancelamento ocorrido na medição de ondas mecânicas, que implica em dificuldade adicional de projeto.

O uso do microcontrolador 8051, que possui grande documentação e cujo funcionamento é razoavelmente simples, mostra-se bastante adequado e suficientemente poderoso para execução de códigos não muito extensos e conexão a sistemas que não precisem de uma quantidade enorme de entradas e/ou saídas. Para sistemas complexos, pode ser mais interessante utilizar microcontroladores mais completos que realizar adaptações de programação ou de *hardware* necessárias em virtude de suas limitações.

Motores de passo permitem bastante simplificação dos sistemas sensores e das rotinas de programação, por já possuírem como característica intrínseca o acionamento pulsado com alteração previsível de posição. Comandando-os através de um 8051, podem-se fazer diversos equipamentos de automatização para as mais variadas aplicações que envolvem movimentação controlada de algum objeto ou sistema.

## REFERÊNCIAS

CALCUTT, D. M.; COWAN, F. J.; PARCHIZADEH, G. H. **8051 Microcontrollers: Hardware, Software, and Applications**. Great Britain: Arnold, 1998. 329 p. ISBN: 0-340-67707-4

WILDI, T. **Electrical Machines, Drives and Power Systems**. 2ed. New York: Prentice Hall, 1991. 727 p. ISBN: 0-132-51547-4

KNEUBÜHL, F. K. **Oscillations and Waves**. New York: Springer, 1997. 523 p. ISBN: 3-540-32001-X

INTEL. **MCS 51 Microcontroller Family User's Manual**. 1994. 334 p. Disponível em: <<http://www.8051projects.net/downloads215.html>>. Acesso em: 10 out. 2010.

IDOETA, I. V. **Elementos de Eletrônica Digital**. 35ed. São Paulo: Erica, 2003. 524 p. ISBN: 8-571-94019-3

FLOYD, T. **Sistemas Digitais - Fundamentos e Aplicações**. 9ed. Porto Alegre: Bookman, 2007. 888 p. ISBN: 8-560-03193-6

STEINER, C. **The 8051/8052 Microcontroller: Architecture, Assembly Language, And Hardware Interfacing**. Boca Raton: Universal-Publishers, 2005. 348 p. ISBN: 1-581-12459-7

INGARD, K. U. **Fundamentals of Waves & Oscillations**. Cambridge: Cambridge University Press, 1988. 595 p. ISBN: 0-521-33957-X

ATHANI, V. V. **Stepper Motors: Fundamentals, Applications and Design**. New Delhi: New Age International, 2007. 214 p. ISBN: 8-122-41006-5

## APÊNDICE A:

Detalhamento da Construção Mecânica da Plataforma Móvel

## **APÊNDICE A: PLATAFORMA MECÂNICA**

Neste apêndice, são apresentados os desenvolvimentos mecânicos da plataforma utilizada para realizar as operações de sensoriamento, comando e automatização projetadas.

### **CONSTRUÇÃO DA PRIMEIRA VERSÃO DA PLATAFORMA**

As rodas da plataforma são retiradas de um carro radiocontrolado de brinquedo. É necessário fazer um adaptador capaz de fixar a roda ao eixo do motor. Como o motor já possui uma engrenagem em seu eixo, ela não é retirada, e o adaptador é feito de acordo com suas características dimensionais.

Conforme se verifica nas Figuras A-1, A-2, A-3 e A-4, que apresentam o motor, o adaptador referido e a roda, o adaptador consiste em um pedaço de tubo cilíndrico a ser encaixado na engrenagem, com um furo rosqueado pelo qual se insere um parafuso destinado a dar aperto entre o adaptador e a engrenagem, soldado a uma chapa dobrada e furada a ser parafusada na roda. A Figura A-5 apresenta as quatro rodas com seus adaptadores montados.



Figura A-1 Roda, adaptador e motor utilizados



Figura A-2 Montagem do adaptador na roda



Figura A-3 Montagem do adaptador no motor e na roda



Figura A-4 Sistema roda, adaptador e motor fixado



Figura A-5 Rodas montadas a seus adaptadores

Para fazer a fixação dos motores a uma lâmina de madeira, aproveitam-se os parafusos que o próprio motor já tinha para fixá-lo a uma chapa de alumínio dobrada e furada, presa à lâmina citada, conforme Figura A-6, que mostra a plataforma já montada. A Figura A-7 apresenta a vista superior da plataforma. A escolha de qual face é a superior e qual é a inferior pode ser ao contrário, porém, julga-se mais adequada a maneira definida por permitir ao veículo melhor resposta a terrenos irregulares, oferecer mais área para a montagem do *hardware* e, mesmo assim, manter o centro de gravidade bem baixo para evitar capotagens.



Figura A-6 Vista inferior da plataforma móvel



Figura A-7 Vista superior da plataforma móvel

A montagem do circuito inicial acionador dos motores, consistente de microcontrolador e *drivers*, executa-se sobre um *protoboard*. Para possibilitar os testes sem enfrentar o inconveniente de ter dezesseis fios longos ligando os motores ao *protoboard*,

devendo, então, gerenciar apenas os fios da alimentação, é necessário fixá-lo à plataforma. O resultado é apresentado na Figura A-8.

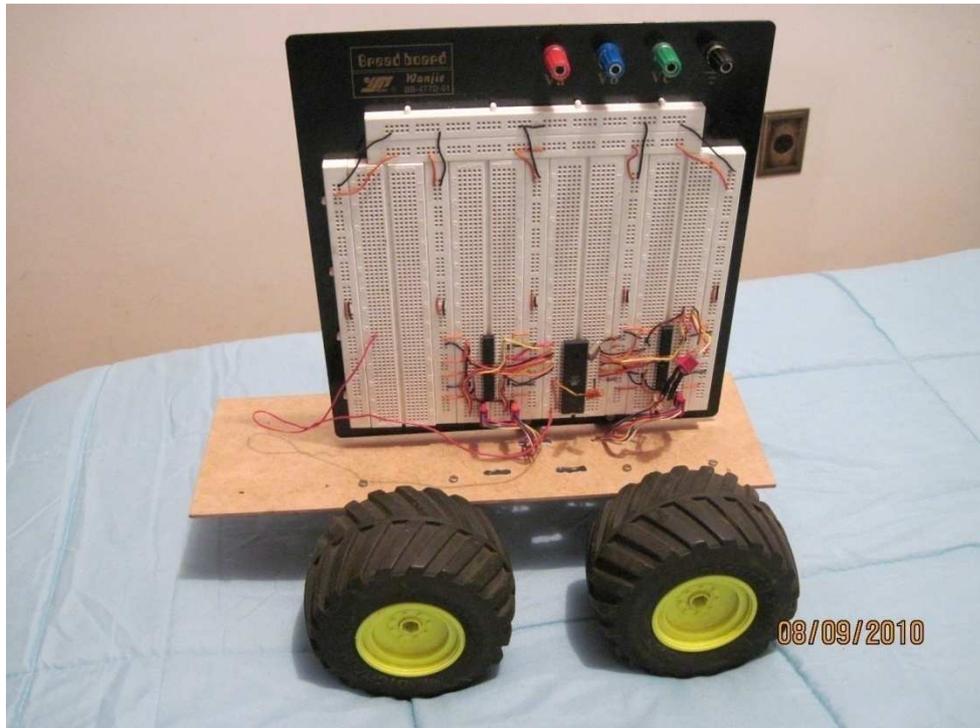


Figura A-8 Plataforma com *protoboard* fixado

### **ALTERAÇÃO DA PLATAFORMA DEVIDO AO BAIXO CONJUGADO**

Devido a problemas de baixo conjugado, precisa-se alterar a plataforma. Abaixo, estão duas alternativas experimentadas.

#### **Substituição das rodas**

Testam-se rodas maciças de *skate* feitas de poliuretano, com metade do diâmetro das anteriores, para verificar o comportamento da plataforma. O movimento de rotação torna-se, então, possível, apresentando, porém, bastante derrapagem, mesmo com tiras estreitas de borracha envolvendo as rodas, e inconstância de eixo vertical de rotação, dependendo do contato instantâneo que cada roda tem com o solo.

Substituir as rodas, por fim, não é a solução adequada, considerando que terrenos irregulares e a própria descentralização e o desalinhamento das rodas, por imprecisão mecânica na construção, torna o giro do veículo demasiadamente imprevisível. Os pneus, por suas características intrínsecas de adaptação a irregularidades através de deformação, parecem ideais.

### **Caixa de redução e proporção entre distância entre eixos e entre rodas**

Para reduzir o conjugado resistente, a solução mais adequada, mantendo o uso de motores de passo e o método de controle da plataforma, é inserir uma caixa de redução entre os motores e as rodas. O uso dessas engrenagens alarga o veículo, o que favorece a rotação sobre seu próprio eixo, dado que, quanto menor a distância entre eixos em relação à distância entre rodas, menor a derrapagem ao efetuar curvas e, portanto, menor também o conjugado resistente. Essa ideia tem seu detalhamento apresentado a seguir.

### **CONSTRUÇÃO DA NOVA PLATAFORMA**

Utiliza-se a caixa de redução com relação de 1 para 6 de outro motor. As imagens a seguir mostram, em sequência, o motor com caixa de redução montado e desmontado (Figura A-9), o equipamento feito para retirada da engrenagem (Figura A-10), o motor de passo com o eixo reduzido e a engrenagem do outro motor conectada a ele (Figura A-11), o processo de adaptação da engrenagem antiga do motor de passo para utilizá-la no eixo da caixa de redução e aproveitar o sistema de fixação às rodas (Figura A-12 e Figura A-13) – observa-se que a cabeça do parafuso foi cortada, pois ele só tem a função de dar aperto ao eixo –, o motor de passo com redução aberto (Figura A-14) e fechado (Figura A-15), o motor de passo com caixa de redução montado à roda (Figura A-16), a nova estrutura de apoio dos motores e sistemas

eletrônicos (Figura A-17) e, por fim, a nova plataforma completa em vista inferior (Figura A-18) e superior (Figura A-19).



Figura A-9 motor com caixa de redução desmontado



Figura A-10 Retirada da engrenagem



Figura A-11 Aproveitamento da engrenagem no motor de passo

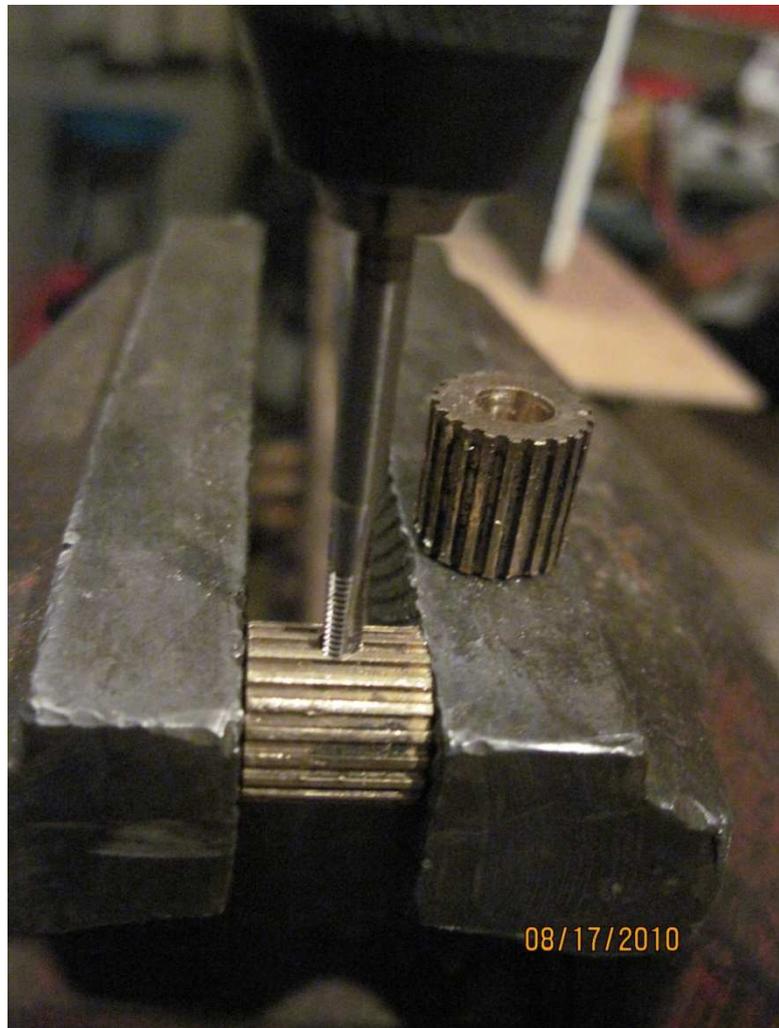


Figura A-12 Aproveitamento da engrenagem do motor de passo no eixo da caixa



Figura A-13 Fixação da engrenagem no eixo da caixa de redução



Figura A-14 Peças do sistema de motor de passo com redução



Figura A-15 Motor de passo com redução montado



Figura A-16 Motor de passo com redução montado à roda



Figura A-17 Peças utilizadas em substituição à plataforma de madeira



Figura A-18 Nova plataforma completa – vista inferior



Figura A-19 Nova plataforma completa – vista superior

### **PLATAFORMA COMPLETA COM SENSORES, CIRCUITO E ALIMENTAÇÃO**

Na Figura A-20, apresenta-se a plataforma completa com todos os itens físicos necessários à execução das rotinas instaladas no microcontrolador.

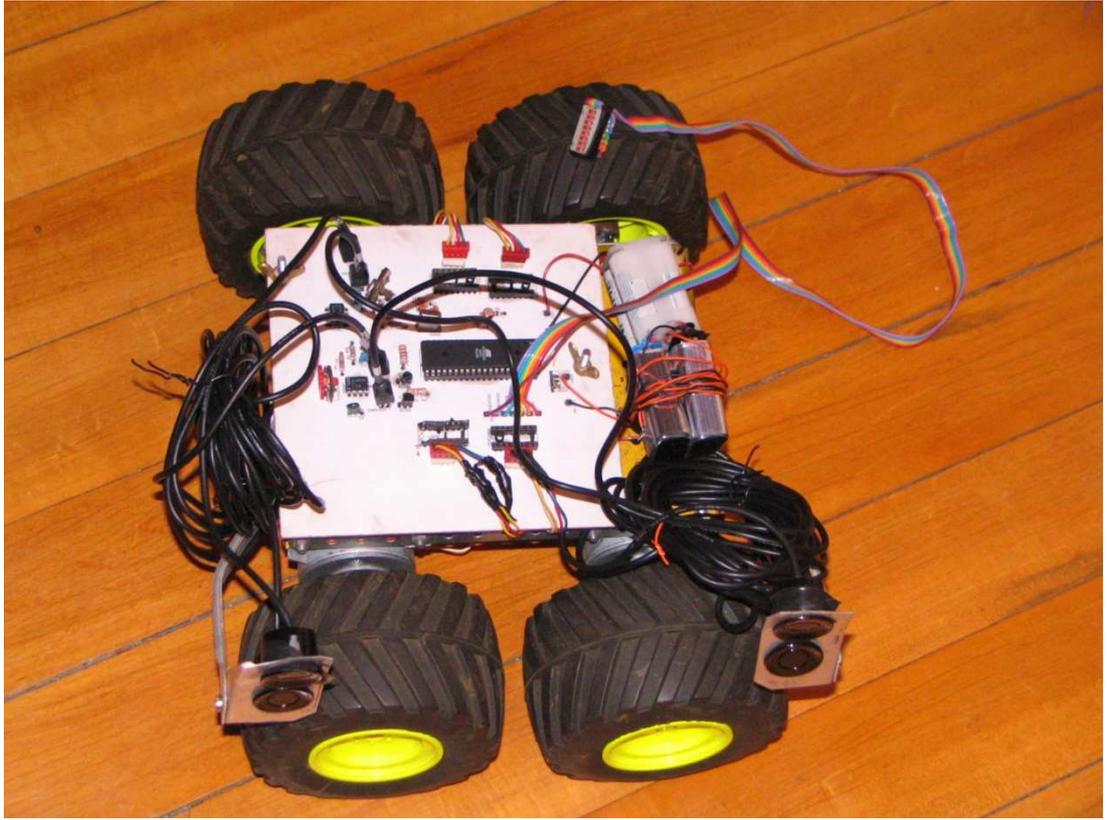


Figura A-20 Plataforma móvel – versão final

## APÊNDICE B:

Código *Assembly* Completo e Comentado Utilizado na Realização das Rotinas do Projeto

## APÊNDICE B: PROGRAMA COMPLETO DO MICROCONTROLADOR

Neste apêndice, será apresentado o código completo gravado no microcontrolador 8051 para realizar as operações desejadas. Os comentários estão destacados por ponto-e-vírgula e por diferenciação de cor.

ORG 00H

MOV R2, #60D ;da maneira como ficou definido o DELAY\_VELOCIDADE, permitindo ao usuário alterar o valor, é preciso começar o programa definindo um valor inicial de R2  
 MOV P0, #0H ;a porta P0 não tem resistores de *pull-up* internos, então, para não utilizar resistores externos, aciona-se o pino no *dip switch* em nível alto em vez de terra, e configura-se o micro para escrever #0 na porta, pois escrevendo #0FFH, por falta dos resistores, o nível na porta fica sempre em alto, independentemente do valor que tenha o pino (externo), então essa configuração não funciona.

SETB P3.6 ;deixa o transistor dos emissores em corte (como são PNP, tensão alta na base é que deixa em corte)  
 SETB P3.7

INICIO:

MOV P1, #0H ;sempre que o veículo estiver esperando comando, é importante que essas portas estejam zeradas para não manter as bobinas dos motores energizadas, gerando grande corrente.  
 MOV P2, #0H

COMANDO1:

MOV A, #00000001B ;a lista de comandos do 8051 permite executar "ANL P0, #00000001B" direto, mas isso resulta em #00000001B ou #00000000B na porta P0, que interfere na leitura, pois o micro deve estar enviando 1 na saída da P0 a fim de utilizar o pino como entrada.  
 ANL A, P0  
 JZ COMANDO2  
 CALL FRENTE  
 JMP INICIO

COMANDO2:

MOV A, #00000010B  
 ANL A, P0  
 JZ COMANDO3  
 CALL TRAS  
 JMP INICIO

COMANDO3:



;cada rotina de movimento frente/tras/direita/esquerda executa quatro passos nos motores.

FRENTE:

```

MOV P1, #01000100B
MOV P2, #01000100B

CALL DELAY_VELOCIDADE

MOV P1, #00100010B
MOV P2, #00100010B

CALL DELAY_VELOCIDADE

MOV P1, #10001000B
MOV P2, #10001000B

CALL DELAY_VELOCIDADE

MOV P1, #00010001B
MOV P2, #00010001B

CALL DELAY_VELOCIDADE

```

RET

.....

TRAS:

```

MOV P1, #10001000B
MOV P2, #10001000B

CALL DELAY_VELOCIDADE

MOV P1, #00100010B
MOV P2, #00100010B

CALL DELAY_VELOCIDADE

MOV P1, #01000100B
MOV P2, #01000100B

CALL DELAY_VELOCIDADE

MOV P1, #00010001B
MOV P2, #00010001B

CALL DELAY_VELOCIDADE

```





```

MOV A, R4
MOV B, #40D ;100mm/2,5mm = 40
DIV AB
JZ CALCULA_TAMANHO_DA_VAGA ;repete até começar a vaga

```

```
MOV R6, #00H
```

```
CONTINUA_MEDIR_VAGA:
```

```

MOV A, R4
MOV B, #40D ; 100mm/2,5mm = 40
DIV AB
JZ FINAL_DA_VAGA ;quando resultar menos de 10cm novamente, significa
que terminou a vaga
INC R6
CALL FRETE_12_VEZES
CALL MEDE_DISTANCIA_FRENTE_CONFERIDO
JMP CONTINUA_MEDIR_VAGA

```

```
FINAL_DA_VAGA:
```

```

MOV A, R6
MOV B, #28D ;definindo que seja preciso uma vaga de tamanho mínimo de
aproximadamente 40cm, tem-se: 40/1,4 = 28,5 => 28D como divisor
DIV AB
JNZ ESTACIONA_DE_FATO
LJMP INICIO ;caso a vaga seja pequena, volta para o início do código

```

```
ESTACIONA_DE_FATO:
```

```

MOV R7, #4D ;volta um pouco o veículo, pois ultrapassou a vaga
CALL TRAS_12_VEZES
DJNZ R7, $-2

```

MOV R7, #4D ;o veículo, para executar meia volta com *delay* ajustado para aproximadamente 20500 ciclos de máquina (20,5ms), levou 30s, ou seja, executou aproximadamente 1500 passos. Como a distância do centro do veículo à extremidade da roda é de 18cm, a distância percorrida pela extremidade é de  $18 \cdot \pi = 56,5$ cm. Assim, escolhendo-se um caminho periférico a percorrer de 7cm, são necessários 184 passos =  $4 \cdot (12 \cdot 4)$  passos, ou seja, executa-se 4 vezes a rotina que executa 12 vezes um ciclo de 4 passos.

```

CALL ESQUERDA_12_VEZES
DJNZ R7, $-2

```

CALL CM\_7\_PARA\_TRAS ;anda 14cm para trás, pois, depois de fazer a curva sobre seu eixo, o veículo ficou com a frente bastante fora da vaga

```
CALL CM_7_PARA_TRAS
```

```
REPETICAO:
```

```
MOV R7, #8D ;gira o dobro dos 7cm para o lado contrário
```

```
CALL DIREITA_12_VEZES
DJNZ R7, $-2
```

```
CALL CONFERE_DISTANCIA_FRENTE
JZ FRENTE_PERTO ;o comando JZ salta se o acumulador estiver zerado
```

```
CALL CM_7_PARA_FRENTE
```

```
MOV R7, #8D
CALL ESQUERDA_12_VEZES
DJNZ R7, $-2
```

```
CALL CONFERE_DISTANCIA_TRAS
JZ TRAS_PERTO
```

```
CALL CM_7_PARA_TRAS
```

```
JMP REPETICAO
```

```
FRENTE_PERTO:
```

```
CALL CM_7_PARA_FRENTE
```

```
MOV R7, #5D ;alinha girando 4 vezes, e gira mais uma
CALL ESQUERDA_12_VEZES
DJNZ R7, $-2
```

```
ROTINA_FRENTE_PERTO:
```

```
CALL CM_7_PARA_TRAS
CALL CONFERE_DISTANCIA_TRAS_PERTO
JZ TRAS_MUITO_PERTO
CALL DIREITA_12_VEZES
CALL DIREITA_12_VEZES
INICIO_DO_CASO_TRAS_PERTO:
CALL CM_7_PARA_FRENTE
CALL CONFERE_DISTANCIA_FRENTE_PERTO
JZ FRENTE_MUITO_PERTO
CALL ESQUERDA_12_VEZES
CALL ESQUERDA_12_VEZES
JMP ROTINA_FRENTE_PERTO
```

```
TRAS_PERTO:
```

```
CALL CM_7_PARA_TRAS
MOV R7, #5D ;alinha girando 4 vezes, e gira mais uma
CALL DIREITA_12_VEZES
```

```
DJNZ R7, #-2
JMP INICIO_DO_CASO_TRAS_PERTO
```

ALINHAR:

FRENTE\_MUITO\_PERTO:

```
CALL ESQUERDA_12_VEZES
CALL CONFERE_DISTANCIA_TRAS_PERTO
JZ FIM_DO_ESTACIONAMENTO
JMP FRENTE_MUITO_PERTO
```

TRAS\_MUITO\_PERTO:

```
CALL DIREITA_12_VEZES
CALL CONFERE_DISTANCIA_FRENTE_PERTO
JZ FIM_DO_ESTACIONAMENTO
JMP TRAS_MUITO_PERTO
```

FIM\_DO\_ESTACIONAMENTO:

RET

.....

CM\_7\_PARA\_TRAS:

```
MOV R7, #5D ;anda 7cm para trás:  $7/1,4 = 5$ 
CALL TRAS_12_VEZES
DJNZ R7, #-2
```

RET

.....

CM\_7\_PARA\_FRENTE:

```
MOV R7, #5D ;anda 7cm para frente
CALL FRENTE_12_VEZES
DJNZ R7, #-2
```

RET

.....

CONFERE\_DISTANCIA\_FRENTE: ;retorna 0 no acumulador se estiver a menos de 10cm, e valor não nulo se estiver a mais de 10cm

```
CALL MEDE_DISTANCIA_FRENTE_CONFERIDO
MOV A, R4
MOV B, #40D ;100mm/2,5mm = 40
DIV AB
```

RET

.....

CONFERE\_DISTANCIA\_TRAS: ;retorna 0 no acumulador se estiver a menos de 10cm, e valor não nulo se estiver a mais de 10cm

```

CALL MEDE_DISTANCIA_TRAS_CONFERIDO
MOV A, R5
MOV B, #40D ;100mm/2,5mm = 40
DIV AB
RET

```

```

:
:
:

```

CONFERE\_DISTANCIA\_FRENTE\_PERTO: ;retorna 0 no acumulador se estiver a menos de 1,5cm, e valor não nulo se estiver a mais de 1,5cm.

```

CALL MEDE_DISTANCIA_FRENTE_CONFERIDO
MOV A, R4
MOV B, #6D ;6*2,5mm = 1,5cm
DIV AB
RET

```

```

:
:
:

```

CONFERE\_DISTANCIA\_TRAS\_PERTO:

```

CALL MEDE_DISTANCIA_TRAS_CONFERIDO
MOV A, R5
MOV B, #6D
DIV AB
RET

```

```

:
:
:

```

FRENTE\_12\_VEZES:

;como a roda tem 11cm de diâmetro e um giro dela equivale a 1200 passos (motor de 1,8° com redução de 6x), a distância percorrida por passo é de  $34,5\text{cm}/1200 = 288\mu\text{m}/\text{passo}$ .

MOV R3, #12D ;a sub-rotina FRENTE executa 4 passos; com  $12 \times 4 = 48$  passos, tem-se uma medição a cada  $0,000288\text{m} \times 32 = 14\text{mm}$

```

CALL FRENTE
DJNZ R3, $-2
RET

```

```

:
:
:

```

TRAS\_12\_VEZES:

```

MOV R3, #12D
CALL TRAS
DJNZ R3, $-2
RET

```

```

:
:
:

```

```
DIREITA_12_VEZES:
    MOV R3, #12D
    CALL DIREITA
    DJNZ R3, $-2
RET
```

```
.....
```

```
ESQUERDA_12_VEZES:
    MOV R3, #12D
    CALL ESQUERDA
    DJNZ R3, $-2
RET
```

```
.....
```

```
MEDE_DISTANCIA_FRENTE:
```

;o tempo para percorrer meio comprimento de onda a 40kHz (erro na distância de ida e volta da onda de  $340\text{m/s} / 40000\text{Hz} / 2 = 4,25\text{mm}$ ) é 12,5us, que resulta em 12 ciclos de máquina.

;TMOD: *bit* 3 em baixo, para rodar o timer0 independentemente do valor de int0 (P3.2)

; *bit* 2 em baixo, pra incrementar o timer a cada ciclo de máquina

; *bit* 1 em baixo e *bit* 0 em alto, para usar o modo 16 *bits*

;TCON: (comando SETB TR0 põe TR0, *bit* do TCON, em funcionamento)

SETB P3.6 ;deixa o transistor do emissor em corte (como é PNP, tensão alta na base deixa em corte)

SETB P3.5 ;nível alto na saída do micro para o pino correspondente ao resultado do receptor, senão ela derruba a tensão do comparador e inviabiliza a medição

CALL DELAY\_VELOCIDADE ;apenas um *delay* qualquer suficiente para que um pulso eventualmente enviado antes de executar os comandos acima não seja capturado pelo sensor

CLR TR0 ;zera o *bit* que aciona o TR0

MOV TMOD, #00000001B ;define o modo funcionamento do TR0 (e do TR1)

MOV TL0, #0H ;zera o *byte* baixo do TR0

MOV TH0, #0H ;zera o *byte* alto do TR0

CLR TF0 ;zera o *bit* de *overflow* do TR0

CLR P3.6 ;liga o emissor 1 de ultrassom

SETB TR0 ;põe o TR0 em funcionamento

CICLO1: ;repete enquanto não vem resultado no *bit* do receptor, verificando se não excedeu a distância máxima que o sensor consegue captar

```
    JB TF0, DISTANCIA_EXCEDIDA1
```

```
    JNB P3.5, CICLO1 ;se não veio 1 lógico no P3.5, repete os comandos
```

```
    CLR P3.2 ;para o TR0
```

```
    SETB P3.6 ;para o emissor
```

```
    JMP CALCULA_DISTANCIA1
```

;obs.: do jeito como está feita a programação, o emissor permanece ligado o tempo todo até o receptor reconhecer um sinal. seria possível reprogramar para enviar apenas um ou alguns pulsos.

DISTANCIA\_EXCEDIDA1:

```
CLR TR0    ;para o TR0
SETB P3.6  ;para o emissor
MOV R4, #0FFH
RET
```

;o resultado armazenado será em múltiplos de quarto de centímetro

CALCULA\_DISTANCIA1:

```
MOV A, TL0
MOV B, #15D    ;340m/s x 15us / 2 = 2,5mm (como o sinal percorre o dobro da
distância, levando o dobro do tempo, é necessário dividir por 2)
```

```
DIV AB
```

```
MOV R4, A
```

```
REPETETH01:
```

```
MOV A, TH0
```

```
JZ AJUSTA_R4
```

```
DEC A      ;alternativa: fazer um MUL por 17 do valor que está no TH0 e
somar ao R3
```

```
MOV TH0, A
```

```
MOV A, R4
```

```
ADD A, #17D ;(256/15 = 17)
```

```
MOV R4, A
```

```
JMP REPETETH01
```

AJUSTA\_R4:

;mesmo "encostados" no obstáculo, emissor e sensor não marcarão uma distância nula. Há uma distância entre o próprio oscilador que fica dentro do encapsulamento plástico deles, além de uma distância mínima para capturar algum sinal sem encostar sensor/emissor no obstáculo (pois isso prejudicaria a leitura, já que a onda emitida pelo sensor seria bloqueada por ele mesmo). Assim, tem-se que fazer um ajuste no resultado obtido. Será determinado como 10mm, podendo alterar se necessário.

```
MOV A, R4
```

```
SUBB A, #04D ;10mm/2,5mm = 4
```

```
MOV R4, A
```

```
RET
```

```
.....
```

MEDE\_DISTANCIA\_TRAS:

```
SETB P3.7
```

```
SETB P3.5
```

```
CALL DELAY_VELOCIDADE
```

```

CLR TR0
MOV TMOD, #00000001B
MOV TL0, #0H
MOV TH0, #0H
CLR TF0
CLR P3.7
SETB TR0

```

```

CICLO2:
    JB TF0, DISTANCIA_EXCEDIDA2
    JNB P3.5, CICLO2
    CLR TR0
    SETB P3.7
    JMP CALCULA_DISTANCIA2

```

```

DISTANCIA_EXCEDIDA2:
    CLR TR0
    SETB P3.7
    MOV R5, #0FFH
    RET

```

```

CALCULA_DISTANCIA2:
    MOV A, TL0
    MOV B, #15D
    DIV AB
    MOV R5, A
    REPETETH02:
        MOV A, TH0
        JZ AJUSTA_R5
        DEC A
        MOV TH0, A
        MOV A, R5
        ADD A, #17D
        MOV R4, A
        JMP REPETETH02

```

```

AJUSTA_R5:
    MOV A, R5
    SUBB A, #08D
    MOV R5, A

```

```
RET
```

```
.....
```

;rotina que considera a possibilidade de interferência destrutiva do sinal de ultrassom, movimentando o veículo a fim de realizar nova medição

```
MEDE_DISTANCIA_FRENTE_CONFERIDO:
```

```
CALL MEDE_DISTANCIA_FRENTE
```

VERIFICA\_R4:

MOV A, R4

RLC A

JC SEGUNDA\_MEDIDA\_R4 ;isso considerará uma distância máxima de medição de  $0111111B \times 2,5mm = 127 \times 2,5mm = 31,75cm$ . Acima desse valor, mesmo que o sensor tenha conseguido captar um sinal real (o que não acontece devido à limitação de potência ou tensão no emissor), considerará que não captou nada.

RET

SEGUNDA\_MEDIDA\_R4:

CALL DIREITA

CALL DIREITA ;o veículo, para executar meia volta com *delay* ajustado para aproximadamente 20500 ciclos de máquina (20,5ms), demorou 30s, ou seja, executou aproximadamente 1500 passos. Como a distância do centro do veículo à extremidade da roda é de 18cm, a distância percorrida pela extremidade é de  $18 \times \pi = 56,5cm$ . Assim, para percorrer 2,125mm, são necessários 5,6 passos. Em função do erro de acionamento inicial, pode haver uma perda de até 3 passos nesse giro, então, como o movimento tem que ser, em realidade, próximo a um meio termo entre 0 e 10,2 passos (correspondente a meio comprimento de onda), podem-se executar oito passos, que seriam, de fato, entre 5 e 8, dependendo do erro inicial, satisfatório para garantir a saída da região de interferência muito destrutiva.

CALL MEDE\_DISTANCIA\_FRENTE

CALL ESQUERDA

CALL ESQUERDA

RET

.....

MEDE\_DISTANCIA\_TRAS\_CONFERIDO:

CALL MEDE\_DISTANCIA\_TRAS

VERIFICA\_R5:

MOV A, R5

RLC A

JC SEGUNDA\_MEDIDA\_R5

RET

SEGUNDA\_MEDIDA\_R5:

CALL DIREITA

CALL DIREITA

CALL MEDE\_DISTANCIA\_TRAS

CALL ESQUERDA

CALL ESQUERDA

RET

END