



# UNIVERSIDADE BRAZ CUBAS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS

## TRABALHO DE GRADUAÇÃO INTERDISCIPLINAR

Curso	Engenharia de Computação	Data	1º Semestre 2005
Aluno	Carlos Alberto Gonçalves Abreu	RGM	126.749
Orientador	Prof. Dr. RICARDO TEIXEIRA DE CARVALHO		

Título: **MEDIÇÕES DE DISTÂNCIAS POR MEIO DE TRANSDUTORES ULTRA-SÔNICOS**

### Resumo:

A motivação para a realização deste trabalho, foi poder medir a distância entre um obstáculo e um veículo, por meio de transdutores ultra-sônicos e o valor desta distância ser apresentada em um *display* de cristal liquido.

O projeto aqui desenvolvido apresenta o seguinte funcionamento: transmite-se um trem de pulsos em um emissor ultra-sônico, dispara-se um *timer* aguardando um sinal de retorno (eco). Em virtude do tempo decorrido desde a transmissão até a recepção do eco, temos a distância relativa do obstáculo.

Os testes realizados mostram que o objetivo foi alcançado, mostrando a distância com precisão de centímetros.

Banca 1	Prof. Dr. Marcos Massi				
Banca 2	Prof. Dr. Evandro				
Data	20-Jun-2005	Horário	19:00	Laboratório	2
Avaliação	Nota Final =	Rubrica (Banca):			
Coordenador	Prof. Pio Torre Flores		Coordenadoria dos Curso de Computação (11) 4791-8292 Campus I - Av. Francisco Rodrigues Filho, 1233 Mogilar – CEP 08773-380 – Mogi das Cruzes, SP Tel. (11) 4791-8000 – Fax (11) 4790-3844 acet@brazcubas.br – <a href="http://www.brazcubas.br">www.brazcubas.br</a>		
Diretor de Ensino e Extensão	Prof. Pécio Chamma Junior				

**MEDIÇÕES DE DISTÂNCIAS POR MEIO DE TRANSDUTORES ULTRA-SÔNICOS**

**TRABALHO DE GRADUAÇÃO INTERDISCIPLINAR  
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

**CARLOS ALBERTO GONÇALVES ABREU**

**UNIVERSIDADE BRAZ CUBAS  
MOGI DAS CRUZES**

**MEDIÇÕES DE DISTÂNCIAS POR MEIO DE TRANSDUTORES ULTRA-SÔNICOS**

**TRABALHO DE GRADUAÇÃO INTERDISCIPLINAR**

**CARLOS ALBERTO GONÇALVES ABREU**

**ORIENTADOR Prof. Dr. RICARDO TEIXEIRA DE CARVALHO**

**UNIVERSIDADE BRAZ CUBAS  
CURSO ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO**

**MOGI DAS CRUZES -SP**

**2005**

Esta publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação Interdisciplinar.

Mogi das Cruzes, 20 de junho de 2005.

Aluno

CARLOS ALBERTO GONÇALVES ABREU  
RGM: 126749

Orientador Prof. Dr. RICARDO TEIXEIRA DE CARVALHO

Prof. Pio Torre Flores  
Coordenador de Curso

Prof. Pércio Chamma Júnior  
Diretor de Ensino e Extensão

# AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares, em especial meus pais Luciano e Maria Cildina (*in memoriam*) e minha noiva, pela força e carinho dispensados durante este período da vida acadêmica.

Ao Paulo Resende Ferreira, Pedro Yukio Tsuge e ao Cláudio Remo Truffa, pelo apoio dispensado nos laboratórios em que foi elaborado este trabalho e também aos mestres que apoiaram e dispensaram seu tempo precioso, no intuito de esclarecer dúvidas e também na revisão de todo o trabalho.

Aos amigos conquistados por este período e que, de certa forma, colaboraram para a realização deste trabalho.

E a todos as pessoas que infelizmente não puderam figurar nesta página, mas que não esquecerei da ajuda dispensada.

# RESUMO

A motivação para a realização deste trabalho, foi poder medir a distância entre um obstáculo e um veículo, por meio de transdutores ultra-sônicos e o valor desta distância ser apresentada em um *display* de cristal líquido.

O projeto aqui desenvolvido apresenta o seguinte funcionamento: transmite-se um trem de pulsos em um emissor ultra-sônico, dispara-se um *timer* aguardando um sinal de retorno (eco). Em virtude do tempo decorrido desde a transmissão até a recepção do eco, temos a distância relativa do obstáculo.

Os testes realizados mostram que o objetivo foi alcançado, mostrando a distância com precisão de centímetros.

# ABSTRACT

The motivation for the accomplishment of this work, was to be able to measure in the distance between an obstacle and a vehicle, by means of ultrasonic transducers and the value of this distance to be presented in a liquid crystal display.

The project developed here presents the following functioning: a pulse train in an ultrasonic sender is transmitted, is gone off to timer waiting a return signal (echo). In virtue of the passed time since the transmission until the reception of the echo, we have in the distance relative of the obstacle.

The carried through tests show that the objective was reached, showing in the distance with precision of centimeters.

# SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO .....	ii
ABSTRACT .....	iii
SUMÁRIO.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE TABELAS .....	vi
CAPÍTULO 1 .....	1
ESTRUTURA DO TGI .....	1
1.1 INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 2 .....	3
FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	3
2.1 MOVIMENTO ONDULATÓRIO .....	3
2.2 CARACTERÍSTICAS DO SOM .....	4
2.3 ULTRA-SONS .....	5
2.4 CRISTAIS PIEZOELÉTRICOS .....	6
2.5 TRANSDUTORES ULTRA-SÔNICOS.....	7
CAPÍTULO 3 .....	9
PROCESSADORES E MICROCONTROLADORES .....	9
3.1 PROCESSADORES.....	9
3.2 ARQUITETURA HAVARD E VON NEUMANN.....	10
3.3 MICROCONTROLADORES .....	12
3.4 PIC .....	13
3.5 PIC 16F870.....	13
CAPÍTULO 4 .....	16
PROJETO.....	16
4.1 PROJETO DO SISTEMA .....	16
4.2 DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA .....	17
4.2.1 GERADOR DE SINAIS.....	17
4.2.2 AMPLIFICADOR .....	19
4.2.3 DETECTOR .....	20
4.2.4 COMPARADOR.....	21
4.2.5 MICROCONTROLADOR / <i>DISPLAY</i> .....	22
4.3 DIAGRAMA DE FLUXO DE DADOS .....	23
4.4 EQUIPAMENTOS E SOFTWARES UTILIZADOS .....	24
CAPÍTULO 5 .....	25
TESTES E RESULTADOS .....	25
5.1 TESTES DOS MÓDULOS .....	25
5.2 RESULTADOS .....	32
CAPÍTULO 6 .....	36
CONCLUSÃO.....	36
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	37
BIBLIOGRAFIA.....	38



APÊNDICE .....	39
1 Código-fonte do pisca-pisca .....	39
2 Código-fonte do pisca-pisca e LCD .....	40
3 Código-fonte do programa final .....	41
GLOSSÁRIO .....	43

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Senóide.....	3
Figura 2.2: Transdutores Ultra-sônicos .....	7
Figura 3.1: Unidade Lógica e Aritmética. ....	10
Figura 3.2: Arquitetura Von-Neumann. ....	10
Figura 3.3: Arquitetura Havard. ....	11
Figura 3.4: Pinagem do PIC 16F87X. ....	14
Figura 4.1: Diagrama de blocos do sistema.....	17
Figura 4.2: Esquema Elétrico do Gerador de Sinais.....	18
Figura 4.3: Esquema Elétrico do Amplificador.....	19
Figura 4.4: Esquema Elétrico do Detector / Filtro. ....	20
Figura 4.5: Esquema Elétrico do Comparador. ....	21
Figura 4.6: Esquema Elétrico do Microcontrolador. ....	22
Figura 4.7: Diagrama de Fluxo de Dados.....	23
Figura 5.1: Transdutor excitado com 40kHz. ....	26
Figura 5.2: Transdutor excitado com 42kHz.....	26
Figura 5.3: Transdutores separados em 1cm. ....	27
Figura 5.4: Transdutores separados em 2cm .....	27
Figura 5.5: Transdutores separados em 3cm .....	27
Figura 5.6: Esquema eletrônico do amplificador / detector de sinais.....	28
Figura 5.7: Esquema elétrico do pisca-pisca. ....	29
Figura 5.8: Esquema elétrico do “pisca-pisca” e LCD com o LED aceso e a respectiva indicação ( <i>Software</i> PROTEUS®). ....	30
Figura 5.9: Esquema elétrico do “pisca-pisca” e LCD com o LED apagado e a respectiva indicação ( <i>Software</i> PROTEUS®). ....	30
Figura 5.10: Esquema elétrico completo do circuito.....	31
Figura 5.11: Disposição dos transdutores e do anteparo (10cm).....	34
Figura 5.12: <i>Display</i> informando a distância (10cm).....	34
Figura 5.13: Disposição dos transdutores e do anteparo (15cm).....	35
Figura 5.14: <i>Display</i> informando a distância (15cm).....	35

# ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1: Fabricantes de sensores ultra-sônicos.....	8
Tabela 3.1: PIC16F870 - Pinagem e suas funções. ....	14
Tabela 5.1: Dados obtidos preliminarmente.....	32
Tabela 5.2: Dados obtidos após ajustes no <i>software</i> . ....	33

# CAPÍTULO 1

## ESTRUTURA DO TGI

Neste capítulo, temos a estrutura do trabalho, mostrando em poucas palavras os capítulos posteriores.

No capítulo 2 temos a introdução, será abordado o tema, assim como os objetivos a que se propõe o projeto.

Já no capítulo 3 será abordado os princípios físicos envolvidos no projeto.

A seguir, no capítulo 4, será estudado o ‘cérebro’ do projeto, ou seja, o microcontrolador, pois o mesmo realiza funções específicas, tais como disparar um *timer* e mostrar os resultados em um *display*.

No capítulo 5 está enumerado os equipamentos e também os *softwares* utilizados no projeto.

O capítulo 6 mostrará os testes com alguns módulos do projeto, onde é possível observar o funcionamento dos mesmos e obter a máxima eficiência dos módulos envolvidos.

Já o capítulo 7 traz os resultados do projeto e as considerações finais.

### 1.1 INTRODUÇÃO

A utilização da tecnologia dos ultra-sons para medir distâncias no meio automotivo tem como objetivo a segurança e a redução de custos de manutenção, problema observado quando se estaciona qualquer veículo numa vaga, estando sujeito a danos ao veículo ou mesmo a carga por ele transportada.

Existe também a minimização dos custos por parte de seguradoras, onde um dispositivo capaz de medir distâncias, instalado na parte traseira e/ou dianteira dos veículos, proporcionaria, por meio de um *display*, informações relativas à distância do veículo ao obstáculo, evitando assim danos e conseqüentemente prejuízos.

No mercado atual, somente alguns veículos possuem um dispositivo semelhante, mas a sinalização é feita por meio de sons, onde, quanto mais próximo do obstáculo, maior a frequência do som emitido.

A escolha dos transdutores ultra-sônicos, para medir distâncias, além de ser relativamente simples, é também imune a variações de luminosidade e também de ruídos, que no projeto atende perfeitamente os requisitos do mercado.

O software implementado gerenciará toda a informação vinda do sensor, calculando a distância e apresentando os dados em um *display* de cristal líquido, *software* este que estará gravado em um microcontrolador, tornando o projeto compacto, robusto e de baixo custo.

# CAPÍTULO 2

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Este capítulo abordará os princípios físicos envolvidos no projeto, que basicamente são os sons, mais precisamente os ultra-sons. Também será explicado como é o funcionamento dos sensores ultra-sônicos e as respectivas respostas aos estímulos.

### 2.1 MOVIMENTO ONDULATÓRIO

O movimento ondulatório que define um som pode ser compreendido com uma onda senoidal, como na figura 2.1.

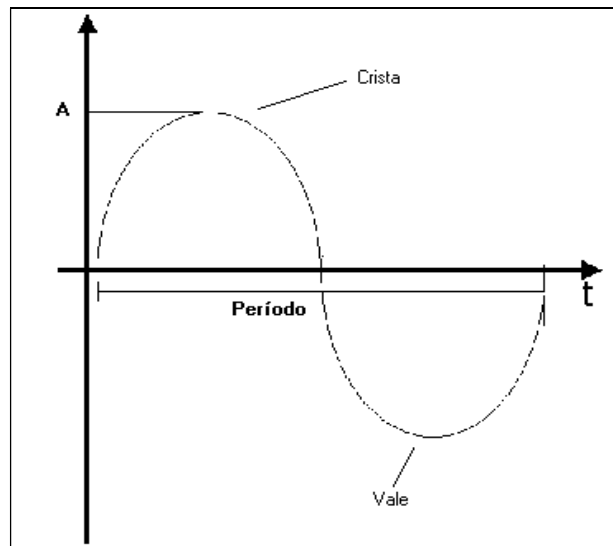


Figura 2.1: Senóide

Assim, a amplitude de uma onda é a altura máxima de uma crista ou a profundidade de um vale. O comprimento de onda é dado entre a distância de duas

cristas ou vales. Como a onda é expressa em relação ao tempo, temos a frequência, que é o número de vezes que uma onda completa faz em 1 segundo, ou seja, se uma onda para completar um ciclo demorar 1 segundo, temos a frequência de 1Hz. Este tempo é denominado de período e é dado pelo inverso da frequência.

$$T = \frac{1}{f} \quad 2.1$$

Onde:

$T$ : é o período em segundos;

$f$ : é a frequência em hertz;

## 2.2 CARACTERÍSTICAS DO SOM

O som é caracterizado pelas vibrações longitudinais causadas a algum meio material, seja ele líquido, sólido ou gasoso. Estas vibrações se dão por meio do movimento das moléculas, sendo assim, no vácuo as ondas sonoras não se propagam.

A faixa de frequência capaz de estimular o ouvido humano é compreendida entre 20Hz e 20kHz. Frequências acima desta faixa, são denominadas ultra-sons e abaixo dela, infra-sons.

Os infra-sons são geralmente produzidos por fontes de grande tamanho, sendo exemplo os terremotos. Os ultra-sons podem ser produzidas por vibrações de um cristal ou cerâmica, induzidos por ressonância com um campo elétrico alternado (efeito piezo-elétrico).

A velocidade do som nos gases é dada pela seguinte equação:

$$c = \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T} \quad 2.2$$

Onde:

$c$  é a velocidade do som em m/s;

$\gamma$  é o índice adiabático, que no caso do ar é de 1,4;

$R$  é a constante dos gases, que para o ar, essa constante é de 286,9 J/(Kg\*K);

$T$  é a temperatura absoluta, em Kelvin;

No ar a velocidade do som atinge 331 metros por segundo a 0°C, aumentando cerca de 55cm/s a cada grau centígrado acima de zero. Na água o som percorre cerca

de 1,5 km por segundo. A velocidade de propagação do som é ainda maior nos sólidos. Num cabo de aço, atinge 5 km por segundo.

A sensação sonora de um som depende da frequência das vibrações, mas a velocidade de propagação é a mesma, seja ela qual for. Um som agudo é mais alto que um som grave, mesmo que eles tenham a mesma amplitude.

## 2.3 ULTRA-SONS

Galtin idealizou um apito que emitia sons ultra-sônicos utilizado por caçadores para chamar seus cães, já que os cães reagiam aos sons inaudíveis ao ouvido humano, e desta forma os guardas florestais não notavam a presença dos caçadores em meio à floresta.

O físico francês Paul Langevin propôs a utilização dos sons inaudíveis para detectar os submarinos inimigos. O seu raciocínio era muito simples: um emissor especial lançara numa determinada direção, e sob a água, um breve sinal ultra-sônico. Se a via estivesse livre, o sinal se propagava até sua extinção. Se, ao contrário, encontrava um obstáculo qualquer de uma densidade diferente da água, o som refletia sobre si próprio e regressava ao emissor, sob a forma de eco. A volta do eco indicava a presença no mar de um corpo estranho.

Simultaneamente, podia-se determinar a distância entre o obstáculo e o ponto de emissão do sinal. Com efeito: suponhamos que o sinal refletido regressasse três segundos depois de ter sido emitido. Sabe-se que em um segundo o som percorre na água cerca de 1,5 km; em três segundos ele terá, portanto, percorrido cerca de 4,5 km. Considerando que o som vai primeiro em um sentido e depois retorna, dividamos o resultado obtido por dois, vê-se que, no exemplo considerado, o objeto descoberto se encontra a pouco mais de 2 km.

Desde as primeiras experiências com ultra-sons, observou-se que eles se propagam seguindo um feixe estreito.

Então temos como equação da distância percorrida pelo ultra-som:

$$d = \frac{c \cdot t}{2} \quad 2.3$$

Onde:

- $d$  é a distância em metros;
- $c$  é a velocidade do som em m/s;
- $t$ , o tempo em segundos.

Para obter a distância entre o emissor e o obstáculo, emite-se um breve sinal ultra-sônico, dispara-se um *timer* e, assim que o eco retornar, interrompe-se o *timer* e o tempo obtido pelo mesmo e aplicando-se a equação 2.3, temos a distância.

Hoje, o ultra-som é largamente utilizado em diversos segmentos, desde simples alarmes veiculares a ensaios não destrutivos.

## 2.4 CRISTAIS PIEZOELÉTRICOS

Uma lâmina delgada de um cristal de quartzo, cortada de uma certa maneira, goza de certas propriedades. Quando é comprimida, aparecem nas duas faces opostas perpendiculares ao eixo de pressão, cargas elétricas de sinais contrários. É o que se chama o efeito piezo-elétrico, o que significa produção de eletricidade sob o efeito da pressão.

Se carregarmos as suas faces opostas de eletricidade de sinais contrários, cada mudança no sinal das cargas implica uma mudança de forma da lâmina, que dilata e se contrai na mesma velocidade. As contrações e dilatações alternadas, propagando-se no espaço, dão origem a uma onda, e neste caso, a lâmina torna-se uma fonte de ondas, um emissor.

Se as cargas elétricas aplicadas às faces da lâmina forem invertidas a freqüência de ressonância, a amplitude das vibrações crescerá, mesmo que a tensão elétrica se mantenha constante, assim a potência do ultra-som aumentará, pois a lâmina estará vibrando com maior eficiência.

Quanto mais delgada for a lâmina, mais elevada é a sua freqüência de ressonância. Para uma lâmina de 1mm de espessura, a freqüência de ressonância é de 2,88 MHz.

Pode-se trabalhar no formato do cristal ou da cerâmica, de forma que atenda certas exigências e também em determinadas aplicações, que podem exigir uma certa freqüência de ressonância ou um formato incomum.



Atualmente, utiliza-se os titanatos, que tem propriedades piezoelétricas acentuadas, mas existem também cerâmicas com tais propriedades.

## 2.5 TRANSDUTORES ULTRA-SÔNICOS

Transdutores ultra-sônicos são dispositivos capazes de emitir, mediante a estímulo elétrico e receber, gerando uma tensão elétrica. São fabricados com materiais de propriedades piezoelétricas, tais como as cerâmicas e cristais de quartzo, que tem como principal característica a frequência de ressonância.

Existem também as diferenças de construções, onde o meio onde serão submetidos é levado em conta. Como exemplo temos os sensores para serem usados ao ar livre e os sensores para serem usados dentro de líquidos. Na figura 2.2 temos o exemplo de transdutores utilizados ao ar livre.

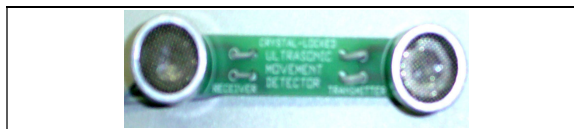


Figura 2.2: Transdutores Ultra-sônicos

Estes sensores operam da seguinte maneira: ao serem atingidos por uma onda ultra-sônica, o cristal dentro deles vibra, produzindo uma tensão elétrica de alguns milivolts em seus terminais, proporcional à distância entre o emissor e receptor e a intensidade do sinal aplicado ao transmissor. Além disso, a sua máxima eficiência se dá quando a frequência captada pelo sensor esteja na mesma frequência de ressonância para a qual ele foi especificado.

Aplicando o sinal recebido a um amplificador, podemos condicionar o sinal e assim manipular essa grandeza elétrica da melhor forma possível, ou seja, adequar o sinal para que o mesmo possa ser utilizado, como por exemplo, excitar um circuito digital.

No mercado, existem sensores de diversas frequências de operação, mas comumente encontram-se sensores de 40kHz, utilizados na maioria das aplicações.

O campo de aplicações é vasto, dentre eles pode-se citar:

- Na indústria petrolífera, na procura de fissuras em oleodutos;
- Na pesca, detectando cardumes de peixes;
- Na segurança, em alarmes.

Abaixo, na tabela 2.1, são apresentados alguns fabricantes deste tipo de dispositivos. Estes fabricantes têm disponíveis em seus *sites* catálogos com informações técnicas acerca dos sensores por elas produzidas.

Tabela 2.1: Fabricantes de sensores ultra-sônicos.

Murata	<a href="http://www.murata.com">http://www.murata.com</a>
Hexamite	<a href="http://www.hexamite.com">http://www.hexamite.com</a>
Channel Industries	<a href="http://www.chanelindustries.com">http://www.chanelindustries.com</a>

# CAPÍTULO 3

## PROCESSADORES E MICROCONTROLADORES

Neste capítulo, serão apresentados os processadores e microcontroladores, suas funções básicas e a diferença entre os eles.

### 3.1 PROCESSADORES

Os processadores são dispositivos semicondutores de silício capazes de realizar operações lógicas e aritméticas, tais como soma, subtração, deslocamento de *bits*, comparação entre *bytes*.

O processador possui um ou mais registradores, que são posições de memória de uso específico, onde podem armazenar o resultado de uma operação ou indicar algum *status* do processador, como por exemplo, se a operação retornou um valor negativo.

A principal estrutura dos processadores são as ULA, que são as Unidades Lógicas e Aritméticas, onde todo o processamento de dados é feito. Normalmente, a ULA é fisicamente ligado a algum registrador. A operação da ULA ocorre da seguinte maneira: carrega-se um dado no registrador A; carrega-se outro dado no registrador B, escolhe a operação desejada entre os registradores; o resultado volta para o registrador A. Na figura 3.1 está exemplificado a estrutura da ULA.

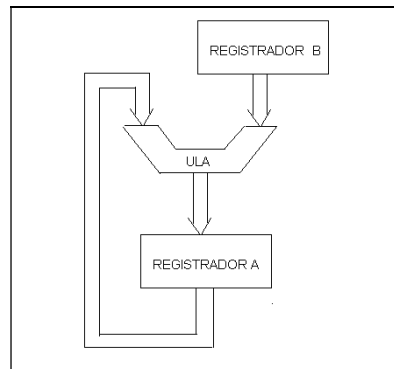


Figura 3.1: Unidade Lógica e Aritmética.

## 3.2 ARQUITETURA HAVARD E VON NEUMANN

Existem dois tipos de arquiteturas básicas de processadores: a arquitetura Von Neumann e Havard.

A arquitetura von-Neumann, utiliza-se apenas de um barramento interno, por onde circulam as instruções e dados e outro barramento de controle. A figura 3.2 mostra a representação gráfica da arquitetura von-Neumann.

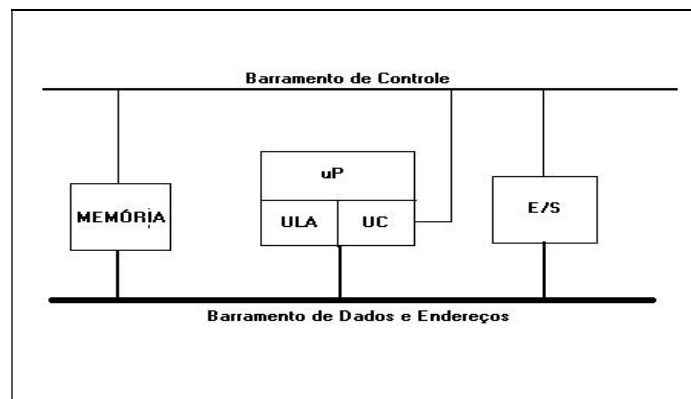


Figura 3.2: Arquitetura Von-Neumann.

A arquitetura Havard possui dois barramentos separados, sendo um de dados e outro de instruções. Sendo assim, enquanto uma instrução é executada outra está sendo ‘buscada’ na memória, o que torna possível um ganho de velocidade na execução do programa, a este mecanismo denomina-se de *pipeline*. Abaixo, na figura 3.3, segue a representação da arquitetura Havard.

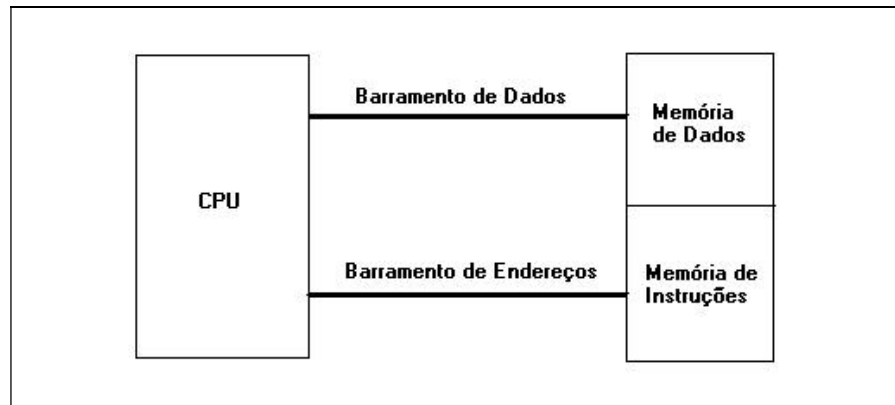


Figura 3.3: Arquitetura Havard.

Essa arquitetura permite que o processador tenha um conjunto de instruções reduzido chamado de *RISC* (*Reduced Instruction Set Computer*), que no caso do PIC, possui 35 instruções, enquanto que muitos processadores possuem um conjunto complexo de instruções, chamado de *CISC* (*Complex Instruction Set Computer*) chegando a mais de uma centena de instruções. Porém, muitas funções devem ser criadas na arquitetura *RISC*, principalmente instruções matemáticas, tais como de multiplicação e divisão.

Um exemplo de processador que utiliza o conjunto *CISC* é o Z80 e os processadores padrão x86 da Intel. Já com o conjunto *RISC*, podemos utilizar como exemplo os da família PIC e também os da família MSP, da *Texas Instruments*.

### 3.3 MICROCONTROLADORES

Os microcontroladores são dispositivos capazes de realizar diversas operações, que envolvem processamento matemático e também a respostas do meio externo, por meio de sensores. A diferença entre um processador e o microcontrolador é que o processador possui uma Unidade Central de Processamento (*CPU - Central Processor Unit*), Unidade Lógica e Aritmética (*ALU - Aritmético Logic Unit*) e uma Unidade de Controle (*UC - Control Unit -*). Já os microcontroladores, além do processador interno, possui subsistemas tais como Memória de Acesso Aleatório (*RAM - Random Access Memory -*) e Memória Apenas de Leitura (*ROM - Read Only Memory*), conversores analógicos para digitais (*A/D*), conversores digitais para analógicos (*D/A*), *timers* e contadores, pulso modulado por frequência (*PWM - Pulse Width Modulation*), etc. tudo em um único circuito integrado.

Sendo assim, os sistemas microcontrolados ficam otimizados e de tamanho reduzido, conseqüentemente, com um custo/benefício competitivo, dependendo do caso, frente a sistemas com PLC (*Programable Logic Control*) ou de lógica fixa.

O microcontrolador é empregado principalmente em sistemas embarcados, eletrodomésticos e sistemas de controles industriais (PLC). Dependendo do tipo do microcontrolador, pode-se gravar o programa em sua EEPROM ou memória *Flash*, de forma que pode-se atualizar o *software*, sem a necessidade de refazer o circuito eletrônico. A gravação neste tipo de memória permite que o programa gravado não se perca, mesmo que a alimentação seja cortada, diferentemente das memórias RAM.

No mercado existem diversas famílias de microcontroladores, tais como MCS-51 da Intel, MSP da Texas Instruments, HC da Philips e Motorola, COP da National, PIC da Microchip, AVR da Atmel entre outros. Cada um tem suas vantagens e desvantagens em relação aos outros, mas basicamente são escolhidos pelo usuário devido às ferramentas oferecidas e também pelos recursos disponíveis em cada família.

No projeto proposto, será utilizado o microcontrolador PIC da Microchip, devido a sua facilidade de programação e gravação do mesmo, além de ser facilmente encontrado em lojas do ramo eletrônico.

### 3.4 PIC

Esta família de microcontroladores, fabricados pela Microchip, tem como característica o baixo custo e um conjunto de instruções reduzido (*RISC*), devido a sua arquitetura interna, do tipo Harvard. Possui também gravadores de baixo custo, podendo mesmo ser confeccionado pelo próprio usuário, tornando assim a escolha ideal em pequenos e médios projetos.

Outra facilidade desta família está no fato de que pode atualizar-se o microcontrolador, sem que tenha que refazer todo o *software* novamente, já que as instruções são semelhantes entre si, diferindo apenas em algumas particularidades do *hardware*.

### 3.5 PIC 16F870

Microcontrolador que possui as seguintes características:

- 2K x 14 *word* de memória *flash*;
- 128 x 8 *bytes* de memória de dados;
- 64 x 8 *bytes* de *EEPROM*;
- 2 *Timers* de 8 *bits*;
- 1 *Timer* de 16 *bits*;
- 10 interrupções;
- 1 *PWM*;
- 5 entradas A/D de 10 bits de resolução;
- 1 *USART*;
- Encapsulamento 28 ou 40 pinos DIP;
- Compatível com toda a linha 16Cxxx e 16Fxxx;
- Instruções de 200ns@20MHz;

Além destas características, é escalável e imune a ruídos. Não necessita de alimentação simétrica e tem saída TTL. Na figura 3.4, temos um diagrama de pinos do PIC 16F870 e na tabela 3.1, temos os pinos e suas funções.

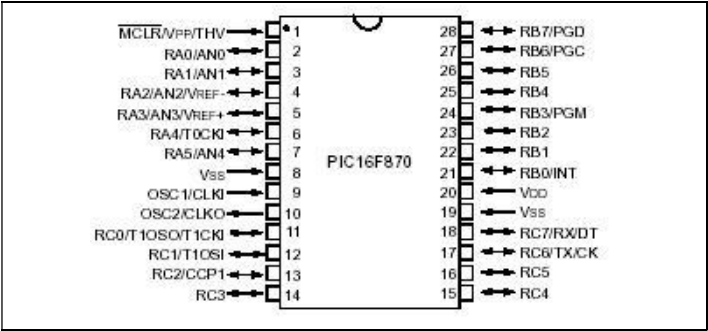


Figura 3.4: Pinagem do PIC 16F87X.  
Fonte: *DataSheet* da Microchip.

Tabela 3.1: PIC16F870 - Pinagem e suas funções.  
Fonte: *DataSheet* da Microchip.



PINO	NÚMERO DO PINO	DESCRIÇÃO
OSC1 / CLK1	9	Entrada do Cristal Oscilador / <i>Clock</i> externo.
OSC2 / CLK0	10	Saída do Cristal Oscilador / Saída <i>Clock</i> (1/4).
MCLR / V <sub>pp</sub> / THV	1	<i>Reset</i> ativo em nível baixo/ Entrada da voltagem para programação (13Volts).
PORTA A Bi-Direcional ou Entradas Analógicas		
RA0 / AN0	2	PORTA A0 ou entrada analógica 0
RA1/ AN1	3	PORTA A1 ou entrada analógica 1
RA2 / AN2 / VREF -	4	PORTA A2 ou entrada analógica 2 ou referência negativa de voltagem do A/D
RA3 / AN3 / VREF +	5	PORTA A3 ou entrada analógica 3 ou referência positiva de voltagem do A/D
RA4 / T0CKI	6	PORTA A4 ou <i>Timer</i> 0 entrada de <i>Clock</i>
RA5 / AN4	7	PORTA A5 ou entrada analógica 4
PORTA B Bi-Direcional com resistores de <i>pull-up</i> configurado por <i>software</i>		
RB0 / INT	21	PORTA B0 / Entrada de interrupção externa
RB1	22	PORTA B1
RB2	23	PORTA B2
RB3 / PGM	24	PORTA B3 / Programação com baixa voltagem
RB4	25	PORTA B4 / Interrupção por mudança de estado
RB5	26	PORTA B5 / Interrupção por mudança de estado
RB6 / PGC	27	PORTA B6 / Interrupção por mudança de estado / <i>Clock</i> para programação / <i>ICD</i>
RB7 / PGD	28	PORTA B7 / Interrupção por mudança de estado / Dados para programação / <i>ICD</i>
RC0 / T1OSO / T1CKI	11	PORTA C0 / Saída do oscilador <i>Timer</i> 1 / <i>Timer</i> 1 entrada de <i>clock</i>
RC1 / T1OSI	12	PORTA C1 / Entrada do oscilador do <i>Timer</i> 1
RC2 / CCP1	13	PORTA C2 / Entrada captura, saída do comparador , saída <i>PWM</i> 1
RC3	14	PORTA C3
RC4	15	PORTA C4
RC5	16	PORTA C5
RC6 / TX / CK	17	PORTA C6 / Saída Serial
RC7 / RX / DT	18	PORTA C7 / Entrada Serial
V <sub>dd</sub> / V <sub>ss</sub>	8 / 19 / 20	Alimentação Terra, 5V

# CAPÍTULO 4

## PROJETO

Neste capítulo, serão apresentados o projeto do sistema, os equipamentos e *softwares* utilizados e também o processo de execução do mesmo.

Serão apresentados o diagrama de blocos do projeto e o fluxograma do *software* implementado.

### 4.1 PROJETO DO SISTEMA

Consiste, além do planejamento, na montagem, programação, testes de bancada e validação do dispositivo.

Primeiramente, foi feita uma pesquisa sobre ultra-sons e sua aplicação, a necessidade do mercado e da viabilidade técnica deste projeto, já explanado no capítulo I. Com esta pesquisa, descobriu que é amplamente utilizado na indústria, em processos industriais e também para equipar automóveis, no que tange a segurança do mesmo.

Foram feitas também, pesquisa sobre os circuitos utilizados no projeto e também sobre *kits* que implementam o sistema de ultra-som. Esses *kits* são comercializados por lojas do ramo de eletrônica para robótica, utilizados para a detecção de obstáculos.

Além dos *kits*, existem também alarmes automotivos, mas com um funcionamento ligeiramente diferente, onde a distância não é importante, mas sim se o sinal emitido foi alterado em algum momento. Ainda no setor automobilístico, temos em alguns modelos de veículos um alarme contra obstáculos que utiliza sons para sinalizar o motorista sobre a proximidade dos mesmos.

## 4.2 DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA

Abaixo, na figura 4.1, temos o diagrama funcional do sistema. Ele está dividido em cinco blocos principais, onde cada um deles tem uma determinada função.

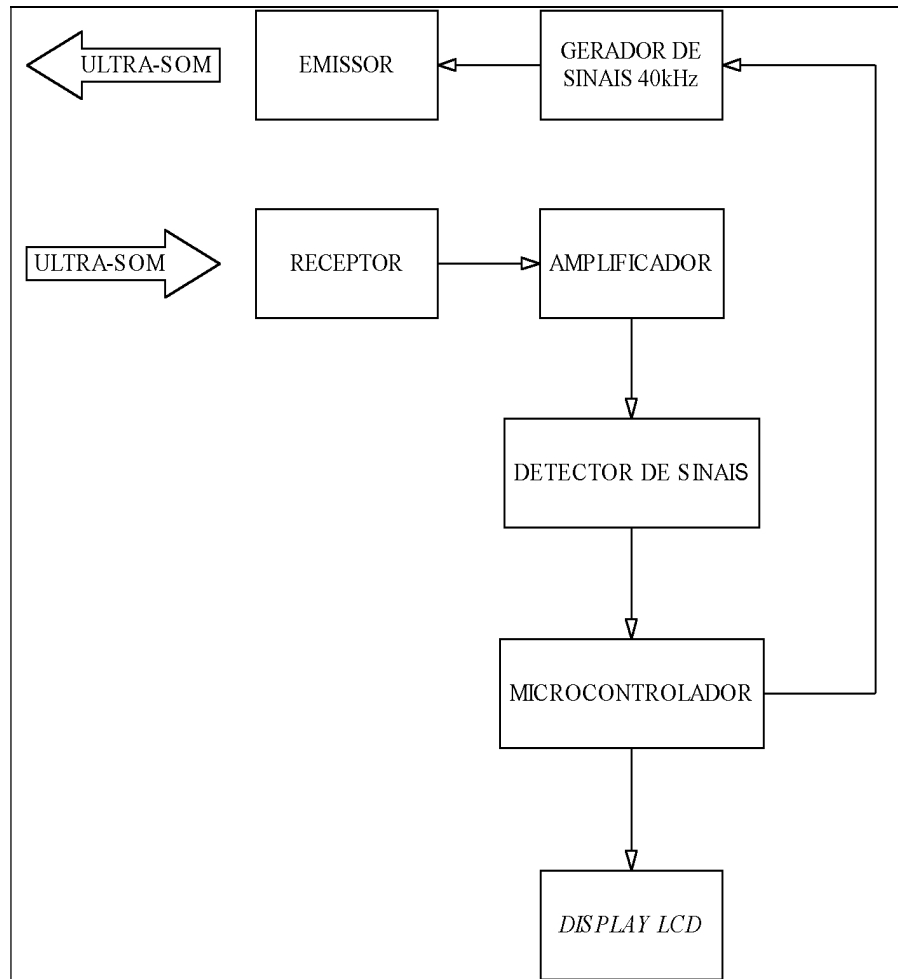


Figura 4.1: Diagrama de blocos do sistema.

### 4.2.1 GERADOR DE SINAIS

Circuito capaz de gerar um sinal de onda quadrada, com frequência de 40kHz e 12V de amplitude. A base deste gerador é um circuito integrado LM 555, na configuração astável, e pode ser visto na figura 4.2. O funcionamento deste circuito se baseia na carga e descarga do capacitor através da rede de resistores, atingindo assim a

tensão limiar do comparador interno do LM 555. O transistor está configurado como chaveador, e desta forma ele corta ou satura, fazendo com que o transdutor emita ou não o sinal proveniente do gerador.

Abaixo, temos as equações relativas ao multivibrador astável com o C.I. LM 555:

Frequência de operação:

$$f \cong \frac{1.44}{(RA + 2RB)C} \quad 4.1$$

Tempo da saída em nível alto:

$$tH = 0.693(RA + RB)C \quad 4.2$$

Tempo da saída em nível baixo:

$$tL = 0.693 * RB * C \quad 4.3$$

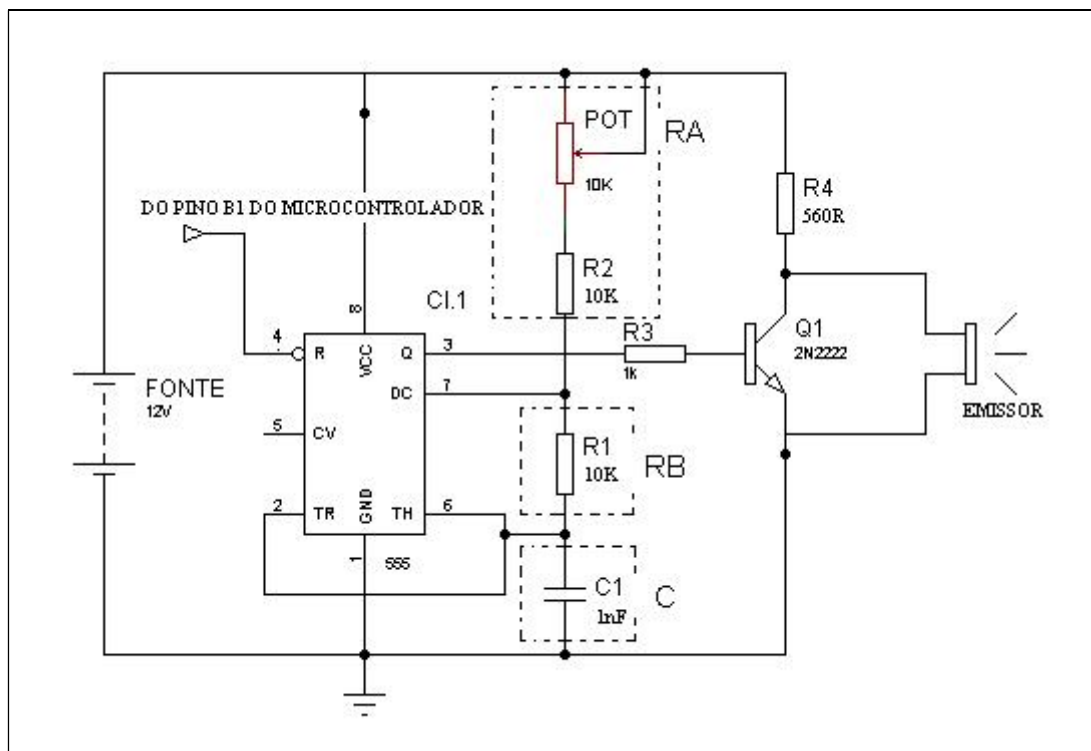


Figura 4.2: Esquema Elétrico do Gerador de Sinais.  
Fonte: *DataSheet* National Semiconductor LM 555

### 4.2.2 AMPLIFICADOR

Este bloco é responsável pela amplificação do sinal vindo do transdutor, já que este sinal tem apenas algumas centenas de microvolts. Com isso, o sinal fica condicionado para o bloco seguinte. Foi utilizado para isso, um amplificador operacional de baixo ruído, na configuração de amplificador inversor, ou seja, a tensão de saída será invertida em relação à entrada. Os resistores R1 e R2 formam um divisor de tensão, e os resistores R3 e R4 determinam o ganho do circuito, que é dado pela equação 4.4.

$$v_{out} = -\left(\frac{R4}{R3}\right) \cdot v_{in} \quad 4.4$$

O esquema elétrico do amplificador está representado pela figura 4.3.

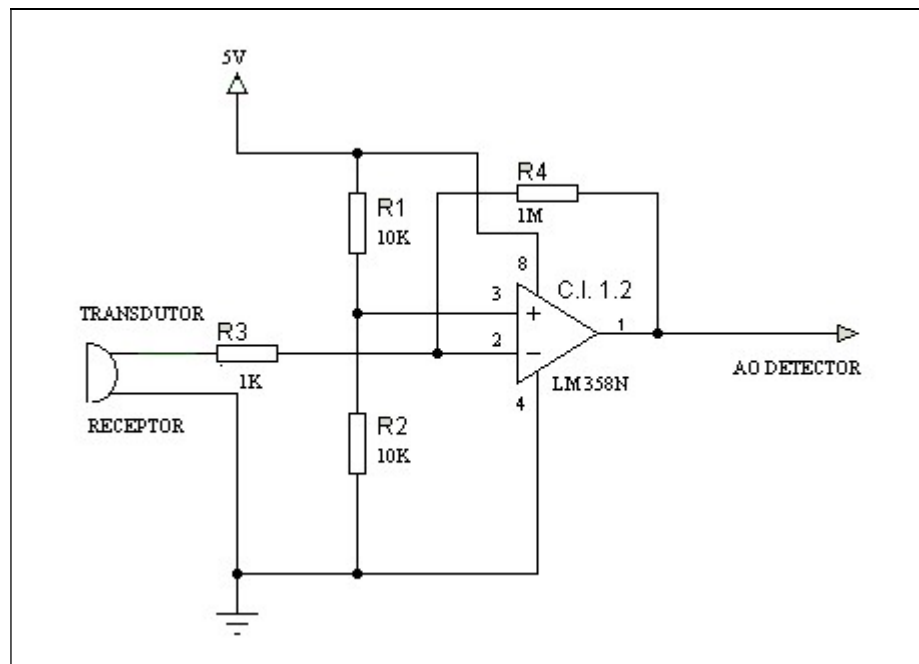


Figura 4.3: Esquema Elétrico do Amplificador.  
Fonte: *DataSheet* National Semiconductor LM 358N



#### 4.2.4 COMPARADOR

É a seção do circuito capaz de prover um sinal em nível baixo ou alto, conforme a entrada do mesmo, tendo como referência, a tensão aplicada ao pino negativo do comparador, formado pela outra metade do LM 358N. Se a tensão de entrada do comparador for menor ou igual a tensão de referência que é obtida no pino 6 do LM 358N, que no sistema é de 2,5V, a saída do comparador é nível lógico 0, e caso contrário a saída é nível lógico 1.

O esquema elétrico do comparador pode ser visto na figura 4.5.

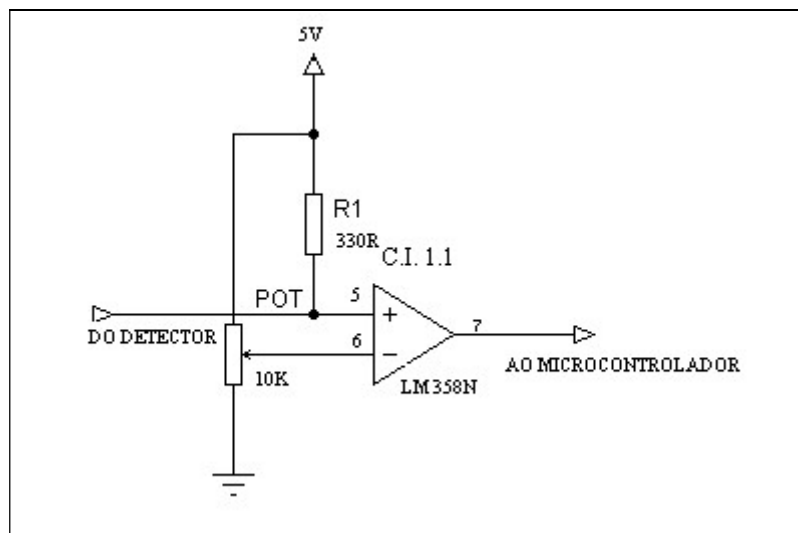


Figura 4.5: Esquema Elétrico do Comparador.

#### 4.2.5 MICROCONTROLADOR / *DISPLAY*

Nesta seção do circuito é feito o cálculo relativo à distância percorrida, o pulso de transmissão e também a apresentação dos resultados em um display de LCD. O software utilizado para a elaboração das rotinas internas ao microcontrolador é o PICC® e para a gravação do programa-fonte no microcontrolador o software IC-PROG 1.05c.

O cálculo relativo à distância é a mostrada na equação 2.3, mostrado no capítulo 2.

Na figura 4.6, temos o circuito do microcontrolador(PIC 16F870) e do LCD.

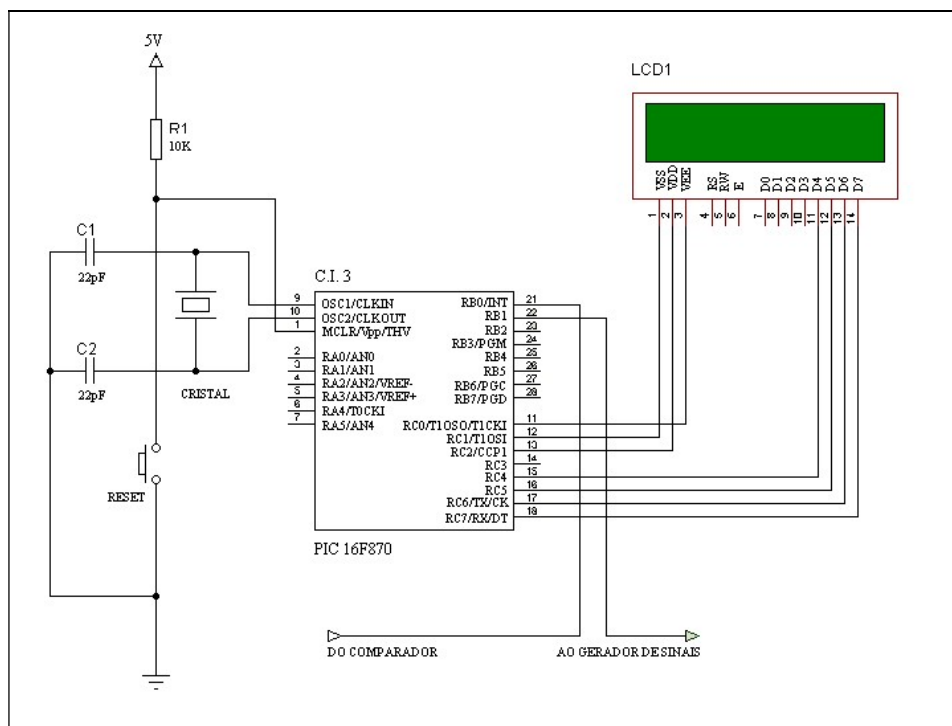


Figura 4.6: Esquema Elétrico do Microcontrolador.



### 4.3 DIAGRAMA DE FLUXO DE DADOS

Abaixo, na figura 4.7, temos o Diagrama de Fluxo de Dados (DFD) do *software*, onde pode verificar toda a lógica envolvida no sistema.

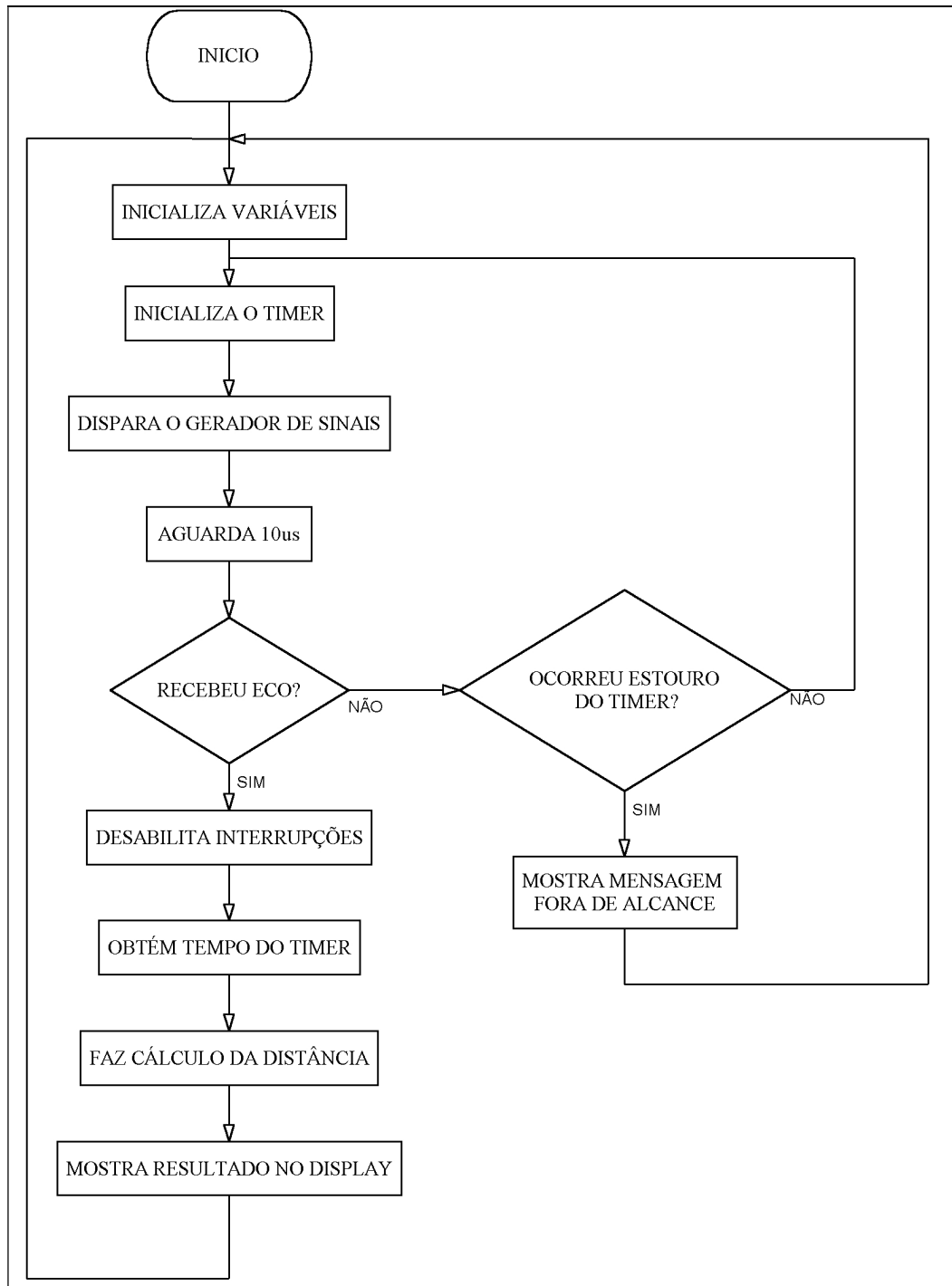


Figura 4.7: Diagrama de Fluxo de Dados.

O estouro do *timer* ocorre a cada 65ms aproximadamente, aplicando-se a equação 2.3, temos:

$$d = \frac{c \cdot t}{2} \rightarrow d = \frac{344 \cdot 0,065}{2} \rightarrow d = 11,18m$$

Ou seja, a distância percorrida pelo som em 65ms é de 11m aproximadamente.

## 4.4 EQUIPAMENTOS E SOFTWARES UTILIZADOS

Neste projeto, foram utilizadas as seguintes ferramentas de apoio:

### **Equipamentos:**

- Gerador de Funções LG, modelo FG7002C;
- Osciloscópio LG, modelo OS5100;
- Multímetro CIE, modelo 5175x1;
- Fonte de Alimentação LG, modelo GP4303D;
- Gravador do PIC;
- *Protoboard*;

### **Softwares:**

- Proteus® 6 (versão demonstração), *software* simulador de circuitos eletrônicos;
- PICC® (versão demonstração), ambiente de desenvolvimento e compilador C agregado;
- IC-PROG 1.05c (*freeware*), *software* utilizado para gravar o código *assembler* no PIC;
- Paraben's Flow Charter (versão demonstração), *software* de criação de fluxogramas;

# CAPÍTULO 5

## TESTES E RESULTADOS

Neste capítulo temos os testes de alguns módulos, que mostram o funcionamento e a obtenção de dados para os módulos subseqüentes.

### 5.1 TESTES DOS MÓDULOS

Em princípio, e de posse dos sensores, o procedimento foi obter resposta dos transdutores quando submetidos à frequência e amplitudes conhecidas. Para este experimento, foram utilizados um gerador de funções e também o osciloscópio.

O gerador de funções fora ajustado primeiramente com uma frequência de 40kHz e foi aumentando-se a frequência gradativamente até obter a máxima eficiência, mas sempre mantendo a amplitude de 10Vp-p. O osciloscópio fora ajustado para o canal 1 com 1V/divisão e onde fora interligado o gerador de funções e também o emissor ultra-sônico. O canal 2 fora ajustado com 20mV/divisão, onde fora interligado o receptor ultra-sônico e ambos com uma base de tempo de 5us/divisão. Na figura 6.1, temos a forma de onda obtida do receptor ultra-sônico, onde o emissor foi excitado com 40kHz. Na forma de onda com maior amplitudes, têm o sinal do gerador de funções aplicado ao transmissor e, na de menor amplitude temos o sinal proveniente do receptor. Uma característica interessante dos transdutores ultra-sônicos, é que cada par tem uma resposta diferente às frequências, apesar de que, nominalmente eles trabalhem em 40kHz, porem existe uma pequena diferença em torno de 10%, entre um par e outro, isto numa amostra com 3 pares distintos de transdutores.

Na figura 5.1, mostra a máxima eficiência do receptor, na qual o transmissor foi excitado com 42kHz. Nota-se que a onda recebida tem praticamente a mesma amplitude da onda transmitida, mostrando que a frequência de ressonância é importante para a melhor eficiência dos sensores.

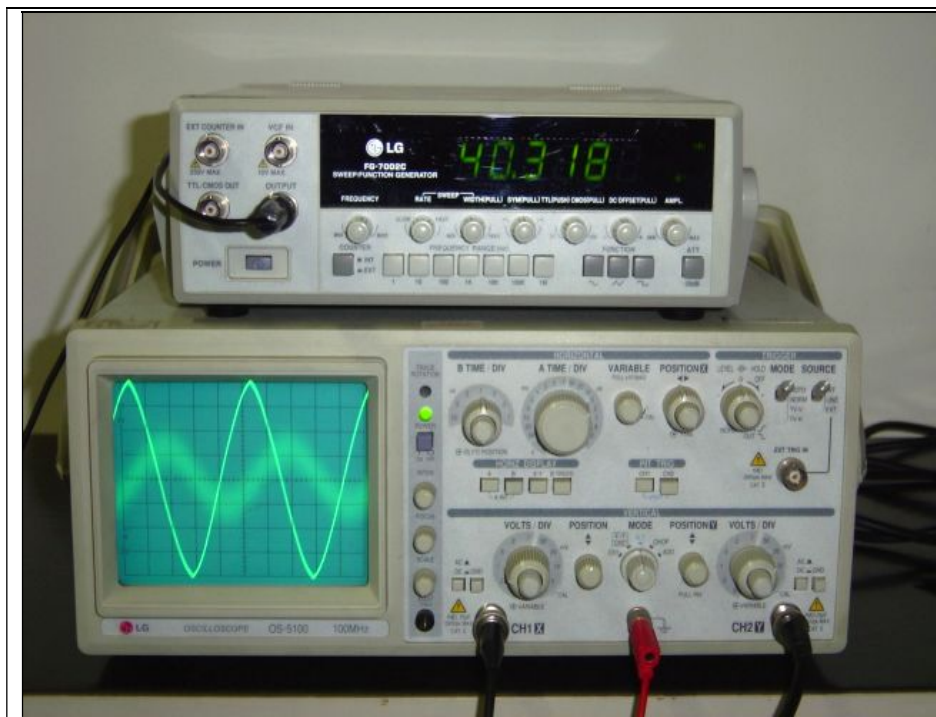


Figura 5.1: Transdutor excitado com 40kHz.

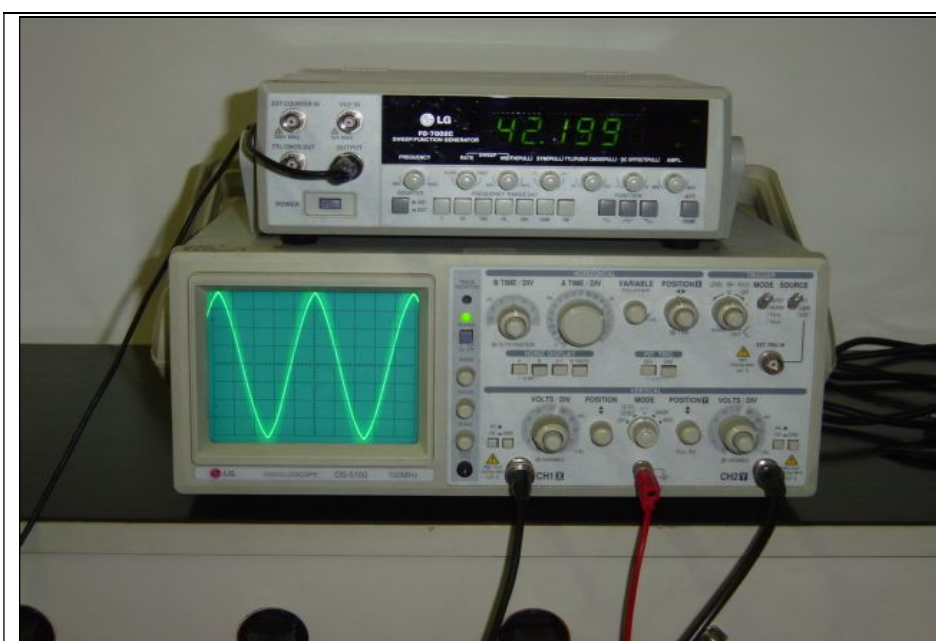


Figura 5.2: Transdutor excitado com 42kHz.

Em princípio, os transdutores foram colocados a 1cm, um à frente do outro, variando-se a distância, a onda recebida pelo receptor deslocava-se, como mostram as figuras 5.3, 5.4, e 5.5. Este efeito ocorre, pois mantendo-se um referencial no transmissor e com a distância entre ele o receptor, gera-se um atraso na recepção da onda, sendo este atraso proporcional a distância. No canto inferior esquerdo das figuras, temos os transdutores posicionados para o experimento.

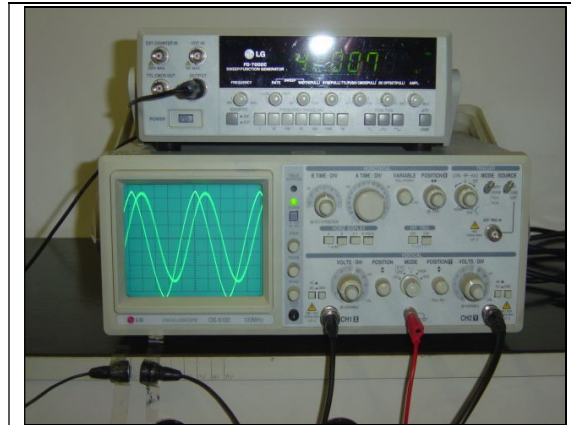


Figura 5.3: Transdutores separados em 1cm.

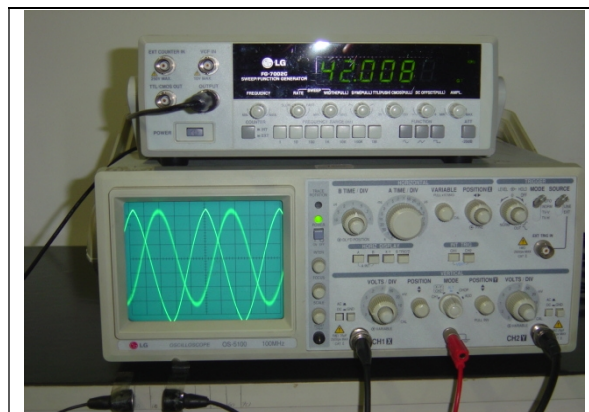


Figura 5.4: Transdutores separados em 2cm

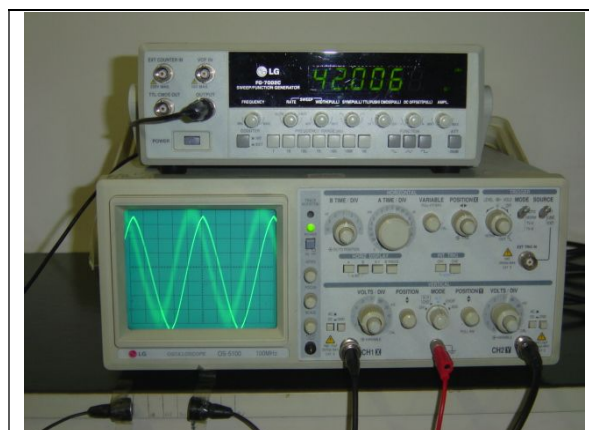


Figura 5.5: Transdutores separados em 3cm

O passo seguinte foi à elaboração de um amplificador e detector de sinais, utilizando para isso, um amplificador operacional de precisão LM358 e um circuito integrado PLL LM 567, para a detecção da frequência de operação, agindo assim como um filtro. A escolha deste tipo de circuito deu-se pela facilidade e também pelo número reduzido de componentes e de ajustes.

O CI1.1 juntamente com os resistores R4 e R3, formam um amplificador inversor com ganho de tensão de 1000.

O circuito detector é formado pelo LM 567, que possui uma frequência central de 42kHz, que pode-se ajustar no potenciômetro em série com o resistor R6.

O CI1.2 juntamente com o potenciômetro formam um comparador de tensão, que nos permite ajustar o limiar da tensão aplicada ao microcontrolador.

Abaixo, na figura 5.6 temos o esquema elétrico do amplificador e detector de sinais.

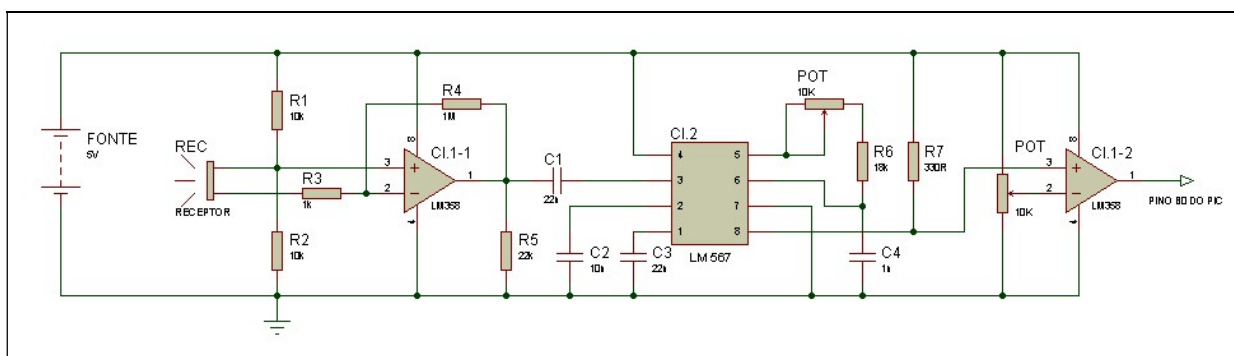


Figura 5.6: Esquema eletrônico do amplificador / detector de sinais

Na sequência, foi criado um gerador de ondas quadradas a partir de um circuito integrado LM 555, na configuração multivibrador astável, com frequência de 42kHz e amplitude de 12Vp-p.

Nos passos seguintes, foram feitos testes no microcontrolador, utilizando-se o *software* PROTEUS®, que nos permite testes com o programa a ser gravado no microcontrolador. Foi elaborado um “pisca-pisca” com o microcontrolador, para iniciar o programa de simulação. O *software* utilizado para criar o programa a ser gravado no PIC é o PICC®, que utiliza linguagem ANSI C e disponibiliza uma área de

desenvolvimento integrada e também o compilador otimizado para dispositivos eletrônicos, tudo reunido em um único ambiente.

Abaixo, na figura 5.7, temos o esquema elétrico do “pisca-pisca” e no apêndice 1 temos o código-fonte em C.

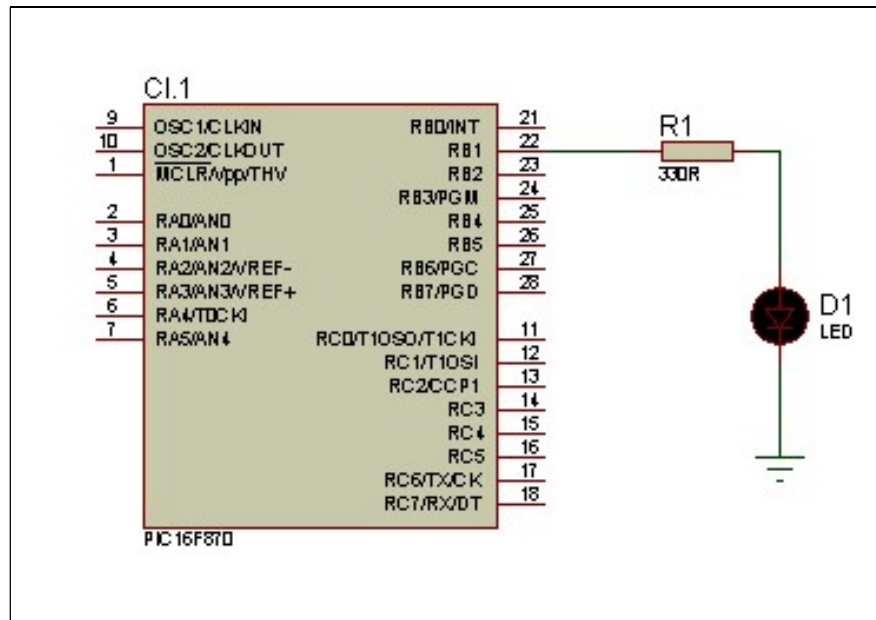


Figura 5.7: Esquema elétrico do pisca-pisca.

O passo seguinte consiste em obter a saída no *LCD*, para isso, foi criada a rotina dentro do programa anterior, que mostra no *LCD* o estado do *LED*, permitindo assim, o teste do mesmo. A figura 5.8 e 5.9 mostram o circuito realizado e no apêndice 2 está o código-fonte respectivo.

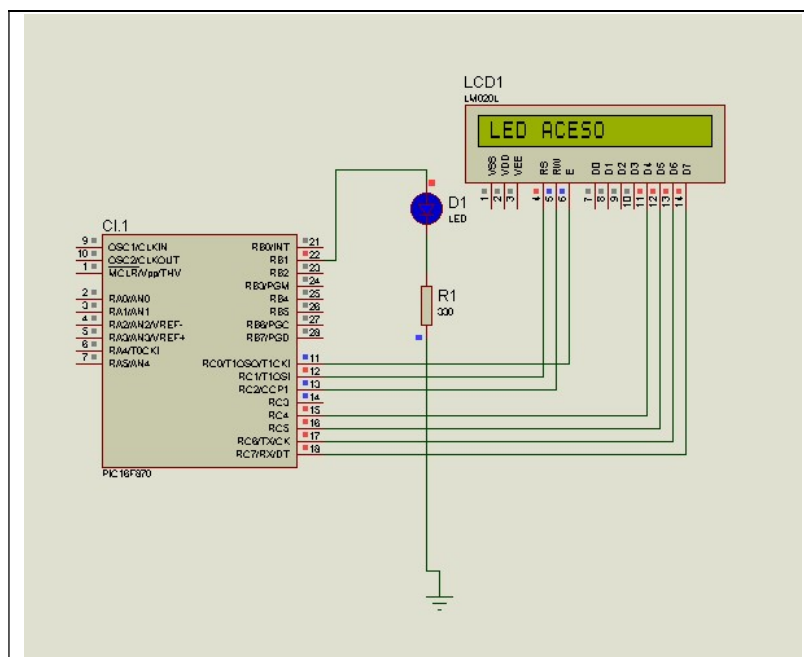


Figura 5.8: Esquema elétrico do “pisca-pisca” e LCD com o LED aceso e a respectiva indicação (Software PROTEUS®).

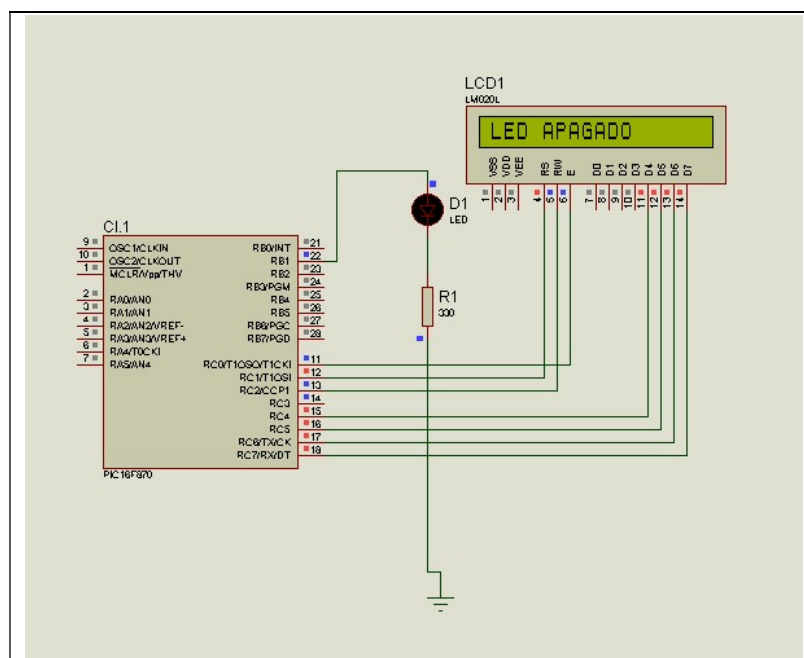


Figura 5.9: Esquema elétrico do “pisca-pisca” e LCD com o LED apagado e a respectiva indicação (Software PROTEUS®).



Após os testes preliminares, foi criado o *software* com base no DFD do Capítulo 4, cujo código-fonte pode ser encontrado no anexo 3.

Alguns parâmetros foram ajustados conforme os testes prosseguiram como, por exemplo, os ajustes decimais, levando-se em conta que cada instrução executada pelo microcontrolador, incrementava o tempo entre a aquisição até a visualização do valor obtido. Essa compensação foi obtida através de experimentações de valores de coeficientes para melhor ajustar a precisão do mesmo.

Na figura 5.10, temos o esquema elétrico completo do circuito.

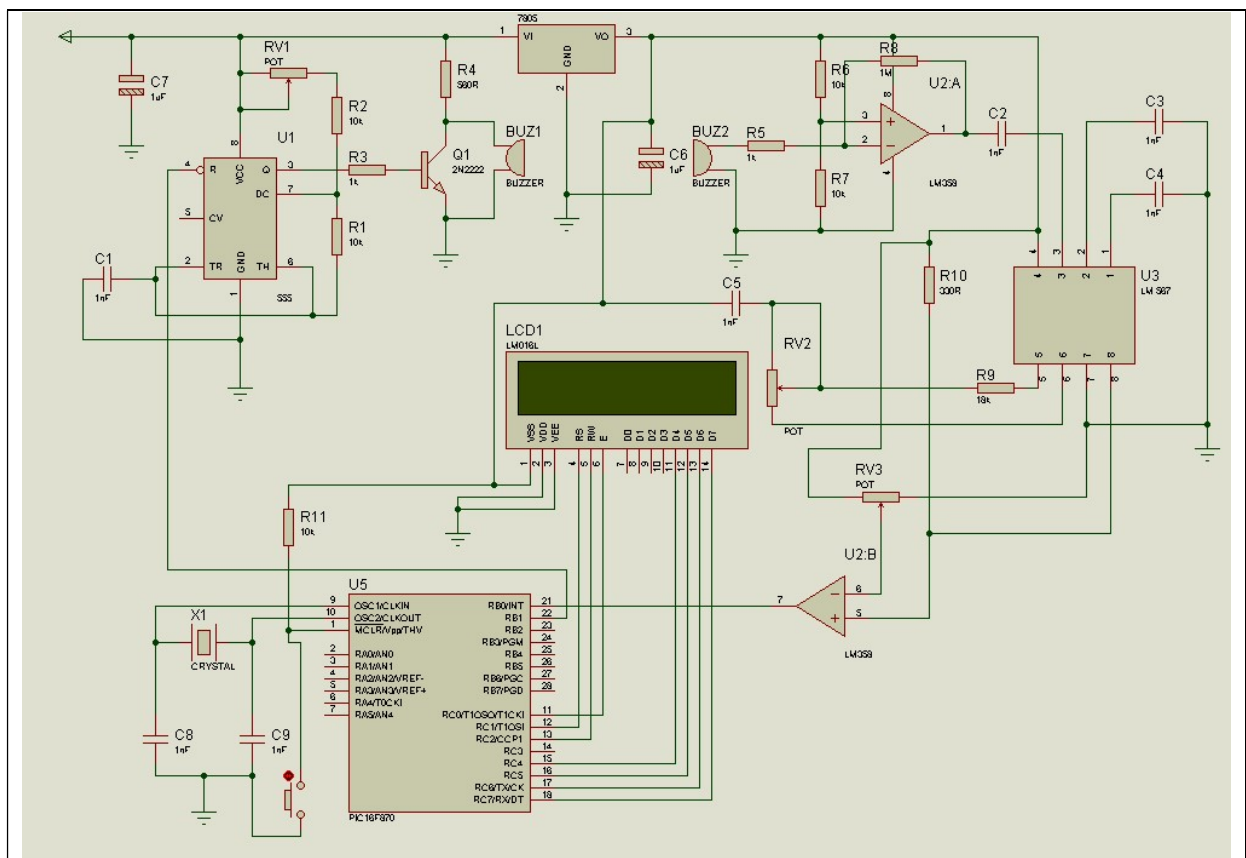


Figura 5.10: Esquema elétrico completo do circuito.

## 5.2 RESULTADOS

Após a junção dos circuitos, devidamente avaliados, no que tange a testes, temos o circuito pronto para os resultados finais. Em princípio, foram feitos ajustes no *software* para a adequação dos *timers* do microcontrolador. Logo, ajustou-se a frequência de oscilação do emissor, utilizando-se do multímetro, que possibilita a medida de frequências.

Nos testes iniciais, detectou-se uma instabilidade nos dados visualizados no *LCD*, apesar de que o mesmo respondia aos estímulos no sensor. A partir daí, foram feitos novos ajustes no *software*, com o intuito de sanar a instabilidade do sistema. Estes ajustes incluíam o circuito detector, pois o mesmo estava interrompendo o microcontrolador com sinais espúrios, advindos do meio externo.

Durante os testes iniciais, foi detectado que os sensores têm limitações quanto ao intervalo de distâncias cobertas, tendo como limite mínimo de 5cm e isto é ocasionado pelo fato dos sensores terem uma visada de 60°, tendo com isso um fenômeno chamado “zona cega”.

Já o alcance máximo é influenciado pela potência do transmissor e também pelas limitações físicas dos mesmos.

Nos testes, foi obtido um alcance máximo de 80cm, porém haviam instabilidades nas medidas obtidas. Devido a este fato, fixamos como medida máxima 60cm para com isso garantirmos a estabilidade do sistema.

Para os testes, foram utilizados uma escala graduada e um anteparo. Para os cálculos, foram utilizados a média e o desvio padrão.

Na tabela 5.1, são mostrados os dados obtidos antes dos ajustes nos coeficientes do software e na tabela 5.2, após os ajustes.

Tabela 5.1: Dados obtidos preliminarmente

MEDIDA NA ESCALA	MEDIDA APRESENTADA PELO SISTEMA
1,0 cm $\pm$ 0,1 cm	8 cm $\pm$ 5 cm
2,0 cm $\pm$ 0,1 cm	14 cm $\pm$ 7 cm
3,0 cm $\pm$ 0,1 cm	9 cm $\pm$ 4 cm
4,0 cm $\pm$ 0,1 cm	7 cm $\pm$ 3 cm

$5,0\text{ cm} \pm 0,1\text{ cm}$	$8\text{ cm} \pm 3\text{ cm}$
$6,0\text{ cm} \pm 0,1\text{ cm}$	$7\text{ cm} \pm 1\text{ cm}$
$7,0\text{ cm} \pm 0,1\text{ cm}$	$11\text{ cm} \pm 2\text{ cm}$
$10,0\text{ cm} \pm 0,1\text{ cm}$	$10\text{ cm} \pm 1\text{ cm}$
$15,0\text{ cm} \pm 0,1\text{ cm}$	$16\text{ cm} \pm 1\text{ cm}$
$20,0\text{ cm} \pm 0,1\text{ cm}$	$19\text{ cm} \pm 1\text{ cm}$
$30,0\text{ cm} \pm 0,1\text{ cm}$	$30\text{ cm} \pm 1\text{ cm}$
$40,0\text{ cm} \pm 0,1\text{ cm}$	$39\text{ cm} \pm 1\text{ cm}$
$50,0\text{ cm} \pm 0,1\text{ cm}$	$49\text{ cm} \pm 1\text{ cm}$
$60,0\text{ cm} \pm 0,1\text{ cm}$	$59\text{ cm} \pm 2\text{ cm}$

Tabela 5.2: Dados obtidos após ajustes no *software*.

<b>MEDIDA DA ESCALA</b>	<b>MEDIDA APRESENTADA PELO SISTEMA</b>
$10,0\text{ cm} \pm 0,1\text{ cm}$	$10\text{ cm} \pm 1\text{ cm}$
$15,0\text{ cm} \pm 0,1\text{ cm}$	$15\text{ cm} \pm 1\text{ cm}$
$20,0\text{ cm} \pm 0,1\text{ cm}$	$19\text{ cm} \pm 1\text{ cm}$
$30,0\text{ cm} \pm 0,1\text{ cm}$	$30\text{ cm} \pm 1\text{ cm}$
$40,0\text{ cm} \pm 0,1\text{ cm}$	$40\text{ cm} \pm 1\text{ cm}$
$50,0\text{ cm} \pm 0,1\text{ cm}$	$50\text{ cm} \pm 1\text{ cm}$
$60,0\text{ cm} \pm 0,1\text{ cm}$	$59\text{ cm} \pm 1\text{ cm}$

Além destas tabelas, temos na figura 5.11 e 5.12 a disposição do anteparo, da régua e da medida mostrada no *display*, que neste primeiro experimento foi de 100mm (10cm), respectivamente:

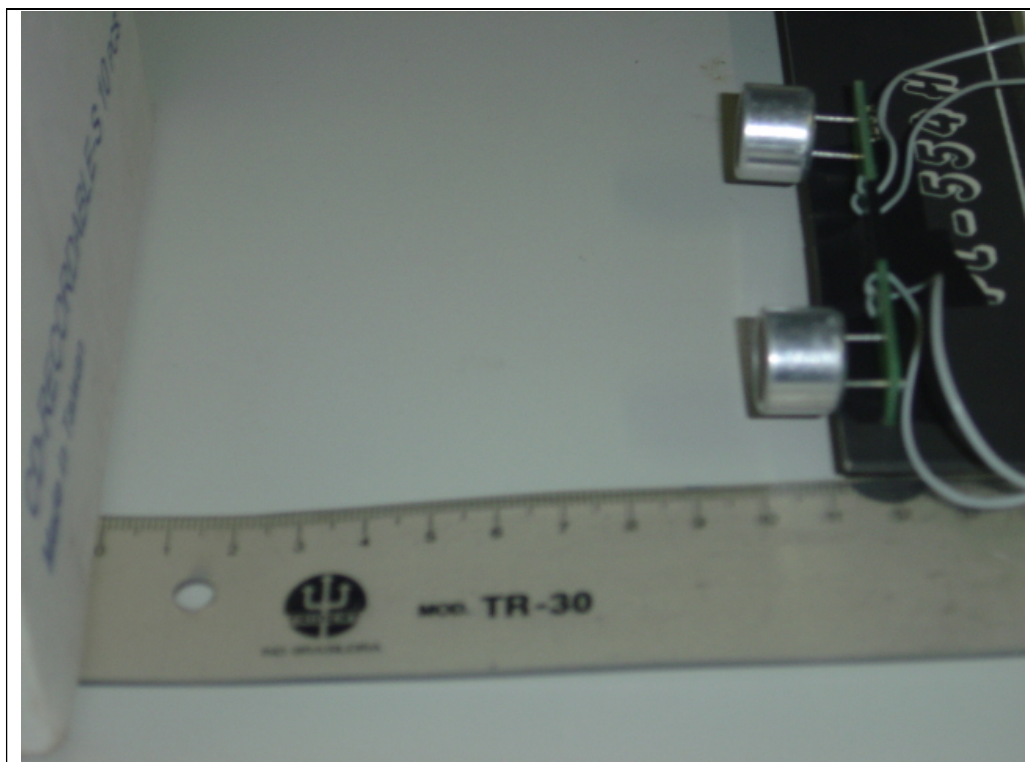


Figura 5.11: Disposição dos transdutores e do anteparo (10cm).

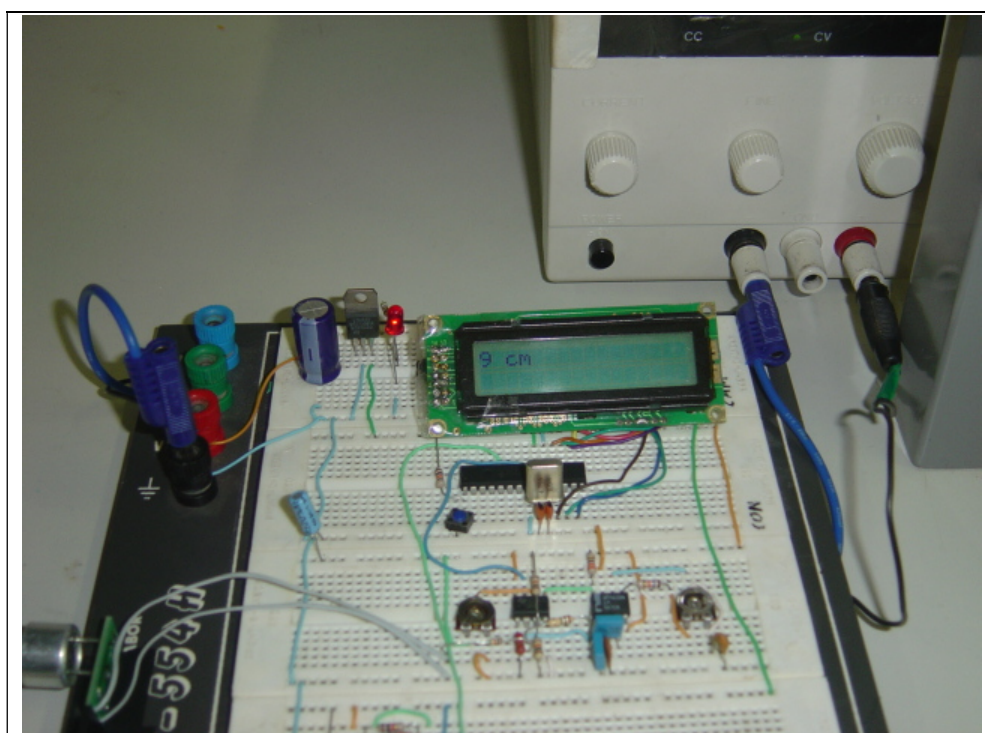


Figura 5.12: *Display* informando a distância (10cm).

Nas figuras 5.13 e 5.14 temos a distância de 15cm.

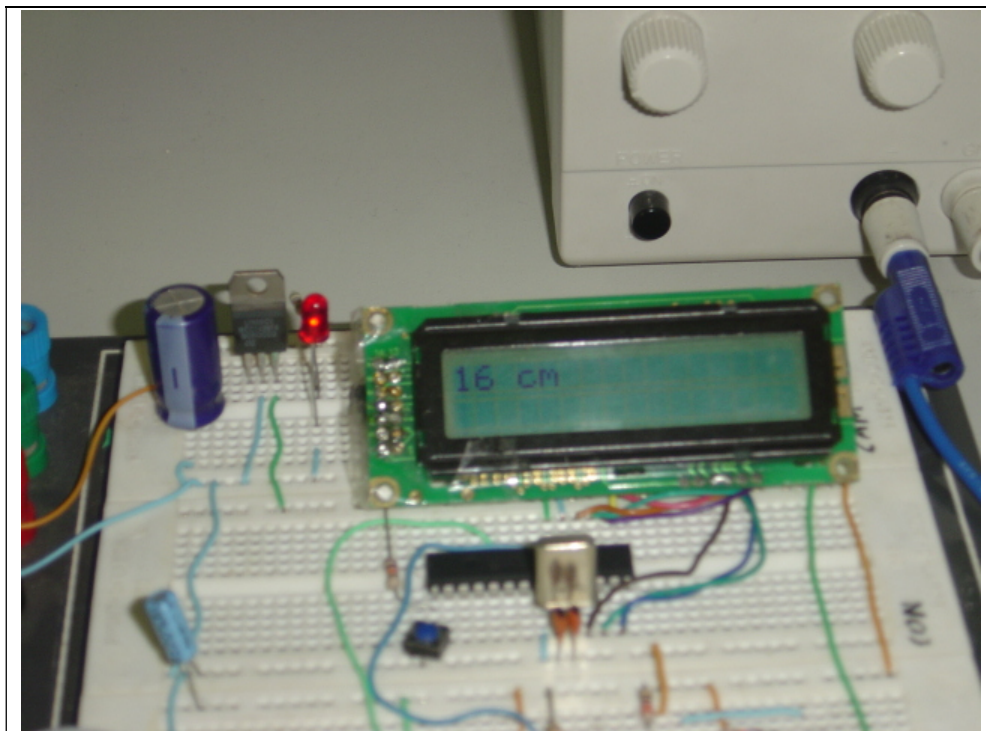
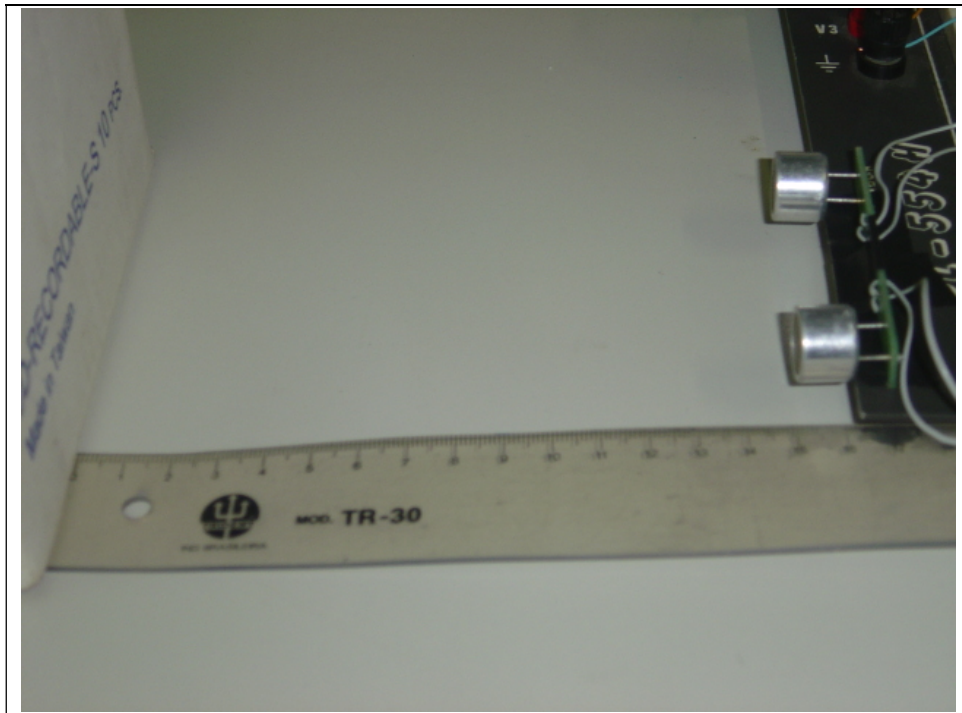


Figura 5.14: *Display* informando a distância (15cm).

# CAPÍTULO 6

## CONCLUSÃO

Com o dispositivo montado, foi observado que o andamento do projeto e sua concepção nem sempre caminham juntos. Foram feitas diversas tentativas até a solução final do problema. Apesar do sistema ultra-sônico ser relativamente simples problemas com a parte analógica do sistema é o principal ponto de divergências entre o que se espera com o obtido, pois experimentalmente temos componentes com tolerâncias em seus valores, e não componentes ideais, tais como os encontrados em software simuladores.

Já a parte digital do projeto, que corresponde ao microcontrolador, tem também suas armadilhas, pois trabalhar com tempos de microsegundos é complexo devido a rapidez com que os eventos dentro do microcontrolador acontecem, sendo assim, conhecer a arquitetura do dispositivo e do software é imprescindível para a escolha do dispositivo utilizado. Esta escolha é bastante comum entre programadores, ou escolhe-se o de implementação simples e fácil, mas com algumas restrições, ou complexo e difícil, onde se tem todo o controle do dispositivo.

Outro fator importante é a escolha dos transdutores, que apesar da imunidade aos ruídos, suas características físicas permitem algumas respostas errôneas, já que ruídos são geralmente de altas frequências e curta duração.

A disposição física dos transdutores também influencia nas medições, já que eles tem que ficar paralelos aos obstáculos e entre si, caso contrário, as medidas não serão confiáveis.

Após os testes realizados, concluímos que há a possibilidade de utilização de um sistema de medidas por ultra-som com precisão suficiente para o setor automobilístico.

O erro nas medidas aqui apresentado tem diversos fatores, entre eles, a medida direta, onde o valor apresentado é o que se originou tão logo foi detectado e também a disposição dos transdutores, que no experimento estavam distantes entre si 5cm.

Com a execução deste projeto, foi visto que a partir de uma discussão e um problema levantado, pode-se chegar a um produto que soluciona um determinado problema, que no caso, era medir distâncias entre um objeto e o obstáculo.

Este projeto não visa somente o setor automobilístico, como inicialmente proposto, mas em todas as áreas em que a distância é um fator a ser considerado.

## 6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como é um sistema que utilizam sons, e que o som é influenciado diretamente pela temperatura, pode-se implementar um termopar, de modo que o cálculo da velocidade do som variasse de acordo com a temperatura ambiente.

Outra melhoria seria a implementação de coleta de várias amostras para o cálculo de média, assim temos uma melhora significativa da precisão do aparelho.



# BIBLIOGRAFIA

JUNIOR, FERENC; ET all – **Curso de Física-Ondas, Som e Luz** – São Paulo, 1975, Ed. Edgard Blücher.

RESNICK, ROBERT; HALLIDAY, DAVID – **Física** – Rio de Janeiro, 1984, Livros Técnicos e Científicos Volume 2 4ª Edição.

FORMER, JOHNSON – **Acústica** – São Paulo, 1968, Livraria Nobel

NEPOMUCENO, LAURO XAVIER **Tecnologia Ultra-sônica** – São Paulo, 1980, Editora Edgard Blücher.

KOUDRIAVTSEV, V. – **O Mundo dos Ultra-sons** – Publicações Europa-América.

ANTUNES, SÉRGIO R. – **Amplificadores Operacionais** – São Paulo, 1995, Editora Fitipaldi.

SOUZA, DAVID J. – **Desbravando o PIC** – São Paulo, 2001, Editora Érica, 4ª Edição.

PEREIRA, FÁBIO – **Microcontroladores PIC - Programação em C** – São Paulo, 2003, Editora Érica, 3ª Edição.

MICROCHIP TECHNOLOGY – **DS30569B – PIC 16F870/871 Data Sheet** – U.S.A, 2003, Microchip Technology.

NATIONAL SEMICONDUCTOR – **DS006975 – LM 567 Tone Decoder Data Sheet** - U.S.A, 1999, National Semiconductor.

NATIONAL SEMICONDUCTOR – **DS007787 – LM 358 Low Power Dual Operational Amplifier** – U.S.A., 2004, National Semiconductor.

NATIONAL SEMICONDUCTOR – **DS007851 – LM 555 Timer** – U.S.A., 2000, National Semiconductor.

DICIONÁRIO ON-LINE MICHAELIS – **Moderno Dicionário da Língua Portuguesa** – <http://www2.uol.com.br/michaelis/>, São Paulo, Universo On-Line.



# APÊNDICE

## 1 Código-fonte do pisca-pisca

```
// PROGRAMA QUE PISCA UM LED CONECTADO AO PINO B1, COM UMA
// FREQUÊNCIA DE 1Hz
// CRIADO POR CARLOS ALBERTO GONÇALVES ABREU
// RGM 126749
// ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO
// 15/05/2005

#include <16f870.h> // Inclui a biblioteca do dispositivo a ser utilizado
#define XT,NOWDT,NOPROTECT // Habilita os fusíveis de programação
#define _delay(clock=4000000) // Define a frequência do cristal utilizado

void main() // FUNÇÃO PRINCIPAL
{
    while(TRUE) // Loop infinito
    {
        output_low(PIN_B1); // Coloca o pino B1 em nível lógico 0
        delay_ms(1000); // Espera 1000ms
        output_high(PIN_B1); // Coloca o pino B1 em nível lógico 1
        delay_ms(1000); // Espera 1000ms
    } // Fim While
} // Fim da função principal
```

## 2 Código-fonte do pisca-pisca e LCD

```
// PROGRAMA QUE PISCA UM LED CONECTADO AO PINO B1, COM UMA
// FREQUÊNCIA DE 1Hz E MOSTRA O ESTADO DO LED NO LCD
// CRIADO POR CARLOS ALBERTO GONÇALVES ABREU
// RGM 126749
// ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO
// 15/05/2005

#include <16f870.h> // Inclui a biblioteca do dispositivo a ser utilizado
#include XT,NO_WDT,NOPROTECT // Habilita os fusíveis de programação
#define delay(clock=4000000) // Define a frequência do cristal utilizado
#include <lcd.c> // Utiliza as rotinas de lcd

void main() // Função Principal
{
    while(TRUE) // Loop infinito
    {
        output_low(PIN_B1); // Coloca o pino B1 em nível lógico 0
        printf(lcd_putc,"\nFLED APAGADO"); // Mostra estado no LCD
        delay_ms(1000); //Espera 1000ms
        output_high(PIN_B1); // Coloca o pino B1 em nível lógico 1
        printf(lcd_putc,"\nFLED ACESO"); // Mostra estado no LCD
        delay_ms(1000); //Espera 1000ms
    } //Fim do While
} // Fim da Função Principal
```

### 3 Código-fonte do programa final

```
// PROGRAMA QUE MEDE A DISTANCIA ATRAVES DE TRANSDUTORES
// FREQUÊNCIA DE 1Hz
// CRIADO POR CARLOS ALBERTO GONÇALVES ABREU
// RGM 126749
// ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO
// 15/05/2005

#include <16F870.h> // Inclui a biblioteca do dispositivo a ser utilizado
#include <math.h> // Inclui a biblioteca de funções matemáticas
#define delay(clock=4000000) // Define a frequência do cristal utilizado
#include <lcd.c> // Inclui a biblioteca de rotinas de lcd

int d;
int16 tempo;
float dist; // Variáveis utilizadas durante a execução do programa

//int_TIMER1 // Esta função é chamada sempre que ocorre interrupção do timer1
void isr_timer()
{
    d++; // Incrementa a variável d
}

void main() // Rotina Principal
{
    output_low(PIN_B1); // Desabilita o gerador de sinais
    lcd_init(); // Inicializa o LCD
    lcd_gotoxy(1,1); // Posiciona o Cursor na Linha 1 e Coluna 1 do LCD
    printf(lcd_putc, "\nIniciando..."); // Mostra Iniciando no LCD
    delay_ms(1000); // Espera 1s para estabilização
    setup_timer_1 (T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_1); // Ajusta o funcionamento do Timer1
    tempo = 0; // Inicializa a variável tempo
    d = 0; // Inicializa a variável d
    ext_int_edge( H_TO_L ); // Habilita a borda de disparo ( de nível alto para nível baixo)
    enable_interrupts(int_timer1); // Habilita interrupção do timer1
    enable_interrupts(GLOBAL); // Habilita as interrupções
    set_timer1(0); // Inicializa o timer1 com 0
    while (TRUE) // Loop infinito
    {
        output_high(PIN_B1); // Habilita o gerador de sinais
        delay_us(10); // Aguarda 10us para estabilização do sinal
```

```
output_low(PIN_B1); //Desabilita o gerador de sinais
if(!input(PIN_B0)) // Verifica se há eco (nível baixo no pino B0)
{
    disable_interrupts(int_timer1); //Desabilita a interrupção de timer1
    tempo = get_timer1(); //Atribui a variavel tempo o tempo decorrido
    dist = (tempo * 33400) / 2; //Calcula a distância percorrida
    dist = dist * 0.000001; // Ajusta o calculo (us → s)
    tempo = ceil(dist); //Retira as casas decimais, arredondando para cima
    tempo = tempo - 5; //Subtrai o tempo decorrido antes da visualização
    lcd_gotoxy(1,1); // Posiciona cursor no LCD
    printf(lcd_putc, "%lu cm", tempo); // Mostra a distancia, em cm
    delay_ms(1000); // Aguarda 1 segundo
    enable_interrupts(int_timer1); // Habilita a interrupção do timer1
    enable_interrupts(GLOBAL); //Habilita as interrupções
    set_timer1(0); //Inicializa o timer1 com 0
}
else // Se não houver eco
{
    if(d) //Se ocorreu estouro do timer1
    {
        lcd_gotoxy(1,1); //Posiciona o cursor
        printf(lcd_putc, "%fFora de Alcance"); // Mostra mensagem
        d = 0; // Inicializa a variavel d
        set_timer1(0); //Inicializa o timer1 com 0
    } //Fim do Se estouro timer1
} // Fim do Else
} // Fim do While
} // Fim do programa principal
```

# GLOSSÁRIO

**Aferição** - O mesmo que calibragem;

**Amplitude** - Distância entre os extremos de uma variação periódica;

**Barramento** - Elo de comunicação consistindo de um conjunto de vias ou fios, que conectam diferentes partes do sistema de *hardware* de um computador, e sobre o qual os dados são transmitidos e recebidos por vários circuitos no sistema;

**Consoante** - Conforme, segundo;

**Delgada** - Pouco espesso, tênue;

**Demasiado** - Que é demais; excessivo;

**Display** – Mostrador;

**Dispositivo** - Qualquer peça ou mecanismo de uma máquina destinados a uma função especial;

**Explicação** - Explicação, ilustração;

**Hardware** - Conjunto de unidades físicas, componentes, circuitos integrados, discos e mecanismos que compõem um computador ou seus periféricos;

**KHz** – Abreviatura de *kilohertz*;

**MHz** - Abreviatura de *megahertz*.;

**Imune** - Que tem imunidade, Isento;

**Mensurar** - Determinar a medida de; medir;

**Minimização** - Processo pelo qual se determina o menor valor que uma grandeza possa ter;

**Ressonância** - Intensificação e enriquecimento de um som por vibrações suplementares;

**Sensor** - Designação genérica para dispositivos como radares, sonares, ecobatímetros, etc.;

**Software** - Qualquer programa ou grupo de programas que instrui o *hardware* sobre a maneira como ele deve executar uma tarefa;

**Transdutores** – Dispositivos que emitem e recebem sinais, transformando alguma grandeza física em outra;