

DANIEL VIEIRA MARQUES
FERNANDO JOSÉ VIEIRA
HUGO LIMA BORGES
PEDRO PAULO LOPES DA ROS

PERCEPÇÃO ESPACIAL PARA DEFICIENTES VISUAIS

Projeto de Formatura apresentado à disciplina
PCS 2502 – Laboratório de Projeto de
Formatura II, da Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo.

Professor Orientador: Dr. Carlos Cugnasca

São Paulo
2005

Às nossas famílias e pessoas que nos auxiliaram e apoiaram durante todo o curso de graduação, contribuindo para nossa formação acadêmica e humana.

AGRADECIMENTOS

Ao amigo e orientador Prof. Dr. Carlos Cugnasca pelo incentivo, apoio e ajuda.

A todos que auxiliaram de alguma forma na elaboração deste trabalho.

RESUMO

É proposto um dispositivo eletrônico para auxílio à percepção espacial dos deficientes visuais. Tal dispositivo complementa o uso da bengala, se acoplando a mesma para incrementar seu campo de percepção através da detecção de objetos a distância.

O sistema se vale de um sensor de distância para detectar obstáculos que não são alcançáveis pela bengala, estando mais elevados ou a distâncias maiores. Para indicar o obstáculo ao usuário, é utilizado um dispositivo que vibra de acordo com a distância percebida.

São apresentados também os aspectos de produção e comercialização do produto, analisando dos componentes eletrônicos à embalagem e levando em consideração a situação econômica dos deficientes visuais no país.

ABSTRACT

The project's purpose is to help visually impaired people by increasing their spatial perception using an electronic device. It works attached to the user's cane detecting farther objects than it would otherwise.

It's core is a rangefinder module that scans for objects that are not in the cane's range, being either higher than the cane or further ahead. To signal the user that an object has been found, a vibrating device is activated for a length based on the measured distance.

It is also approached the commercialization and manufacturing perspectives of the product, from the selection of the electronic devices to an analysis of the required enclosure, also studying and taking into consideration the economical situation of the blind in Brazil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Propagação esférica do som	23
Figura 2 - Equação de intensidade do som em relação à propagação	24
Figura 3 - Diagrama de um transdutor eletrostático.....	26
Figura 4 - Demonstração do princípio piezelétrico.....	27
Figura 5 - Típico encapsulamento do transdutor piezelétrico	27
Figura 6 - Diagrama de blocos de um módulo do sistema.....	36
Figura 7 – Ilustração indicando a disposição do módulo para a bengala e o alcance do sensor em diferentes configurações de distância.....	37
Figura 8 – Ilustração indicando a disposição do módulo para o braço	38
Figura 9 - Diagrama de blocos do circuito elétrico.....	42
Figura 10 - Rotina do funcionamento principal do sistema	44
Figura 11 - Rotina do evento de pressão do botão	45
Figura 12 – Esquema Elétrico do SRF04	47
Figura 13 – Montagem em protoboard do SRF04.....	48
Figura 14- Ilustração com aparência e dimensões do protótipo para a bengala.....	51
Figura 15- Ilustração com aparência e dimensões do protótipo para o braço	52
Figura 16 – Sensor com transdutores envolvidos por material aveludado.....	56
Figura 17- Instrumento de pesquisa	72
Figura 18 - Esquema elétrico da placa do protótipo construído.....	75
Figura 19 – Visão superior da placa de circuito impresso indica a posição dos componentes	77
Figura 20 - Visão inferior (esq.) e superior (dir.) da placa de circuito impresso	77
Figura 21 – Primeiro protótipo construído para a bengala.....	81
Figura 22 – Segundo protótipo construído para a bengala.....	82
Figura 23 – Protótipo construído para afixação no braço	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - População residente, por tipo de deficiência, segundo a situação do domicílio, o sexo e os grupos de idade – Brasil	20
Tabela 2 - Pessoas de 10 anos ou mais de idade ocupadas, por tipo de deficiência, segundo o sexo e as classes de rendimento nominal mensal de todos os trabalhos – Brasil.....	21
Tabela 3 - Comparação entre tecnologias de sensores	22
Tabela 4 - Custo de componentes do módulo da bengala	63
Tabela 5 - Custo de componentes do módulo do ombro	63
Tabela 6 - Custo de componentes do circuito eletrônico	63
Tabela 7 - Custo de item adicionais do produto	64
Tabela 8 - Cronograma de trabalho (maio a junho)	69
Tabela 9 - Cronograma de trabalho (julho a outubro).....	69
Tabela 10 - Cronograma de trabalho (outubro a dezembro)	70
Tabela 11 - Esforço de realização em homens-hora.....	71
Tabela 12 - Lista dos componentes necessários para montagem da placa de circuito impresso	76

SUMÁRIO

1	Organização do documento	10
2	Introdução	12
3	Objetivo	14
4	Definição do problema	16
5	Requisitos iniciais, aspectos e análises	18
5.1	Requisitos iniciais.....	18
5.1.1	Requisitos funcionais	18
5.1.2	Requisitos não funcionais.....	19
5.2	Aspectos da deficiência visual	19
5.3	Pesquisa sobre sensores de distância.....	22
5.3.1	O ultra-som.....	23
5.3.2	Sensores ultra-sônicos	24
5.3.3	Sensores baseados em transdutores eletrostáticos.....	25
5.3.4	Sensores baseados em transdutores piezelétricos.....	26
5.4	Discussão com especialista em acústica.....	28
5.5	Pesquisa sobre atuadores	29
5.6	Entrevistas realizadas na instituição Laramara	30
6	Requisitos e Especificação funcional	33
6.1	Requisitos funcionais	33
6.2	Requisitos não funcionais.....	34
6.3	Especificação Funcional.....	35
6.3.1	Funcionamento	35
6.3.2	Arquitetura.....	36
6.3.3	Unidade de Processamento.....	38
7	Metodologia e planejamento.....	40
8	Projeto e implementação do protótipo	42

8.1	Especificação Técnica	42
8.1.1	Visão geral	42
8.1.2	Unidade de processamento.....	43
8.2	Escolha dos principais componentes.....	46
8.3	Implementação	49
9	Testes e Avaliações	53
9.1	Testes Funcionais Realizados pela Equipe.....	53
9.2	Avaliações Realizadas com os Usuários.....	53
9.2.1	Metodologia	53
9.2.2	Avaliações realizadas.....	54
9.2.3	Resultados.....	55
10	O projeto como produto industrial e sua viabilidade.....	57
10.1	Requisitos.....	57
10.1.1	Requisitos funcionais.....	57
10.1.2	Requisitos não funcionais	58
10.2	O Produto.....	59
10.2.1	Embalagem e ergonomia.....	60
10.2.2	Análise de Produção	62
11	Considerações finais	65
11.1	Repercussão junto à comunidade.....	65
11.2	Perspectiva de continuidade.....	65
11.3	Conclusão.....	66
11.4	Opiniões individuais.....	66
	Apêndices.....	69
	Apêndice A – Cronograma e Estimativa de Horas.....	69
	Apêndice B – Instrumento de Pesquisa para Usuário Final	72
	Apêndice C – Avaliações Feitas com Usuário Final	73
	Apêndice D – Esquema do Elétrico e Layout da Placa de Circuito Impresso	75
	Apêndice E – Programa em linguagem C para o PIC 16f628A.....	78
	Apêndice F – Fotografias dos protótipos construídos.....	81
	Apêndice G – Apresentação do CD.....	84
	Referências Bibliográficas	85
	ANEXOS	87
	Anexo 1 – Manual do sensor SRF04	87

1 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

O presente documento apresenta a seguinte organização:

Introdução: aborda o panorama da deficiência na sociedade e as dificuldades encontradas por seus portadores, a idéia do projeto e as principais motivações.

Objetivo: explicita, de forma concisa, o resultado esperado.

Definição do problema: define o problema tratado e as principais variáveis que influenciarão na solução.

Requisitos iniciais, aspectos e análises: enumera os requisitos iniciais, traz dados, pesquisas, entrevistas e análises realizadas que determinaram a especificação funcional e os requisitos.

Especificação funcional e requisitos: traz a especificação funcional e os requisitos funcionais e não funcionais.

Metodologia e planejamento: trata da forma como o problema foi abordado, da divisão de tarefas e do planejamento necessário.

Projeto e implementação do protótipo: descreve o processo de transformação da especificação funcional e requisitos em um projeto aplicável e sua implementação como protótipo. Também são abordadas as dificuldades práticas e etapas necessárias para chegar ao resultado final.

Testes e Avaliação: Descreve e demonstra a forma como foi testado e avaliado o projeto e os resultados obtidos que geraram ajustes e eventuais repetições de testes e avaliações.

O projeto como produto industrial e sua viabilidade: Lista requisitos da produção em série e analisa a possibilidade de produção em escala, além de sua viabilidade econômica.

Considerações finais: Tópico que traz a opinião final sobre o projeto (geral e de cada membro do grupo separadamente): perspectiva de continuidade, benefícios sociais, desafio e aprendizado.

2 INTRODUÇÃO

Desde os tempos mais remotos, a deficiência sempre foi um problema para a humanidade. Em Esparta as crianças deficientes eram exterminadas logo após o nascimento, pois a estrutura social impedia a existência deste tipo de pessoa.

No decorrer da história as cidades se desenvolveram e os deficientes passaram a sobreviver, sofrendo todos os tipos de preconceito e dificuldades para se adequar a uma sociedade criada para pessoas sem necessidades especiais.

Obviamente foram desenvolvidos instrumentos e técnicas para facilitar a sua adaptação, principalmente a partir do século XX. Os usos de braile, de linguagem de sinais e de cães guia são exemplos de soluções convencionais para auxiliar o deficiente. Entretanto grandes companhias não estão interessadas neste tipo de desenvolvimento, que requer investimento e tem público alvo limitado e de menor renda. O resultado é que, com raras exceções, há auxílio em características do produto que foram criadas para facilitar a vida de qualquer pessoa.

O desenvolvimento da tecnologia e o surgimento da eletrônica e da computação permitiram incrementar e criar aparatos mais precisos e personalizados, além de possibilitar novas abordagens que podem substituir um ou mais sentidos. No caso da deficiência visual,

pode-se desenvolver equipamentos que captem as características espaciais do ambiente e forneçam percepção mais completa do que a tradicional bengala, que não capta projeções mais altas do que o chão e tem escopo limitado, o que pode resultar em vários tipos de acidentes.

No exterior existem diversos aparelhos que tentam cumprir essa tarefa utilizando medidores de distância eletrônicos e transferindo a informação ao usuário de forma sensorial. Todos possuem um custo elevado e são inacessíveis para grande parte dos deficientes visuais.

Com essa motivação, surgiu a idéia de um projeto de percepção espacial eletrônica com preço acessível e extensível, permitindo a incorporação de novas características e uma maior integração futura.

O projeto consiste em módulo no qual um sensor de distância é responsável por adquirir informação do ambiente e a passar para o processador, que interpreta e envia sinais para um atuador capaz de gerar estímulo sensorial.

Este módulo poderá ser fixado em diversas partes do corpo e na bengala. A utilização de mais de um módulo ou de mais de um sensor em paralelo também é possível, desde que o espaço analisado por cada um seja diferente. Obviamente, para que a tradução da informação seja eficiente e inteligente, deve-se centralizar o processamento.

Em uma visão futura, poder-se-á também utilizar, acoplados ao sistema, dispositivos móveis que integrarão outros recursos, como leitores de Radio Frequency Identification (RFID) ou Global Positioning System (GPS), e em conjunto fornecerão mais informações sobre o ambiente.

3 OBJETIVO

O sistema a ser desenvolvido tem como objetivo facilitar a movimentação de deficientes visuais, ajudando-os na detecção de obstáculos para que o mesmo possa se esquivar. A idéia é auxiliar a bengala tradicional e não a substituir.

Já que o par sensor-atuador pode ser desenvolvido como um módulo, procurar-se-á estudar seu acoplamento em diferentes locais e a possibilidade de utilização de mais de um deste em paralelo.

O projeto será concebido como produto, o que traz requisitos como usabilidade, preço, confiabilidade, aparência e conforto. Estes serão levantados através de estatísticas e pesquisas junto a deficientes visuais e instituições. Evidentemente o protótipo não conterà as características idealizadas, mas haverá especificação para uma possível produção em série.

Também é importante ressaltar as melhorias técnicas que podem ser realizadas para justificar a realização de tal projeto. Duas diferenças principais surgem da comparação entre a bengala convencional e a eletrônica:

- Espaço coberto: A bengala eletrônica poderá detectar obstáculos a mais de um metro de distância e terá um ângulo de abertura maior.

- Paralelismo: Mais de um módulo poderão detectar obstáculos ao mesmo tempo, em direções e alturas diferentes.

4 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Construir uma ferramenta que apóie a percepção espacial dos deficientes visuais, isto é, a tradicional bengala. Para tanto, utilizar um módulo composto de par sensor-atuador, mediado por processador que interprete e processe a informação de maneira inteligível pelo usuário. O módulo deve ser adaptado a mais de um local para possibilitar flexibilidade de utilização.

Tal ferramenta será desenvolvida como um produto comercial, exigindo para tanto identificar os requisitos funcionais e não funcionais envolvidos através de pesquisas e análises de:

- Equipamentos semelhantes;
- Componentes elétricos e eletrônicos comerciais ou produzíveis;
- Necessidades;
- Usabilidade;
- Preço;
- Mercado;

- Opiniões de usuários e especialistas em mobilidade;
- Dificuldades enfrentadas na produção em série;
- Dados estatísticos.

5 REQUISITOS INICIAIS, ASPECTOS E ANÁLISES

5.1 Requisitos iniciais

Definidos os objetivos e o problema a ser resolvido, tratou-se de estabelecer os requisitos iniciais básicos necessários para indicar um rumo a se seguir. Seu conhecimento possibilitou a elaboração das primeiras pesquisas, de dados e de entrevistas que aumentaram o conhecimento do problema e das alternativas de solução. A elaboração foi fruto de reuniões entre o grupo e o orientador e teve foco principal nos requisitos funcionais.

Como se tratam de requisitos elaborados antes de análise profunda do problema e das necessidades dos usuários, há um caráter informal e vago nas especificações.

5.1.1 Requisitos funcionais

Sensor de distância com alcance de pelo menos um metro e ângulo de abertura mínimo de 30°;

Atuador sonoro ou vibratório de baixo consumo;

Modularidade;

Permitir ajustes de alcance do sensor;

Permitir que o usuário ligue e desligue o sistema.

5.1.2 Requisitos não funcionais

Preço baixo devido às limitações de renda dos usuários;

Peso diminuto;

Possibilitar adaptação para mais de um lugar do corpo: cabeça, mão e tórax;

Alta confiabilidade;

Ergonomia.

5.2 Aspectos da deficiência visual

A ligação entre pobreza e deficiência é clara. Obviamente, aqueles que têm dificuldades na realização de tarefas consideradas simples acabam sofrendo preconceito, além da clara desvantagem. Há outro aspecto determinante: o mundo não foi construído com o objetivo de suprir necessidades especiais de indivíduos. Engana-se quem pensa que a situação é muito diferente hoje, já que a maioria dos recursos disponibilizados em produtos populares que acabam sendo utilizados por deficientes é projetada para facilitar a vida do indivíduo plenamente capaz.

As estatísticas da deficiência no mundo têm sido tratadas e observadas com muita seriedade devido à crescente demanda e têm grande importância na Organização das Nações Unidas (ONU). Para que existam estatísticas corretas, é necessário o apoio em uma classificação internacional que possa servir de padrão nos censos realizados. Por esta razão foi criada a International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF).

Em particular, a deficiência visual atinge mais pessoas do que se supõe. É comum a crença de que apenas aqueles que não enxergam absolutamente nada podem ser considerados nesta classificação. No entanto, as definições são mais amplas, como pode ser observado na lei brasileira abaixo.

“DEFICIÊNCIA VISUAL é a cegueira, na qual a acuidade visual é igual ou menor que 0,05 no melhor olho, com a melhor correção óptica; a baixa visão, que significa acuidade visual entre 0,3 e 0,05 no melhor olho, com a melhor correção óptica; os casos nos quais a somatória da medida do campo visual em ambos os olhos for igual ou menor que 60°; ou a ocorrência simultânea de quaisquer das condições anteriores” (art. 5º, § 1º, alínea ‘c’, do Decreto 5.296/04).

Os dados mundiais revelam a existência de 500 milhões de pessoas com pelo menos um tipo de deficiência. Através do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é possível observar os números brasileiros. Segundo o censo de 2000, aproximadamente 14,5% da população total possui pelo menos algum dos tipos de deficiência apontados pela ONU, um número bastante significativo.

A observação das tabelas abaixo também revela dados importantes. Percebe-se que quase 10% da população possui deficiência visual e que há maior porcentagem de deficientes à medida que a idade aumenta. Outro dado muito relevante é a renda destas pessoas, que tem distribuição diferente do resto da população brasileira, sendo ainda mais estratificada, o que comprova a relação entre deficiência e pobreza.

Tabela 1 - População residente, por tipo de deficiência, segundo a situação do domicílio, o sexo e os grupos de idade – Brasil			
Situação do domicílio, sexo e grupos de idade	População residente		
	Total	Tipo de deficiência	
		Pelo menos uma deficiência	Incapaz, com alguma ou grande dificuldade permanente de enxergar
Total	169 872 856	24 600 256	16 644 842
0 a 14 anos	50 316 181	2 161 333	1 173 655
15 a 64 anos	109 629 648	17 075 894	11 835 404
65 anos ou mais	9 927 027	5 363 029	3 635 783
Homens	83 602 317	11 420 544	7 259 074
0 a 14 anos	25 534 572	1 094 757	548 462
15 a 64 anos	53 696 083	7 989 712	5 136 856
65 anos ou mais	4 371 662	2 336 076	1 573 755

Tabela 1 - População residente, por tipo de deficiência, segundo a situação do domicílio, o sexo e os grupos de idade – Brasil			
Situação do domicílio, sexo e grupos de idade	População residente		
	Total	Tipo de deficiência	
		Pelo menos uma deficiência	Incapaz, com alguma ou grande dificuldade permanente de enxergar
Mulheres	86 270 539	13 179 712	9 385 768
0 a 14 anos	24 781 609	1 066 576	625 193
15 a 64 anos	55 933 565	9 086 182	6 698 547
65 anos ou mais	5 555 365	3 026 954	2 062 028

Tabela 2 - Pessoas de 10 anos ou mais de idade ocupadas, por tipo de deficiência, segundo o sexo e as classes de rendimento nominal mensal de todos os trabalhos – Brasil			
Sexo e classes de rendimento nominal mensal de todos os trabalhos (salário mínimo)	Pessoas de 10 anos ou mais de idade, ocupadas na semana de referência		
	Total	Tipo de deficiência	
		Pelo menos uma das deficiências enumeradas	Incapaz, com alguma ou grande dificuldade permanente de enxergar
Total	65 629 892	9 084 208	6 594 008
Até ½	3 593 552	757 010	573 228
Mais de 1/2 a 1	11 730 982	1 921 842	1 434 131
Mais de 1 a 2	16 708 266	2 229 810	1 619 275
Mais de 2 a 3	8 267 885	971 704	686 949
Mais de 3 a 5	8 377 537	971 637	677 251
Mais de 5 a 10	7 274 064	792 453	545 362
Mais de 10 a 15	1 841 603	194 146	132 602
Mais de 15 a 20	1 195 322	122 205	83 666
Mais de 20 a 30	686 490	67 863	46 324
Mais de 30	942 649	96 889	64 720
Sem rendimento	5 011 543	958 649	730 499

Relacionando os dados obtidos com o projeto em questão, é perceptível a existência de um mercado expressivo que viabiliza a comercialização de produtos. Também se conclui que a baixa renda de pessoas com deficiência visual é o grande limitante de acesso a equipamentos que auxiliem tarefas e melhorem a qualidade de vida, o que indica a necessidade de alternativas que consigam ser menos onerosas sem perder a qualidade, a confiabilidade e a funcionalidade exigidas.

5.3 Pesquisa sobre sensores de distância

O projeto do aparelho de percepção exige sensores de distância que consigam detectar volumes próximos ao usuário. Como se trata de uma aplicação crítica, pois a segurança de um indivíduo está envolvida na precisão da detecção, a escolha do sensor deve ponderar o fator econômico (já que o projeto visa um aparelho acessível ao deficiente visual brasileiro) com a precisão adequada.

Os sensores de distância podem ser agrupados em três grupos principais: indutivo, óptico e ultra-sônico. Obviamente, as diferentes tecnologias apresentam qualidades e limitações, que podem ser observadas em um quadro comparativo com valores típicos obtidos de manuais de fabricantes.

Tabela 3 - Comparação entre tecnologias de sensores			
Sensores	Indutivos	Ópticos (IR)	Ultra-sônicos
Distância de medição	10 mm	1,5 m máx.	Maior que 2,5 m (depende da frequência)
Resolução	0,1 μm	2 μm	300 μm (constante)
Tempo de resposta típico	0,5 ms	0,9 ms	Menor que 30 ms
Objetos detectáveis	Materiais metálicos	Vários materiais*	Qualquer material que não absorva ultra-som
Dimensão do dispositivo	Grande	Pequeno	Médio
Espalhamento em relação à distância (cone)	Pequeno	Não espalha	Grande

*dependente da opacidade, da reflexibilidade e do ângulo de incidência

Por simples análise da tabela comparativa, nota-se que os sensores indutivos possuem distância de medição extremamente pequena, o que já impede sua escolha. Já os sensores ópticos apresentam distância média de medição (que pode limitar a aplicação) e ausência de espalhamento (é muito direcional), impedindo que vários obstáculos possam ser detectados.

Logo, a opção para o sensor de distância é o ultra-som, que possui a maior faixa de detecção, tem grande espalhamento, permitindo que se detecte maior quantidade de obstáculos, e resolução adequada à aplicação.

5.3.1 O ultra-som

Ultra-som compreende as ondas sonoras na faixa acima dos 20 kHz. Ondas sonoras são ondas mecânicas e obedecem os princípios de reflexão, refração, difração e interferência

A propagação do som ocorre de maneira esférica (com espalhamento) e sua intensidade diminui com o aumento da distância e da frequência e com a diminuição da umidade relativa do ar. Concluindo-se que a frequência é inversamente proporcional à capacidade de propagação.

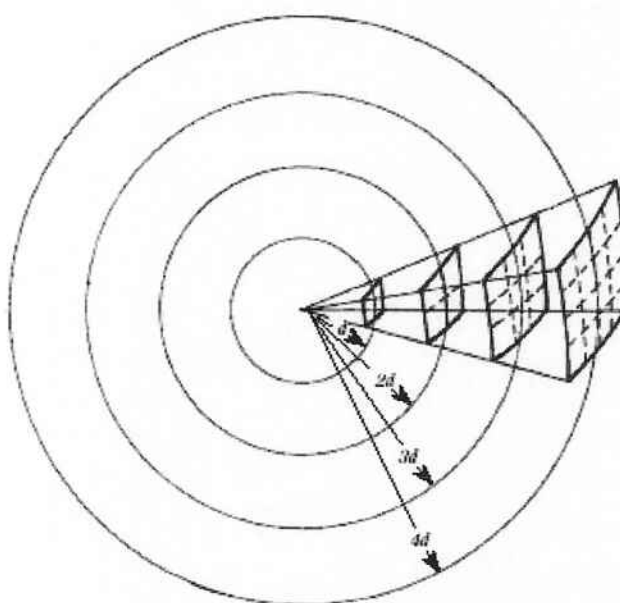


Figura 1 - Propagação esférica do som

$$I = I_0 e^{-mx} = I_0 e^{-mct}$$

$$m = 5.5 \times 10^{-4} (50 / h) (f / 1000)^{1.7}$$

sendo

I = Intensidade acústica [W/m²]

I_0 = Intensidade acústica inicial [W/m²]

h = Umidade relativa

f = frequência

x = distância

C = Velocidade do som (343 m/s no ar) [m/s]

Figura 2 - Equação de intensidade do som em relação à propagação

Usualmente, a intensidade do som é medida pela chamada Intensidade Sonora, em decibel.

A velocidade do som aumenta com o aumento da densidade do meio e da temperatura, possuindo velocidade de 1500 m/s na água (quase cinco vezes maior que a velocidade do som no ar).

A aplicabilidade do ultra-som começou a ser estudada pelos militares no início do século 20. Basicamente, procurou-se explorar suas características de propagação na água para construir um sistema de localização de embarcações, o SONAR. Pouco depois surgiram as aplicações médicas, que obtiveram sucesso e são amplamente utilizadas.

Os dispositivos de medida baseados em ultra-som que atuam no ar têm uma grande gama de aplicações, sendo a medição de distâncias apenas uma delas.

5.3.2 Sensores ultra-sônicos

Sensores ultra-sônicos nada mais são do que circuitos elétricos que transformam sinais elétricos em ondas mecânicas de frequência conveniente. Para isso, utiliza-se de transdutores, que são o grande determinador das características do sensor.

Os sensores de distância baseados em som apresentam diversas vantagens:

- Estabilidade excelente e de longa duração;
- Baixo preço e consumo de energia;
- Sensibilidade direcional;
- Resolução ajustável em longa largura de banda;
- Baixa interferência de interação e sensibilidade a quase todos os tipos de objetos.

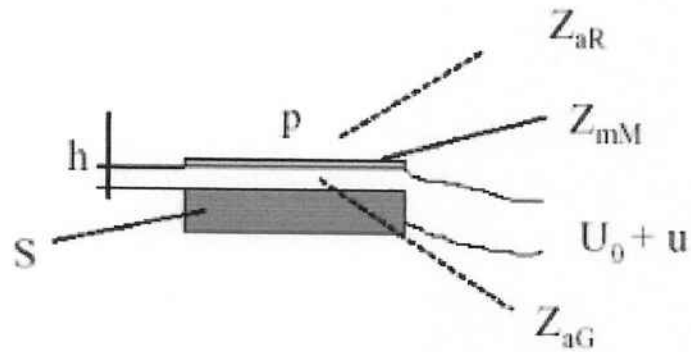
Há dois tipos de sensores ultra-sônicos diferenciados pela tecnologia de seus transdutores: o eletrostático e o piezelétrico.

5.3.3 Sensores baseados em transdutores eletrostáticos

O funcionamento dos transdutores baseados no princípio eletrostático (ou capacitivo) é o mesmo do capacitor. Duas superfícies condutivas, uma fixa e outra móvel são polarizadas com uma tensão, causando atração.

A placa fixa é um disco de alumínio com pequenas ranhuras concêntricas em um dos lados. Já a placa móvel constitui-se de um filme de material isolante com revestimento metálico (ouro ou alumínio) em um dos lados. Na montagem do transdutor, o lado do filme que não contém o material condutor é colocado sobreposto às ranhuras do disco de alumínio.

Quando um potencial é aplicado ao disco e à superfície condutora, há uma atração e a folha metálica se movimenta, movimentado também o ar. Este movimento do ar provoca um estouro de som ultra-sônico.



h ... distance between the electrodes

S ... electrode surface

p ... acoustic pressure

U ... electrical voltage

U_0 ... polarization voltage

Figura 3 - Diagrama de um transdutor eletrostático

As vantagens deste tipo de sensor são:

- Ultra-sensibilidade;
- Baixa vibração, pois o atrito faz com que a atenuação ocorra mais rápido, permitindo que o mesmo transdutor seja utilizado para envio e recepção;
- Detecção de pequenos objetos.

Atualmente, há uma tentativa de barateamento dos sensores eletrostáticos, com a utilização de silicone. Detalhes construtivos podem ser encontrados na bibliografia.

5.3.4 Sensores baseados em transdutores piezelétricos

A piezeletricidade foi descoberta pelos irmãos Curie há mais de cem anos atrás. Eles descobriram que o quartzo poderia se contrair se submetido a um campo elétrico, e vice-versa.

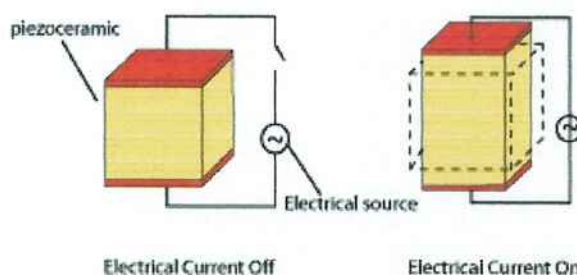


Figura 4 - Demonstração do princípio piezelétrico

Os transdutores piezelétricos são baseados em um cristal ou uma cerâmica com propriedades piezelétricas acoplado a cone ou caixa de material metálico. Quando um material piezelétrico é excitado por um potencial elétrico, ele se expande ou se contrai. O movimento da caixa ou do cone metálicos faz o ar se movimentar, provocando um estouro de som ultra-sônico.



Figura 5 - Típico encapsulamento do transdutor piezelétrico

Devido à vibração dos transdutores piezelétricos, cuja atenuação é muito menor do que a dos transdutores eletrostáticos, a construção do sensor exige a utilização de dois transdutores.

Essa é a principal desvantagem dos sensores baseados em transdutores piezelétricos, porém há vantagens:

- Possui ampla popularidade e diversos fabricantes;
- O alcance máximo dos dispositivos comerciais ultrapassa o alcance dos dispositivos eletrostáticos;
- Alta resolução.

5.4 Discussão com especialista em acústica

No começo do projeto, não havia detalhado conhecimento dos tipos de sensores e suas aplicações. Por isso, foi importante acrescentar à análise a opinião de um especialista em acústica.

Com esse objetivo, o Professor Doutor Julio Cezar Adamowski do Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo foi contatado e gentilmente aceitou uma discussão.

Nesta discussão ficou elucidado que a tecnologia acústica podia ser explorada por atender os requisitos necessários. Também ficou clara a diferença prática entre os sensores com princípio eletrostático e piezelétrico.

A escolha dependeria de um compromisso entre diversas dimensões:

- Precisão;
- Ângulo de abertura;
- Preço de aquisição ou de construção;
- Disponibilidade no mercado;
- Distância máxima medida;
- Dimensões e peso.

O sensor de princípio eletrostático apresenta precisão e bom ângulo de abertura, mas há poucos fornecedores e o preço é elevado. Há a possibilidade de construção, mas esta requer conhecimento de acústica e circuito de tensão elevada que aumentaria o peso e as dimensões do produto, o que vai de encontro aos requisitos.

Já o sensor de princípio piezelétrico possui maiores limitações, porém é amplamente utilizado e difundido no mercado, possuindo muitos fornecedores e preço mais acessível. Outras características relevantes são a dimensão e o peso (que inclui o circuito eletrônico necessário) menores do que o anterior.

Com estas considerações e a opinião do professor orientador, que considerou ser importante a escolha de um modelo comercial para um objetivo final de produto, foi feita a escolha pelo sensor ultra-sônico de princípio piezelétrico.

5.5 Pesquisa sobre atuadores

O projeto do aparelho de percepção visual tem como objetivo suprir parte das necessidades do usuário que não possui um dos seus sentidos. Logicamente, o sistema deve captar a informação e reproduzi-la ao usuário de maneira que esta seja inteligível, existindo a necessidade de se utilizar um atuador.

Existem diversos tipos de atuadores e eles estão presentes em uma quantidade enorme de aplicações. Alto-falantes, motores e válvulas são apenas alguns exemplos mais comuns.

Escolher um atuador para o projeto não pode ser uma decisão tomada sem análise. Como este estará em contato com o corpo humano e fará parte de um equipamento que deverá oferecer segurança, alguns requisitos devem ser levados em consideração:

- Segurança (safety), o atuador não poderá causar qualquer tipo de dor ou dano ao corpo do usuário;
- Alta confiabilidade;
- Pequeno peso, pois deverá ser portátil;
- Baixo consumo da energia das baterias;

- Diferentes níveis ou frequências de atuação para que a informação possa ser codificada;
- Pequeno tamanho;
- Deve comprometer pouco os outros sentidos do usuário;
- Baixo custo.

A primeira análise dos requisitos resultou na identificação de dois tipos de atuadores: sonoro e vibratório. Ambos são de fácil obtenção, possuem alta confiabilidade (por serem amplamente utilizados em diversos sistemas), baixo custo e podem ser encontrados em dimensões e peso reduzidos.

No entanto, entende-se que o sensor sonoro compromete o sentido auditivo, uma vez que exigirá atenção. Sendo que este sentido do deficiente visual é extremamente aguçado e proporciona segurança, a opção do atuador vibratório aparece como solução ótima para o problema. O atuador sonoro poderá ser utilizado para testes e para usuários que tenham dificuldade em distinguir pulsos vibratórios.

5.6 Entrevistas realizadas na instituição Laramara

No dia vinte e nove de junho houve a primeira visita a instituição Laramara com o objetivo de colher maiores informações a respeito dos usuários do produto e de obter respostas para questões chave relacionadas à usabilidade, locomoção e outras limitações, como preço e peso. A Laramara, Associação Brasileira de Assistência ao deficiente visual, foi fundada em 7 de abril de 1991 e localiza-se à rua Conselheiro Brotero, nº 338, bairro Santa Cecília, São Paulo.

A primeira entrevistada foi Adriana Barsotti, deficiente visual e funcionária, que nos contou sobre as dificuldades enfrentadas, os problemas mais comuns, e questões que vão além de soluções paliativas, como a depressão, que costuma atingir grande número de deficientes.

Também conversamos com o professor João Álvaro de Moraes Felipe, professor de orientação e mobilidade e coordenador de programas especiais da Laramara, que mostrou profundo conhecimento e credibilidade embasados em experiência e cursos no Brasil e no exterior.

Até então, o alcance social de projeto, sua aplicabilidade e usabilidade eram pouco conhecidos. Ficou claro que, devido às limitações de poder aquisitivo, o preço de venda deveria estar na faixa de 100 reais para alcançar um grande número de deficientes. A bengala tem preço inferior e, mesmo assim, mais da metade dos deficientes não a pode comprar.

Em relação à usabilidade, eliminou-se a utilização de um dispositivo preso à cabeça ou ao centro do tórax, uma vez que a opinião foi contrária. A melhor opção é um sistema acoplado à bengala. Outra possibilidade está em dispositivos na altura do tórax, mas presos ao braço, opção ainda não pensada que apareceu como solução interessante, compacta e de melhor estética.

Já em relação ao atuador, reforçou-se a vantagem da utilização do princípio vibratório por questões de atenção e de eficiência, já que foi relatada a dificuldade de percepção auditiva de boa qualidade nas barulhentas ruas e avenidas das grandes cidades. O atuador sonoro ficará como opção para pessoas que tenham dificuldade ou incômodo na utilização do anterior.

No dia 10 de novembro, foi feita outra visita com o pretexto de aquisição da bengala para testes e adaptação do módulo. Esta se transformou em uma visita técnica devido à solicitude do técnico especializado em máquinas braile e bengalas Maurício Nascimento. Trata-se de um profissional em constante contato com o usuário, que tem domínio das características necessárias e que conhece o mercado em que está inserido. Além disso, é importante ressaltar que o Laramara possui a bengala melhor avaliada pelos usuários brasileiros e é a única fabricante de máquinas braile da América Latina. Nesta entrevista,

alguns aspectos e requisitos importantes foram confirmados, além de aparecerem outros que são relevantes para a produção em série.

Foram apontados como requisitos indispensáveis para o produto: leveza, segurança, anatomia e aparência. Este último surpreendeu, já que foram citados exemplos de usuários que exigem personalização de cores para seus produtos.

O entrevistado também citou alguns números importantes. Segundo ele, a instituição vende aproximadamente 2500 bengalas e produz 600 máquinas braile por ano.

6 REQUISITOS E ESPECIFICAÇÃO FUNCIONAL

Foram definidos requisitos funcionais e não funcionais que deveriam ser atendidos no projeto do protótipo. Estes são definidos a seguir.

6.1 Requisitos funcionais

Sensor - O sensor de distância deve ter alcance de, pelo menos, um metro e ângulo de abertura mínimo de 30°.

Atuador - Deve-se utilizar atuador sonoro ou vibratório de baixo consumo e de pequenas dimensões.

Modularidade – O sistema deve ser modular, isto é, deve haver um bloco funcional que seja composto de um par sensor-atuador mediado por um controlador que trate a informação.

Ajustes – Deve haver um modo de ajustar as constantes do sistema após ele estar implementado e montado.

Faixa de operação – A faixa de operação apresenta dois aspectos, o alcance máximo e a resposta a objetos fora do campo de detecção.

Alcance máximo de detecção

Equipamento acoplado à bengala: deve ser capaz de detectar objetos até uma distância no mínimo 10% maior que o alcance da bengala. Para pessoas de 1,75m, o alcance da bengala é de aproximadamente 1,0m.

Equipamento acoplado ao ombro: Deve ser capaz de detectar objetos a uma distância no mínimo igual ao alcance da bengala para garantir que o usuário possa desviar do obstáculo a tempo.

Reposta a objetos fora do alcance de detecção: Para distâncias maiores que o alcance máximo de detecção, o objeto cuja distância foi medida (pois o sensor poderá detectá-lo) pode ser considerado infinitamente distante e o sistema não deve gerar nenhum sinal no atuador.

Altura da medida – O sensor deve captar objetos que estejam a uma altura de até 10 cm acima da altura do usuário, não devendo captar objetos a alturas superiores a 2,5m (altura média de teto).

Largura do objeto – Deve ser possível detectar objetos pequenos com uma largura mínima de 2,5cm como, por exemplo, um cabo de vassoura.

Ativação / Desativação – O usuário deve poder desativar ou ativar o aparelho quando assim desejar.

Acoplamento e embalagem – O protótipo deverá estar isolado em uma embalagem para proteção dos seus componentes e deve estar preso a um objeto que permita o acoplamento ao local desejado (bengala ou corpo).

6.2 Requisitos não funcionais

Conforto – O atuador não deve ser agressivo ou causar mal-estar, por isso, deverá ser considerada e pesquisada a intensidade de estímulo que seja mais adequada ao usuário.

Massa – O aparelho todo deve ter massa inferior a 200 gramas, incluindo baterias.

Ergonomia – O aparelho deve se adaptar ao corpo do usuário sem causar nenhum dano, incômodo ou problema durante seu uso por tempo curto ou prolongado. Este também não deve onerar ou comprometer qualquer função ou parte do corpo do usuário.

Adaptabilidade – O módulo funcional deve poder ser adaptado a mais de um lugar. Pela pesquisa realizada: bengala e braço.

6.3 Especificação Funcional

A seguir será especificado o funcionamento do sistema modular simples, isto é, com um par sensor-atuador.

6.3.1 Funcionamento

O sistema se baseia em um par sensor-atuador, mediado por um processador.

Sensor é um módulo que se encarrega de medir a distância até o próximo obstáculo, desde que este esteja dentro de seu espaço de operação.

Atuador é um dispositivo simples que pratica uma determinada ação de acordo com o sinal que recebe. No caso, é excitado de acordo com informação interpretada pelo processador e a transforma em estímulo sensorial. Fica ativo em um período variável de acordo com a proximidade do objeto, o que significa que o usuário recebe estímulo por menos tempo se o objeto estiver distante e por mais tempo se estiver próximo.

O controle principal fica por conta de uma unidade de processamento, que faz a leitura periódica do sensor e a converte em um sinal de período de excitação inversamente proporcional à distância lida.

6.3.2 Arquitetura

A arquitetura modular pode ser descrita pelo diagrama de blocos funcionais da figura abaixo.

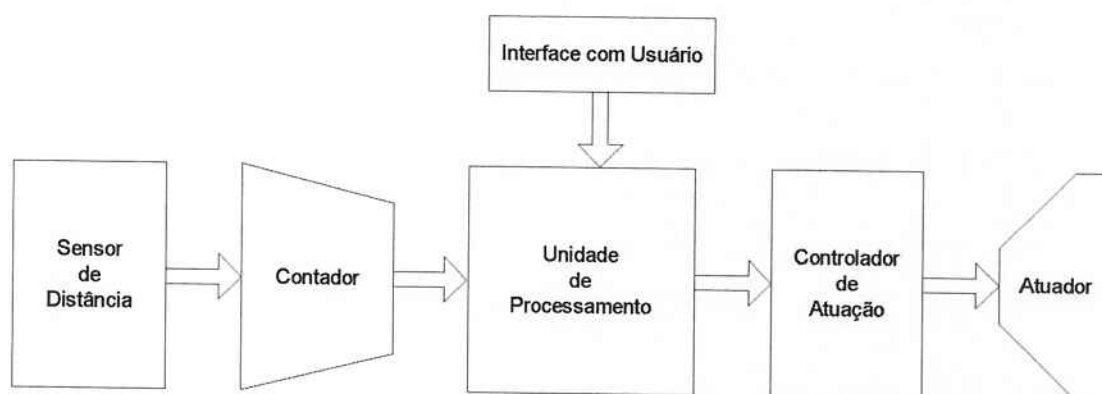


Figura 6 - Diagrama de blocos de um módulo do sistema

O *Sensor de Distância* mede o espaço entre o aparelho e um objeto à sua frente e gera um sinal com período proporcional à distância do objeto. Em seguida, o *Contador* recebe o sinal para medir o período de forma discreta (digital).

A *Unidade de Processamento* (UP) utiliza a medição para determinar a distância em que se encontra o objeto apontado pelo aparelho e definir qual a ação que deve ser tomada quanto ao atuador.

O *Controlador de Atuação* é um dispositivo que gera uma série de pulsos que terão períodos inversamente proporcionais à distância medida. A unidade de processamento é a responsável por determinar os valores que serão inseridos para a configuração do controlador de atuação.

Por fim, o *Atuador* recebe pulsos do seu controlador e emite um estímulo para o usuário.

O sistema também prevê que objetos localizados a partir da distância máxima ajustada não devem resultar em estímulo. A distância ideal para detecção varia com a velocidade de

deslocamento do usuário, uma vez que, se se percorre espaço mais rapidamente, há menos tempo para compreender o estímulo e reagir. Por isto há ajuste da distância máxima de detecção, que foi discretizada em dois valores.

Para controle e ajustes necessários, existe a *Interface com Usuário*, que permite, além da seleção dos dois modos de distância, a mudança de estado entre ativo e inativo, pois há ocasiões em que não há necessidade de sua utilização ou ela se torna inconveniente.

O sistema como um todo (com módulos em paralelo) é composto de vários subsistemas ou módulos como o apresentado acima, sendo que, para cada medida, corresponde um atuador. O limite para o número de módulos é, além do espaço ao redor, a compreensão e a capacidade do usuário de adaptação a diversos estímulos simultâneos.

A seguir é apresentada uma figura indicando a disposição do módulo da bengala. São mostrados também os dois valores de distância possíveis (no caso 1,2 e 2 metros).

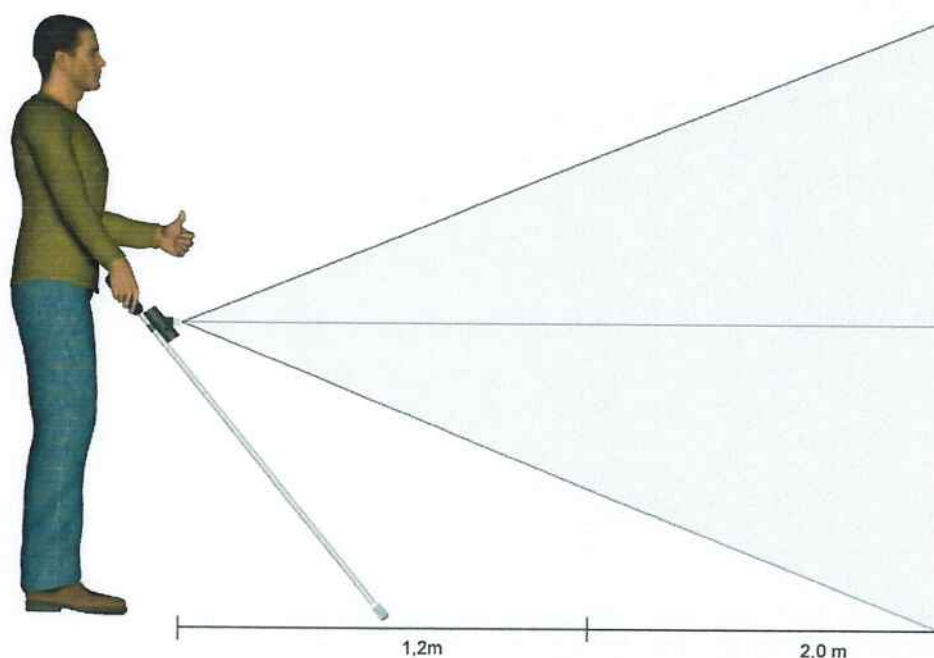


Figura 7 – Ilustração indicando a disposição do módulo para a bengala e o alcance do sensor em diferentes configurações de distância

A outra implementação considerada é de colocação do módulo no braço do usuário, mostrada na próxima figura.



Figura 8 – Ilustração indicando a disposição do módulo para o braço

6.3.3 Unidade de Processamento

A Unidade de Processamento é a responsável pelo tratamento das informações adquiridas pelo sensor e conseqüente ativação do atuador.

Com o valor da distância, ela deve determinar o período de ativação e de repouso do atuador; quanto maior, menor o período ativo e maior o de repouso. Isso porque, dependendo da proximidade em que o objeto se encontra, o sistema reage de maneira diferente. Objetos mais distantes causam estímulo de menor duração, enquanto objetos próximos provocam estímulo prolongado. A opção por estímulos intermitentes foi feita por motivos de economia de bateria e para que não se torne desagradável ao usuário.

A unidade de processamento é a responsável por marcar também os pontos limites de detecção, determinando um valor acima do qual o atuador não deve ser acionado, pois a distância máxima medida pelo sensor (em torno de 3 metros) é considerada grande demais para ser interpretada de forma útil.

7 METODOLOGIA E PLANEJAMENTO

A equipe trabalhou dividida em atividades paralelas ou unificada em tarefas principais. Assim ocorreu durante o período da especificação da proposta, em que todos os membros do grupo realizaram pesquisas e inferiram sobre as características desejadas para depois realizarem a proposta em uma reunião.

Optou-se por uma metodologia de projeto híbrida, porém na maioria das tarefas utilizou-se uma análise Top-Down. Da idéia inicial, dividiram-se os aspectos principais que deveriam ser atacados, como:

- Mercado e produtos similares;
- Pesquisas necessárias;
- Descrição funcional e requisitos.

A partir desta divisão, as tarefas foram divididas em outras sub-tarefas. Pesquisas necessárias, por exemplo, incluíram: avaliação dos tipos de sensores disponíveis, dos atuadores e microcontroladores.

Porém, especificamente no caso da montagem dos componentes eletrônicos e seus testes, foi utilizado uma integração Bottom-Up, criando e testando individualmente cada parte

para depois somá-las em um módulo funcional, pois a experiência mostra que é muito maior a facilidade de testes de pequenos sistemas elétricos e é mais simples o tratamento de eventuais erros.

Na parte de especificação funcional e requisitos, a abordagem foi incremental e iterativa, partindo-se de uma definição inicial, informal e simplificada para, através de pesquisas, discussões e entrevistas, obtê-la no nível desejado.

O mesmo ocorreu com a especificação da embalagem do produto e a montagem da mesma para o protótipo, sendo que o último evoluiu grandemente após coleta de informações.

Em relação a testes e a melhorias, também foi escolhida a abordagem incremental, que foi implementada através de opiniões colhidas por um instrumento de pesquisa elaborado, o que garantiu foco e evitou omissão de informações extremamente determinantes no resultado final.

As atividades foram planejadas e distribuídas previamente através da elaboração de um cronograma. Obviamente foram necessárias alterações, mas em geral houve cumprimento deste. O cronograma e a estimativa das horas gastas em cada atividade podem ser encontrados no apêndice A – Cronograma e estimativa de horas.

8 PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO

8.1 Especificação Técnica

A especificação técnica do sistema trata de todas as partes relevantes, levando em conta parâmetros eletrônicos, construtivos e de utilização. A seguir será especificado o funcionamento técnico do sistema tanto em sua estrutura de hardware quanto no processo interno que será feito.

8.1.1 Visão geral

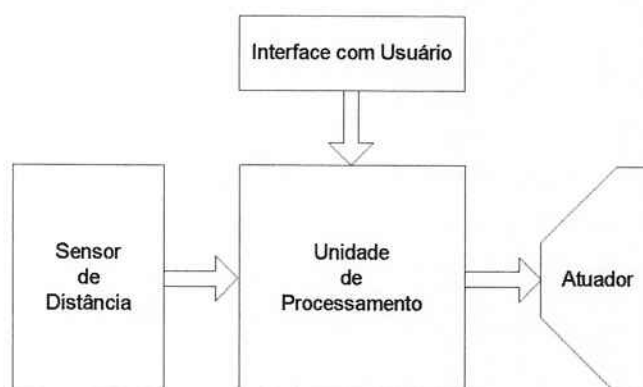


Figura 9 - Diagrama de blocos do circuito elétrico

O diagrama acima representa as simplificações técnicas, no qual parte do circuito é englobada dentro do processador da unidade de processamento.

Como foi dito, o sistema baseia-se num par detector-atuador. O detector, encarregado de obter a distância até o objeto mais próximo, baseia-se em um módulo emissor-receptor de ultra-sons, o qual emite uma onda de frequência conhecida (40 kHz) e mede o tempo até o retorno de sua reflexão (se houver). A partir desse tempo pode-se determinar a distância do objeto que refletiu o sinal, dado que é conhecida a velocidade do som no ar.

O atuador é um dispositivo vibratório que funciona pela rotação de uma massa desbalanceada, da mesma forma que os dispositivos vibratórios de telefones celulares. Estando bem acoplada à embalagem, a vibração é facilmente transmitida ao resto do encapsulamento.

A unidade de processamento, responsável por todos os cálculos e pela lógica do sistema, é implementada com um microcontrolador, o qual processa, lê entradas e excita saídas em velocidade muito maior que a dos outros componentes do circuito.

Apesar de serem vistos como blocos separados, o contador e o controlador de atuação são emulados dentro do microcontrolador, na unidade de processamento, o que, apesar de complicar a implementação, diminui os custos finais e o tamanho do aparelho como um todo, tornando-o mais acessível e confortável aos usuários.

8.1.2 Unidade de processamento

A Unidade de Processamento é a responsável pelo tratamento das informações adquiridas pelo sensor e consequente ativação do atuador. Uma rotina interna determina esse tratamento. Esta pode ser expressa pelo fluxograma a seguir.

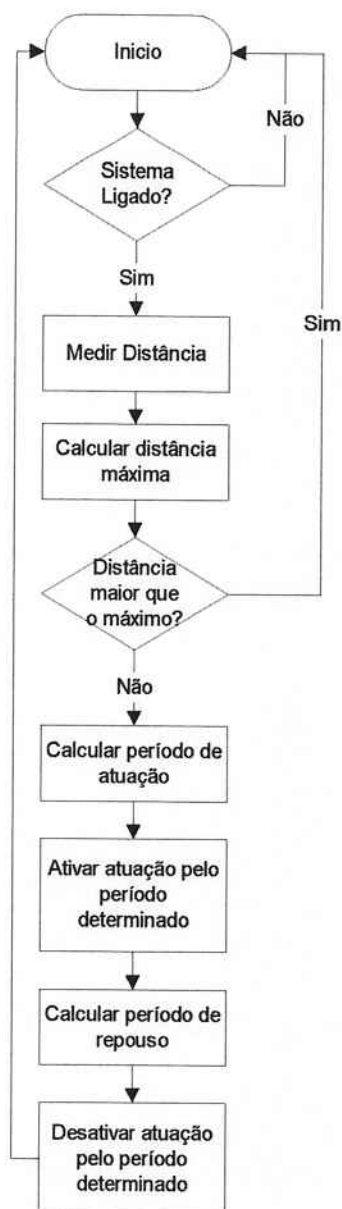


Figura 10 - Rotina do funcionamento principal do sistema

O microcontrolador realiza leituras cíclicas de distância através da comunicação com o módulo de detecção. Cada leitura é comparada à máxima distância e submetida a uma condição: se for menor, o restante do programa será executado; caso contrário o processo se reinicia.

Dado que o valor obtido passou pela primeira condição, é então convertido para um período de oscilação inversamente proporcional à distância, que será o período do sinal de

ativação do atuador. A seguir calcula-se um outro período, desta vez proporcional a distância e o atuador é colocado em repouso por este intervalo de tempo.

Essa forma de funcionamento faz com que objetos mais distantes gerem uma vibração curta e menos incômoda ao usuário, enquanto que objetos mais próximos geram uma vibração de duração maior.

Paralelamente a essa rotina, outra execução orientada a evento ocorre, no caso o evento está associado ao pressionamento de um botão, que é parte do sistema e serve para que o usuário interaja com o mesmo. Ele é responsável pelo ligamento e desligamento do módulo e pela mudança das distâncias máximas detectáveis.

O seu funcionamento é descrito na figura abaixo.

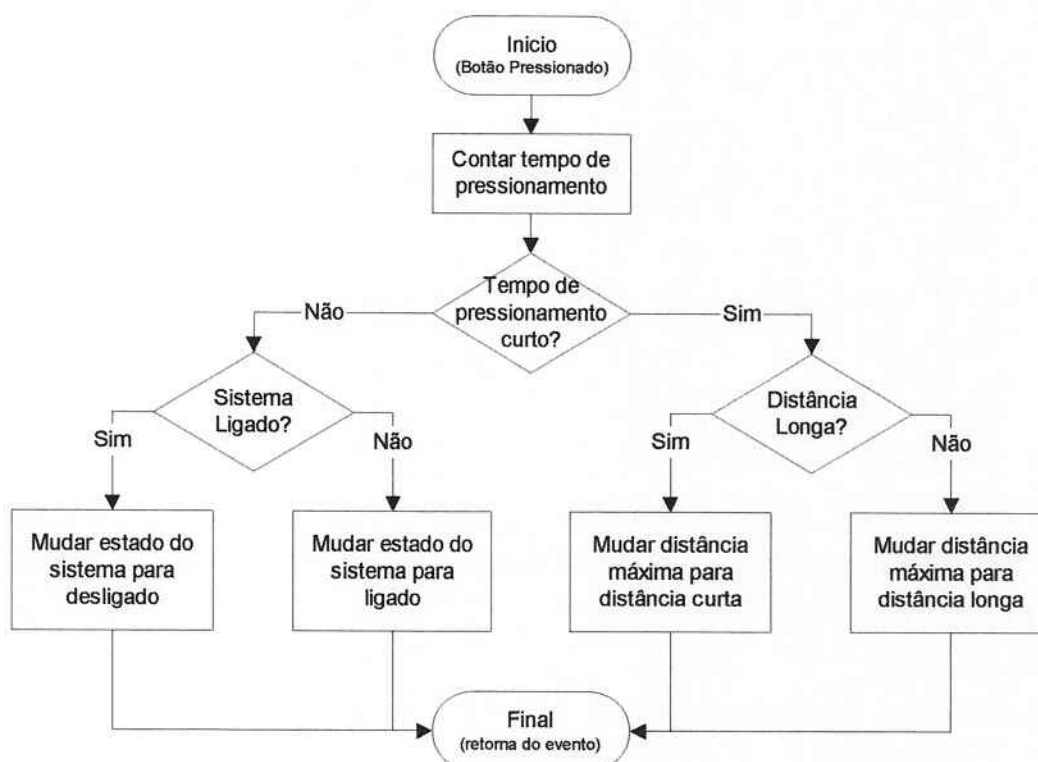


Figura 11 - Rotina do evento de pressão do botão

Ao se pressionar o botão, o processo inicia. É inicialmente determinado o tempo de pressão, se esse tempo é maior que um valor máximo definido, considera-se como evento de ligamento e desligamento do sistema. Uma vibração de curta duração alerta o usuário.

Quando o sistema está ligado e o botão é ativado por curto período, haverá alternância da distância máxima captada. O processo funciona analogamente ao anterior, mudando de estados em ciclo. Existem dois estados, um de distância máxima curta (em torno de 1,2 metros) e outro com distância mais longa (em torno de 2 metros).

O sistema permanecerá no último estado de distância máxima se não houver interrupção da alimentação

8.2 Escolha dos principais componentes

A escolha de cada componente foi criteriosa. Inicialmente foram estudadas tecnologias de sensores de distância e, após análises já descritas, a escolha recaiu na piezelétrica.

Pesquisou-se a respeito de sensores com o princípio de funcionamento escolhido e, descoberto um fornecedor nacional, adquiriu-se o módulo. Verificamos que ele não atendia aos requisitos, pois seu alcance era muito reduzido, ficando aquém das expectativas. Outro fator que limitou nosso trabalho com este sensor foi a falta de documentação.

Procurando sobre o assunto, foi encontrado um outro módulo documentado a ser implementado. Tratava-se do circuito de um módulo muito utilizado em robótica e capaz de medir distâncias de até 3 metros, o SRF04 (Sonic Range Finder), fabricado pela empresa inglesa Devantech.

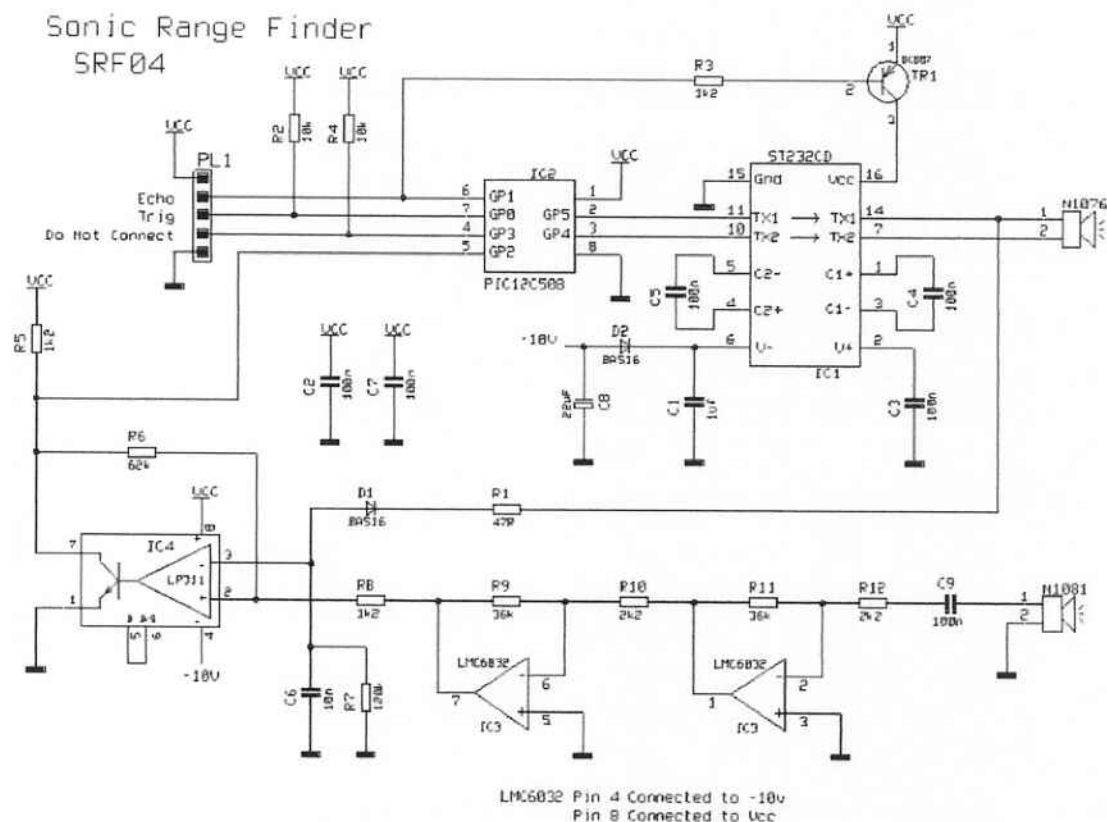


Figura 12 – Esquema Elétrico do SRF04

Este módulo foi montado, porém, havendo dificuldade em encontrar os componentes necessários (especificamente o amplificador operacional LC6032 e o transistor BCB07), houve substituição por similares que resultou no insucesso da implementação. Finalmente decidiu-se adquirir um módulo SRF04, que foi testado e atendeu todos os requisitos.

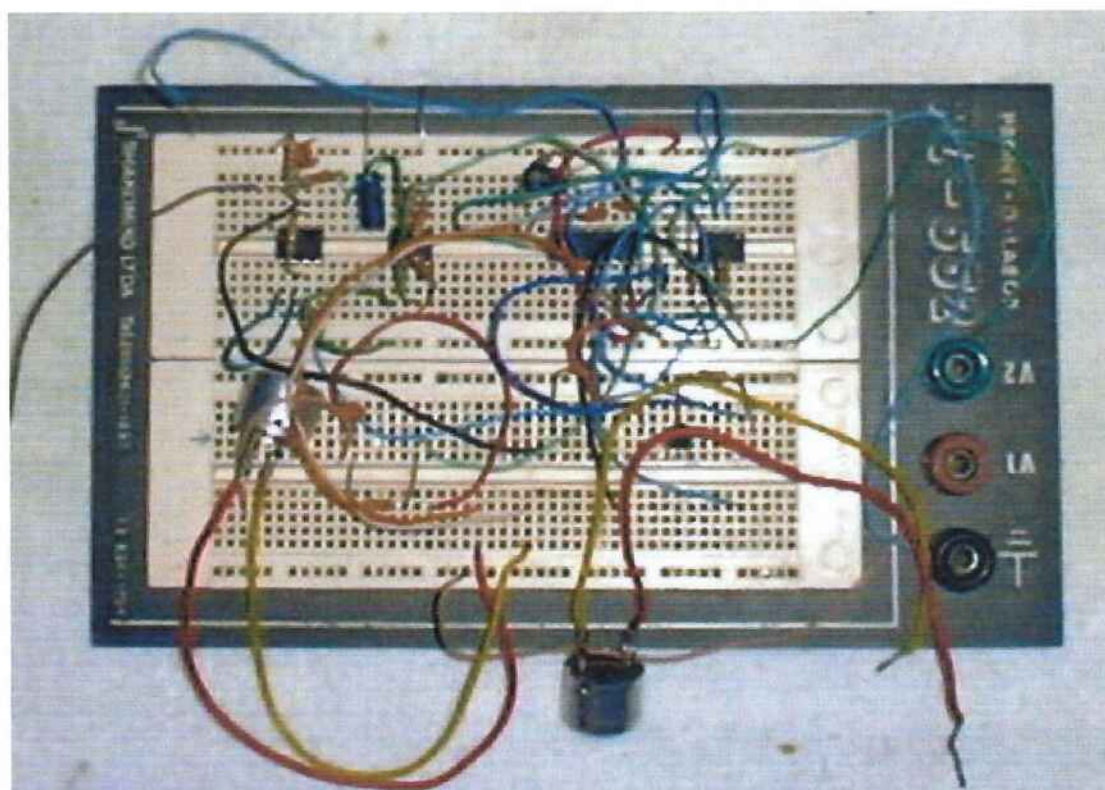


Figura 13 – Montagem em protoboard do SRF04

Outras partes do circuito não foram tão problemáticas. O atuador, que poderia ser de natureza sonora ou vibratória, passou a ser apenas vibratório, pois o som poderia comprometer a atenção. Além disso, a vibração permite que o aparelho seja utilizado também por pessoas com deficiência visual e auditiva.

A solução encontrada surgiu de um dispositivo amplamente utilizado, o telefone celular. A maioria destes tem um sistema de vibração para sinalização de chamada entrante. Pesquisando esse sistema, descobriu-se tratar de um pequeno motor de massa desbalanceada com baixo custo e consumo que vibra quando ativo, o que atendia todos os requisitos.

O microcontrolador utilizado, um Microchip PIC16F628A, foi escolhido devido a experiência da equipe e a complexidade necessária. Inicialmente pensou-se em utilizar outro modelo da mesma marca com maior capacidade e mais oneroso, porém ao notar que não seria necessário um processamento complexo e nem um grande número de portas de comunicação,

escolheu-se um modelo mais simples que atendia os requisitos. Este modelo também tem como vantagem clock interno, não necessitando de mais componentes no circuito. Para programá-lo há um hardware específico de baixo custo que é ligado a um computador pessoal através de porta serial. O software utilizado é o IC-PROG versão 1.05D. Para manter maior portabilidade e facilidade de leitura, escolhemos a linguagem de programação C ao invés de programar diretamente em Assembly. O compilador utilizado é o PCW C Compiler versão 3.43.

8.3 Implementação

A especificação técnica foi implementada na forma de um pequeno circuito. Um diagrama completo pode ser visto no apêndice D.

O circuito é alimentado por uma bateria comum de 9V, cuja tensão é reduzida por um componente 7805, o qual diminui tensões de entrada a 5V, dissipando o restante da potência. Os capacitores do circuito são para estabilização das tensões deste. Sabe-se que esta solução não é a mais otimizada, mas foi escolhida para simplificar o protótipo. Um eventual produto utilizaria solução mais eficiente, com menor consumo de energia.

O componente principal é o circuito integrado Microchip PIC16F628A, um microcontrolador capaz de executar instruções na ordem de 1MIPS (Millions of instructions per second ou milhões de instruções por segundo). Nesse processador é gravado o programa e são executadas todas as rotinas do circuito. Ele controla os periféricos enviando sinais digitais e lendo as respostas. O programa interno do microcontrolador pode ser visto no apêndice E.

Esse microcontrolador também tem um sistema de interrupções de execução que ocorrem em determinadas ocasiões. Um dos exemplos é a interrupção de mudança de estado de uma das portas de entrada utilizada na interface com o usuário para verificar o pressionamento de um botão; quando o estado é alterado de alto para baixo ou de baixo para

alto ocorre uma interrupção interna. Nesse momento, a execução do programa normal pára e o estado da execução é salvo, sendo executada uma rotina de botão que trata essa interrupção conforme foi programado. No final da rotina, o processador retorna a execução normal do programa principal.

Existe também um pequeno motor que implementa o atuador vibratório do circuito e tem carga indutiva. Para que cargas residuais sejam consumidas, um diodo é ligado paralelamente de maneira a permitir apenas condução no sentido inverso da passagem de corrente normal do circuito.

O processador não fornece corrente suficiente para alimentar este motor, cuja tensão nominal é 3V. Então é utilizado um transistor, que amplifica a corrente de saída do microcontrolador para os níveis necessários, e dois diodos seriais, que, juntamente com a queda de tensão base-emissor do transistor, diminuem a tensão até 3V.

Na primeira montagem do protótipo para a bengala, utilizou-se uma saboneteira como embalagem. Na montagem do protótipo final utilizou-se uma caixa retangular preta chanfrada nos lados. Esta, dentre as embalagens prontas encontradas à venda, era a que possuía o tamanho mais reduzido e dimensões adequadas para armazenar todos os componentes do circuito. Fotos dos protótipos montados são mostradas no apêndice F. A ilustração abaixo mostra a aparência e as dimensões da embalagem escolhida.

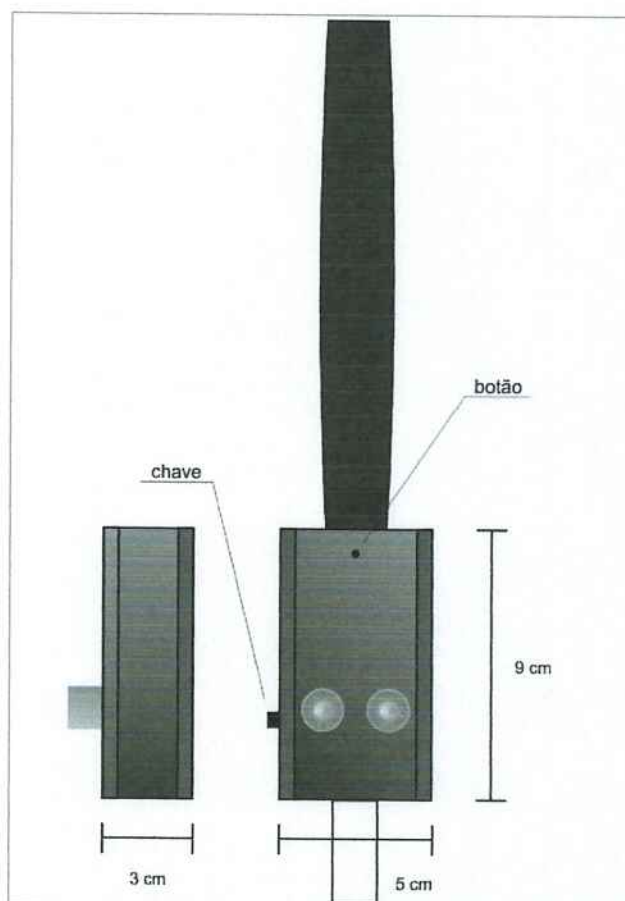


Figura 14- Ilustração com aparência e dimensões do protótipo para a bengala

A fixação fez-se através de uma abraçadeira metálica cujo raio é controlado por um parafuso. Adquirimos uma bengala retrátil fabricada pelo Laramara com extensão de 1,25 m. Esta é mais adequada para pessoas de 1,75 metro de altura.

Construímos também um segundo módulo de especificações semelhantes ao primeiro, alterando-se somente a embalagem com objetivo de fixá-lo no braço do usuário. Possui então, dimensões um pouco superiores ao primeiro, como mostrado na figura que se segue.

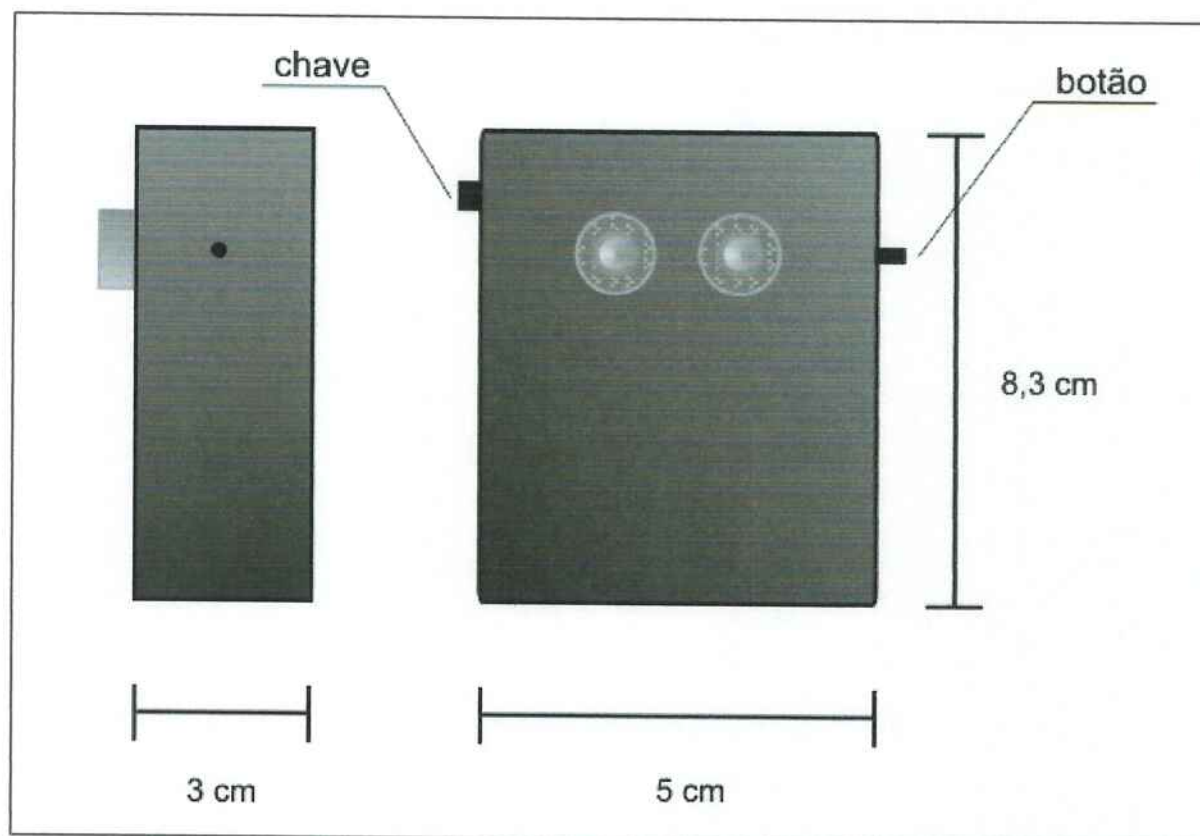


Figura 15- Ilustração com aparência e dimensões do protótipo para o braço

9 TESTES E AVALIAÇÕES

9.1 Testes Funcionais Realizados pela Equipe

Durante a montagem dos módulos, diversos testes foram realizados para garantir o funcionamento de suas partes. O sensor e o atuador foram testados individualmente e os comportamentos foram analisados para verificar se estavam de acordo com as especificações técnicas e requisitos.

Após a montagem do módulo da bengala, procederam-se sua utilização e verificação de distância e ângulo de aberturas para analisar o comportamento prático. Claro que a validade destes testes é menor por não haver técnica adequada na utilização da bengala, no entanto algumas observações foram relevantes para melhorias e decisões. A colocação do atuador em contato direto com a bengala na primeira montagem e o ajuste do programa para um método de ativação / desativação mais intuitivo são bons exemplos de percepções colhidas nestes testes.

9.2 Avaliações Realizadas com os Usuários

9.2.1 Metodologia

A etapa de testes e avaliação tem um papel crítico em qualquer projeto que visa como resultado um produto final eficiente e de acordo com os requisitos levantados junto ao usuário.

Até então um projeto, principalmente se se trata de uma área da qual não se tem domínio (fato comum na maioria dos casos), possui funcionamento baseado na intuição de sua equipe e nas informações colhidas. Trazer as percepções dos usuários e procurar os ajustes que satisfaçam suas expectativas é uma tarefa incremental que demanda tempo e metodologia, já que devem ser coletados dados que representem a população analisada.

Tendo como preocupação adaptar o produto ao deficiente visual e não o contrário, foi desenvolvido um instrumento de pesquisa que se encontra no apêndice B. Há objetividade e a linguagem utilizada é de fácil compreensão.

9.2.2 Avaliações realizadas

Foram realizadas duas avaliações devido à solicitude da instituição Laramara. Nelas foi avaliado o aparelho acoplado à bengala.

A primeira ocorreu no dia 22/11 e teve abordagem mais voltada à percepção do usuário no uso do aparelho em sua primeira montagem. Uma usuária foi entrevistada após ouvir as instruções e utilizar a bengala, com o auxílio de um professor de locomoção, em um ambiente fechado.

Procurou-se observar se os requisitos haviam sido atendidos e colher opiniões que pudessem auxiliar em ajustes.

A segunda ocorreu no dia 29/11 e teve abordagem voltada ao uso do aparelho, em sua segunda montagem e já ajustado de acordo com o que foi observado na primeira entrevista, em calçadas, justamente o ambiente para o qual o projeto foi desenvolvido. Desta vez dois usuários acompanhados por um professor de locomoção trafegaram por calçadas que possuíam os típicos obstáculos que costumam atrapalhar o deslocamento.

A observação foi centrada na eficiência do dispositivo em indicar um caminho seguro e em não confundir a percepção do usuário.

9.2.3 Resultados

Os dados colhidos podem ser observados no apêndice C.

Na primeira avaliação a recepção do aparelho em sua primeira montagem foi boa. A usuária relatou conseguir receber o estímulo sensorial de maneira adequada e suficiente. O volume e o peso incomodaram um pouco, sendo que o último foi levado em pouca consideração devido ao fato de se tratar de um protótipo. Houve sugestão para existir um ajuste de distância que foi efetivamente realizado.

Na segunda avaliação os dois usuários tiveram opiniões próximas. A segunda montagem diminuiu o volume consideravelmente e este não foi mais motivo de reclamação, apesar de ainda poder ser reduzido. O peso também sofreu pequena diminuição e não houve menção negativa a respeito. Como nesta avaliação os usuários utilizaram o aparelho em uma situação próxima da realidade, novos dados extremamente relevantes foram colhidos.

Ambos relataram que, quando caminharam próximos à parede e em corredores, caso da banca de jornal na calçada, o aparelho acusou permanentemente a presença de um obstáculo, o que confundiu sua orientação, já que tal informação não é relevante e retira atenção de obstáculos que realmente estejam na frente do usuário.

Até então os requisitos levantados e a impossibilidade de testes prematuramente impediram que esta informação fosse levada em conta. Sensores ultra-sônicos têm relação direta entre distância e ângulo de abertura, o que pode limitar a solução. Artigos foram coletados e podem trazer possíveis soluções de limitação do ângulo de abertura sem diminuir a distância máxima. Envolver o par de transdutores do sensor é uma opção, porém estudos mais completos têm que ser realizados para a obtenção de resultados corretos. Em relação à profundidade, pode-se desenvolver programação de ajuste automático de distância no futuro.

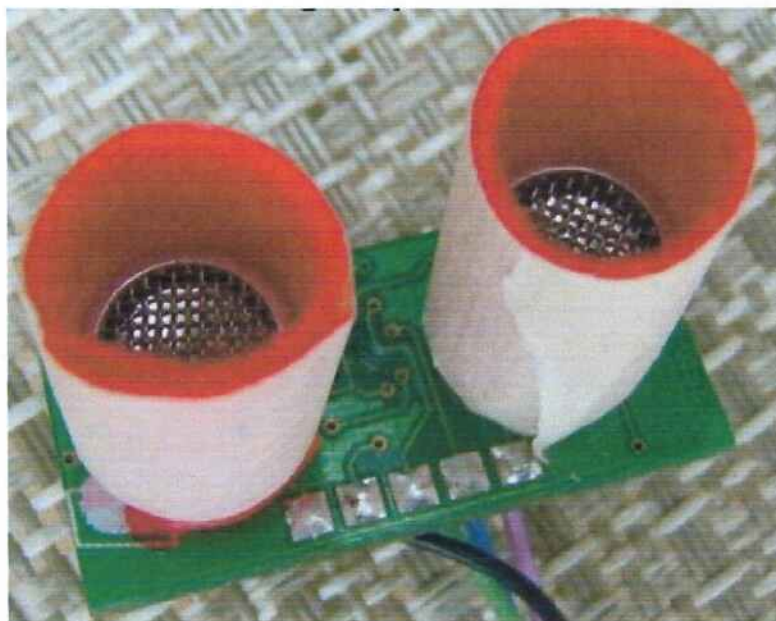


Figura 16 – Sensor com transdutores envolvidos por material aveludado

10 O PROJETO COMO PRODUTO INDUSTRIAL E SUA VIABILIDADE

A seguir é feita uma análise do produto. Serão descritos requisitos funcionais e não-funcionais nos pontos que divergem aos do protótipo e analisadas a viabilidade de produção e as diferenças entre o protótipo e o produto final.

10.1 Requisitos

Além dos requisitos do protótipo, já mencionas em capítulos anteriores, uma série de requisitos funcionais compõem o produto industrial projetado.

10.1.1 Requisitos funcionais

Energização – O produto deve ser recarregável para não necessitar de freqüentes trocas de pilha e deve ter uma base para recarga de fácil acoplamento. Esta base deverá ser leve e avisar de forma sonora quando o aparelho for acoplado corretamente.

Paralelismo dos módulos – Para vários módulos funcionarem paralelamente, deve haver interligação com controle centralizado, pois, caso contrário, poderá haver interferência entre os sinais ultra-sônicos de módulos diferentes que estejam analisando o espaço no mesmo intervalo de tempo.

Autonomia – O sistema necessita de uma autonomia de no mínimo 15 horas de operação usual.

10.1.2 Requisitos não funcionais

Portabilidade – O produto deve ser portátil e acoplável aos equipamentos do usuário; no caso do módulo para bengalas, deve ser possível adaptar o aparelho à bengala sem danificá-la ou alterar suas características de usabilidade.

Confiabilidade – O aparelho deve funcionar de modo a apresentar menos de uma falha ao ano um uso diário de 12 horas, e portanto deve possuir MTBF igual ou maior à 5000 horas.

Custo para o usuário – De acordo com as pesquisas realizadas, o preço é o maior limitador de acesso a acessórios que auxiliem deficientes. Por isso, o produto deve possuir preço de, no máximo, 100 reais o módulo independente e possuir baixo custo de manutenção, o que implica em simplicidade e baixo número de funcionalidades.

Dimensões – O aparelho deverá ser miniaturizado e ocupar as menores dimensões possíveis, sendo implementado com componentes de tamanho reduzido como componentes eletrônicos SMD e atuadores de vibração de telefones celulares.

Encapsulamento dos dispositivos - deve ser a prova de respingos e deve suportar temperaturas entre 5 e 50°C, permitindo a utilização do produto em condições climáticas adversas.

Compatibilidade eletromagnética - Telefones celulares e outros aparelhos localizados junto ao corpo do usuário ou a uma distância suficiente para haver alguma forma de irradiação não devem interferir no funcionamento do aparelho.

Ergonomia – O aparelho deve atender os padrões de ergonomia internacionais.

Forma e aparência – O aparelho deve possuir, forma tátil inteligível e segura ao usuário e, se possível, ter aparência personalizável. Este também não deve parecer um produto

de alta-tecnologia e alto valor agregado, pois deficientes visuais são vítimas potenciais de roubos.

10.2 O Produto

O sistema proposto neste projeto é uma pré-implementação de um produto idealizado. Este visa atender melhor às expectativas dos usuários, porém diverge do protótipo em alguns aspectos.

Para a adequação à ergonomia, praticidade de uso e acabamento de qualidade, uma embalagem feita sob encomenda é necessária. A criação da mesma para poucas unidades acarretaria em um custo proibitivo, sendo que só é interessante produzi-la em grande escala. Esta embalagem deve atender os requisitos de conforto para o usuário, além de ser capaz de se fixar, ao menos, na maioria das bengalas comerciais. Esta fixação deve ser simples, para que o próprio usuário possa adaptar o módulo sem dificuldades.

As embalagens também devem ser simples, porém, minimamente customizáveis para atender as necessidades pessoais dos usuários.

Outro ponto é o circuito, que seria minimizado. A alimentação seria de apenas 3V ao invés dos 9V do protótipo, retirando a parte do circuito utilizada para reduzir tensões, uma vez que os componentes, com exceção do sensor ultra-sônico, que necessita de 5V para correto funcionamento, utilizam tensões menores. O sensor seria alimentado com tensão gerada por pulsos através do próprio processador e de alguns capacitores. Como o consumo é baixo, esse método seria suficiente.

Essa minimização também contribuiria para a diminuição do peso total do equipamento e do custo de manutenção, já que pilhas alcalinas dos tipos AA possuem custo inferior a baterias alcalinas de 9V.

Uma futura expansão possível para o produto seria a integração do módulo sensor de distância no próprio circuito, utilizando um só processador, reduzindo ainda mais o tamanho do módulo e o custo final. O processador utilizado no módulo é da mesma linha que o utilizado no sistema desenvolvido, porém de menor capacidade, e seria possível integrá-lo junto ao resto do circuito, isentando assim a necessidade de importação desse módulo, cujos altos impostos (60% sobre o valor do produto) fazem dele um dos pontos mais críticos ao custo do sistema.

O funcionamento do produto segue o mesmo princípio do protótipo, utilizando também um atuador vibratório que deve ser fixado à embalagem. Deve-se utilizar os atuadores fabricados para aparelhos celulares, pois a produção em massa tem custo inferior à produção de um motor específico.

Como explicado anteriormente, a fonte de alimentação de 3V é fornecida por um par de pilhas AA recarregáveis contidas dentro da embalagem. Essas pilhas podem ser removidas, permitindo que o usuário utilize pilhas alcalinas ou troque as pilhas recarregáveis quando a vida útil das mesmas esgotar. O produto deve contemplar mais uma parte, que é um carregador. Este é uma pequena fonte independente com um terminal macho que se encaixa no módulo, como ocorre em telefones celulares e câmeras digitais. Esse carregador emite um pequeno sinal sonoro ao se encaixar seu terminal ao módulo e carrega as pilhas como um carregador comum. O carregador será ligado numa tomada padrão 127 volts.

10.2.1 Embalagem e ergonomia

É de alta relevância para o projeto, tendo em vista que se trata de um produto final. São aspectos de alguma maneira relativos à embalagem:

- Encapsulamento plástico;
- Peso;

- Alimentação elétrica;
- Indicador de distância;
- Botões e interfaces com o usuário;
- Afixações.

A princípio foi estabelecido que a embalagem deveria atender os seguintes requisitos básicos: ser leve; fácil encaixe e desencaixe; resistência a eventuais colisões; proteção do circuito e sensor com proteção contra fatores ambientais; e baixo custo de produção.

Para atingir esses objetivos foram necessárias análises e discussões do grupo a respeito dos diversos aspectos relativos ao produto, desde o material do encapsulamento até à posição do atuador. Estes aspectos serão detalhados a seguir levando-se em conta o módulo acoplado à bengala.

Para o material do encapsulamento, inicialmente é escolhido o plástico devido principalmente ao baixo custo, peso, resistência mecânica e ao grande número de fornecedores e produtores. Quanto ao design do mesmo, diversos itens devem ser levados em consideração, tais como: tamanho dos componentes internos; inclinação típica da bengala; afixação do módulo à bengala; possibilidade de respingos na embalagem; e facilidade de produção em escala.

Deve-se ter o cuidado de conceber a embalagem de tal forma que, quando exposta à chuva, minimize o risco de danificar o produto. Para isso, deve ser evitada qualquer abertura na parte superior da embalagem, colocando os botões, espaço para pilha e outras reentrâncias de interface nas faces laterais e inferior. Outra solução é utilizar transmissores e receptores com encapsulamento diferenciado, que não permite a entrada de água, encontrados por um preço um pouco mais elevado que os tradicionais.

O produto final, com embalagem e bateria, acresce à bengala em torno de 100g, o que pode ser considerado excessivo no caso de ser adaptado a uma bengala já pesada, podendo fazer o conjunto ultrapassar o limite de peso estabelecido como razoável. Por isso, pode ser necessário, para um produto final, buscar a diminuição de outras características do sistema.

Para a fixação do módulo à bengala, podem ser utilizadas duas abraçadeiras flexíveis mas rígidas, possibilitando retirada e utilização em várias bengalas e garantindo que o usuário sinta o estímulo, mesmo que sua mão não esteja segurando a bengala na posição correta. O atuador seria fixado diretamente na embalagem.

Além do módulo principal, conectado à bengala, buscamos adaptar o funcionamento de um módulo para detecção de obstáculos mais altos, preso ao braço do usuário, rente ao ombro. Este módulo possuiria as mesmas características básicas do anterior, com algumas diferenças como: outra embalagem, mais anatômica ao ombro, com o sensor apontando em linha reta; braçadeira de velcro para fácil remoção do ombro; e o atuador ser afixado na embalagem sem necessidade de abraçadeira.

10.2.2 Análise de Produção

A seguir é realizada uma breve análise de componentes e custos do produto que inclui principalmente os custos dos componentes, não levando em conta o custo da mão-de-obra na montagem do produto.

Para a produção em massa, são necessários componentes que serão divididos nos grupos encapsulamento, placa de circuito impresso e embalagens externas, que se complementam para formar o produto final. O encapsulamento se divide em dois: um para o módulo da bengala e outro para o módulo do ombro. A placa e a embalagem externa, no entanto, se mantêm inalteradas independente do encapsulamento.

Para o encapsulamento do módulo da bengala, temos as seguintes peças:

Tabela 4 - Custo de componentes do módulo da bengala

Nome	Código	Quantidade	Custo (R\$)
Embalagem bengala macho	EBM	1	3,00
Embalagem bengala fêmea	EBF	1	3,00
Parafuso da embalagem	PAE	3	0,05
Parafuso da placa de CI	PAC	4	0,05
Abraçadeira da bengala	ABB	2	0,20
Módulo sensor SRF04	SRF	1	70,00
Fio de cobre de até 5cm	FC1	10	0,10
Botão liga/desliga	BT1	1	0,30
Atuador	ATU	1	1,00
Encapsulamento do atuador	ATE	1	0,10
Abraçadeira do atuador	ABA	1	0,30
Conector bateria	COB	1	0,30

Já para o encapsulamento do módulo do ombro:

Tabela 5 - Custo de componentes do módulo do ombro

Nome	Código	Quantidade	Custo (R\$)
Embalagem ombro macho	EOM	1	3,00
Embalagem ombro fêmea	EOF	1	3,00
Parafuso da embalagem	PAE	4	0,05
Parafuso da placa de CI	PAC	4	0,05
Abraçadeira ombro	ABO	1	2,00
Módulo sensor SRF04	SRF	1	70,00
Fio de cobre de até 5cm	FC1	10	0,10
Botão liga/desliga	BT1	1	0,30
Atuador	ATU	1	1,00
Encapsulamento do atuador	ATE	1	0,10
Conector bateria	COB	1	0,10

No grupo da placa de circuito impresso temos os seguintes componentes eletrônicos:

Tabela 6 - Custo de componentes do circuito eletrônico

Nome	Código	Quantidade	Custo (R\$)
Placa com trilhas	PLA	1	5,00
Capacitor eletrolítico 220uF 10V radial	CC1	3	0,10
Capacitor cerâmico 100nF 63V radial	CC2	5	0,05
Diodo sinal 1N4148	CD1	1	0,05
Diodo 1A 1N4001	CD2	3	0,05
Conector de 2 pinos	CN1	3	0,05
Conector de 5 pinos	CN2	1	0,05
Transistor 75V 0,6A 2N2221A	CT1	1	0,05
Resistência axial ¼ W 4K7 5%	CR3	1	0,05
Resistência axial ¼ W 3R3 5%	CR1	1	0,05
Resistência axial ¼ W 10K 5%	CR4	3	0,05
Resistência axial ¼ W 3K7 5%	CR2	1	0,05
Micro-controlador PIC16F628A	PI1	1	10,00
Regulador de tensão LM7805C/TO220	CG1	1	0,05

Como produto final, é também necessária uma embalagem externa, para acomodar o produto. Para este grupo, temos:

Tabela 7 - Custo de item adicionais do produto			
Nome	Código	Quantidade	Custo (R\$)
Caixa externa	CXE	1	1,00
Caixa interna	CXI	1	1,00
Manual impresso	MAI	1	2,00
Manual Braille	MAB	1	4,00
Manual em CD	MAC	1	2,00
Embalagem plástica	EMP	1	2,00

Assim o custo total de peças fica estimado em R\$ 90,00 para a produção de uma unidade, qualquer que seja o módulo, sendo mais de 70% relativo ao sensor. Se este for incorporado ao módulo, espera-se redução para aproximadamente R\$ 40,00.

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

11.1 Repercussão junto à comunidade

Como pôde ser observado, houve interesse da instituição Laramara, dos profissionais e dos próprios deficientes visuais. Muitos já haviam ouvido falar de produtos eletrônicos para auxílio na locomoção e gostariam de utilizá-los, entretanto nunca tiveram contato algum com tais dispositivos.

A comunidade científica também se interessou pelo projeto. Na Universidade de São Paulo houve possibilidade de divulgação em um evento de acessibilidade. O trabalho também foi aprovado para apresentação no “ IV Congresso Ibero-Americano sobre Tecnologias de Apoio a Portadores de Deficiência” (Iberdiscap 2006).

11.2 Perspectiva de continuidade

O departamento, a instituição Laramara e grupo mostraram interesse em dar continuidade ao projeto. Faz parte do objetivo inicial deste ter um resultado prático e aplicável que beneficie a comunidade brasileira e possa trazer opção mais acessível para deficientes de países desenvolvidos. Desenvolver um produto é uma tarefa desafiadora e gratificante que trará experiência e conhecimento para todos.

Para tanto, espera-se o aprofundamento dos estudos de produção e viabilidade econômica realizados no projeto que estão presentes neste documento.

11.3 Conclusão

Realizar um projeto com foco direcionado à realidade, isto é, que proporcionasse resultados aplicáveis no cotidiano, era um desejo do grupo. Obviamente, se existisse benefício social seria ainda mais interessante. Várias idéias foram propostas e votadas até a escolha definitiva do tema, que foi muito feliz.

O projeto pode parecer simples do ponto de vista de resultados técnicos, mas foi um desafio de análise de requisitos, de flexibilidade e de concepção prática. Basta observar as análises e considerações feitas para se ter noção do problema, que vai além das fronteiras de concepção de computação e sistemas digitais. Analisar estatísticas, ter contato com deficientes e profissionais especializados, pesquisar produtos semelhantes, analisar custos, fazer avaliações qualitativas orientadas e atender a requisitos como ergonomia e peso são necessidades inerentes à engenharia pouco abordados durante a graduação e que acrescentam muito à formação do engenheiro.

11.4 Opiniões individuais

Daniel Vieira Marques

Inicialmente o projeto não passava de uma idéia, de que algo simples pudesse ser implementado e utilizado por pessoas na sua vida, que ultrapassasse a visão acadêmica de uma simples implementação de algoritmos ou aplicação de conceitos teóricos.

O projeto, apesar de sua simplicidade no funcionamento, logo no início se mostrou desafiador, aplicar conhecimentos e técnicas em uma aplicação real requer mais que o simples conhecer de peças e circuitos. Tratar com as pessoas, pesquisar as várias soluções possíveis e qual mais se adequa ao usuário, e mesmo, considerar a opinião dele, testar o produto, tudo que

agrega valor ao projeto, porém não é de implementação trivial, todos esses pontos significaram um desafio a mais no projeto.

Os objetivos do projeto foram atingidos, chegou-se ao necessário para montar um produto, pesquisaram-se os concorrentes e similares para que o produto que fosse oferecido ao usuário realmente atendesse ao que ele necessita e fosse viável.

Acreditamos que esse produto possa realmente ser útil a sociedade brasileira e venha a ser utilizado pelos deficientes visuais. Vemos acima de tudo que nosso esforço não foi em vão, que as horas de trabalho e dedicação não foram desperdiçadas, isso é o que mais traz gratificação na conclusão desse projeto.

Fernando José Vieira

Os objetivos traçados foram inteiramente cumpridos. A especificação funcional resultou em um protótipo de funcionamento correto, sendo que apenas a comunicação serial foi abolida pela percepção posterior de falta de aplicação prática. Na verdade, houve evolução incremental, o que acrescentou bastante ao projeto.

As visitas, testes e avaliações realizados trouxeram dados e conhecimento que ampliaram e direcionaram o projeto de forma correta, além de mostrar a direção que deve ser seguida para sua aplicabilidade prática. Com relação ao objetivo primordial, a observação da necessidade de diminuição do ângulo de abertura é o ponto sem solução prática (já que foi descoberto na avaliação final), mas com dados teóricos pesquisados que mostram o caminho a se seguir.

Hugo Lima Borges

Quando pesquisamos a respeito de outros dispositivos existentes no mercado, sabíamos que nosso produto não seria inovador em aspectos técnicos. Nosso desafio esteve sempre ligado a construir um dispositivo que realmente atendesse aos requisitos e melhorasse a mobilidade sem esquecer da questão do custo final. Então, não passamos todo o nosso tempo especificando e implementando a solução. Tivemos que entrar em contato com pessoas que entendiam sobre o assunto de mobilidade (pouco dominado por nós), pesquisar em busca de componentes e peças que resolvessem nossos problemas e realizar testes com possíveis usuários do produto.

O trabalho foi gratificante para mim, pois surgiu a oportunidade de continuarmos no desenvolvimento da solução e então obtermos um produto. Claro, essa etapa exigirá uma quantidade grande de testes e dedicação nossa, além de auxílio da instituição. Caso se realize, sentirei-me muito grato em retribuir, como engenheiro da Escola Politécnica, à sociedade brasileira.

Pedro Paulo Lopes Da Ros

O objetivo inicial do grupo foi satisfeito, que foi não se limitar a uma análise de conceito e um protótipo rasteiro, nos estendendo a diversas fases da criação do produto final como análise de custo e embalagem, percebendo todas as dificuldades na construção de um produto comercial.

Ao fim conseguimos ter um produto útil à sociedade brasileira, totalmente documentado para uma produção em massa, ainda passível de otimizações a fim de redução de custo para ficar mais acessível ao público alvo.

Uma estimativa de homens-hora segue na tabela abaixo para verificação de esforço compreendido no trabalho.

Tabela 11 - Esforço de realização em homens-hora	
Tarefas	Homens-hora
Pesquisas de sensores e atuadores (2,3)	50
Detalhamento do Projeto (1,2,3,4)	60
Seleção dos Sensores e atuadores (1,2,3,4)	20
Seleção do micro-controlador (3,4)	16
Programação do microcontrolador (1,4)	30
Testes do microcontrolador com sensores (1,4)	80
Definição dos circuitos e layout da placa (2,3)	50
Testes dos circuitos completos (1,2,3,4)	30
Montagem dos módulos (1,2,3,4)	100
Teste dos módulos (1,2,3,4)	30
Ajustes necessários no software (1,4)	10
Desenvolvimento da embalagem (2,3)	100
Seleção dos atuadores (3)	10
Compras de itens necessários (1,2,3,4)	20
Pesquisas de dados estatísticos (2)	10
Visitas e entrevistas (2,3)	15
Elaboração de instrumento de pesquisa (2,3)	4
Análise de requisitos de produto e de mercado (1,2,3,4)	60
Planejamento da demonstração (1,2)	6
Manual do produto (3,4)	10
Documentação e apresentação final (1,2,3,4)	200
Ajustes e testes finais (1,2,3,4)	80
Total	991

Apêndice B – Instrumento de Pesquisa para Usuário Final

Para a avaliação do protótipo foi elaborado um instrumento de pesquisa para consultar a opinião do usuário final. Esse formulário se encontra nesse apêndice.

Avaliação do protótipo – acoplamento à bengala
 Usuário avaliado: _____
 Deficiência visual desde de: _____

Características Relevantes			
Questões	Sim	Não	Comentários
O peso do produto é adequado?			
O modo de utilização está claro?			
A operação é simples?			
As dimensões são adequadas?			
O produto teve utilidade para a sua locomoção e deslocamento?			
Quais sugestões você tem para melhorar o produto? R.:			

Operação			
Questões	Sim	Não	Comentários
Houve desconforto durante o uso?			
O estímulo fornecido foi interpretado?			
O estímulo fornecido pelo atuador atrapalhou o uso da bengala?			
A intensidade do estímulo é adequada?			
A frequência do estímulo é adequada?			
A posição em que o dispositivo foi colocado é adequada?			
A posição em que o gerador de estímulo foi colocado é adequada?			
Foi possível desviar do obstáculo a tempo?			
O alcance máximo é adequado?			
O tempo de resposta do dispositivo é adequado?			

Figura 17- Instrumento de pesquisa

Apêndice C – Avaliações Feitas com Usuário Final

Através do instrumento de pesquisa, aplicado durante os testes realizados por deficientes visuais, importantes informações foram obtidas. Aqui estão listados os dados colhidos nas duas avaliações realizadas.

Primeira avaliação

Avaliação do protótipo – acoplamento à bengala

Usuário avaliado: Adriana

Deficiência visual desde de: Infância

Características Relevantes			
Questões	Sim	Não	Comentários
O peso do produto é adequado?		X	
O modo de utilização está claro?	X		
A operação é simples?	X		
As dimensões são adequadas?		X	
O produto teve utilidade para a sua locomoção e deslocamento?	X		
Quais sugestões você tem para melhorar o produto? R.:Ajuste de distância, diminuição das dimensões			

Operação			
Questões	Sim	Não	Comentários
Houve desconforto durante o uso?		X	
O estímulo fornecido foi interpretado?	X		
O estímulo fornecido pelo atuador atrapalhou o uso da bengala?		X	
A intensidade do estímulo é adequada?	X		
A frequência do estímulo é adequada	X		
A posição em que o dispositivo foi colocado é adequada?	X		
A posição em que o gerador de estímulo foi colocado é adequada?	X		
Foi possível desviar do obstáculo a tempo?		X	Em alguns casos apenas
O alcance máximo é adequado?		X	Depende da velocidade de deslocamento
O tempo de resposta do dispositivo é adequado?		X	O Atraso inserido atrapalha a percepção à medida que se aproxima do obstáculo

Segunda avaliação

Avaliação do protótipo – acoplamento à bengala

Usuário avaliado: Lucio / Edivaldo

Deficiência visual desde de: Adolescência / Infância

Características Relevantes			
Questões	Sim	Não	Comentários
O peso do produto é adequado?	X		
O modo de utilização está claro?	X		
A operação é simples?	X		
As dimensões são adequadas?	X		
O produto teve utilidade para a sua locomoção e deslocamento?	X		Quanto andando junto à parede, o aparelho acusou presença de obstáculo constante, o que confundiria sua percepção.
Quais sugestões você tem para melhorar o produto? R.: Diminuir raio de ação.			

Operação			
Questões	Sim	Não	Comentários
Houve desconforto durante o uso?		X	
O estímulo fornecido foi interpretado?	X		Foi relatada vibração da bengala quando batida no chão, no entanto, isto não é possível. A intensidade do impacto da bengala devido à força exercida pelo usuário, aliada ao não costume de uso, deve ter confundido a percepção.
O estímulo fornecido pelo atuador atrapalhou o uso da bengala?		X	
A intensidade do estímulo é adequada?	X		
A frequência do estímulo é adequada?	X		
A posição em que o dispositivo foi colocado é adequada?	X		Para o produto, foi sugerida a possibilidade de se criar um cabo para bengalas já acoplado ao aparelho.
A posição em que o gerador de estímulo foi colocado é adequada?	X		
Foi possível desviar do obstáculo a tempo?	X		
O alcance máximo é adequado?	X		Em casos de corredores, pode confundir a percepção do usuário.
O tempo de resposta do dispositivo é adequado?	X		

Apêndice D – Esquema do Elétrico e Layout da Placa de Circuito Impresso

A seguir são apresentados os desenhos dos circuitos elétricos, lista de componentes e placa de circuito impresso utilizadas na implementação do protótipo.

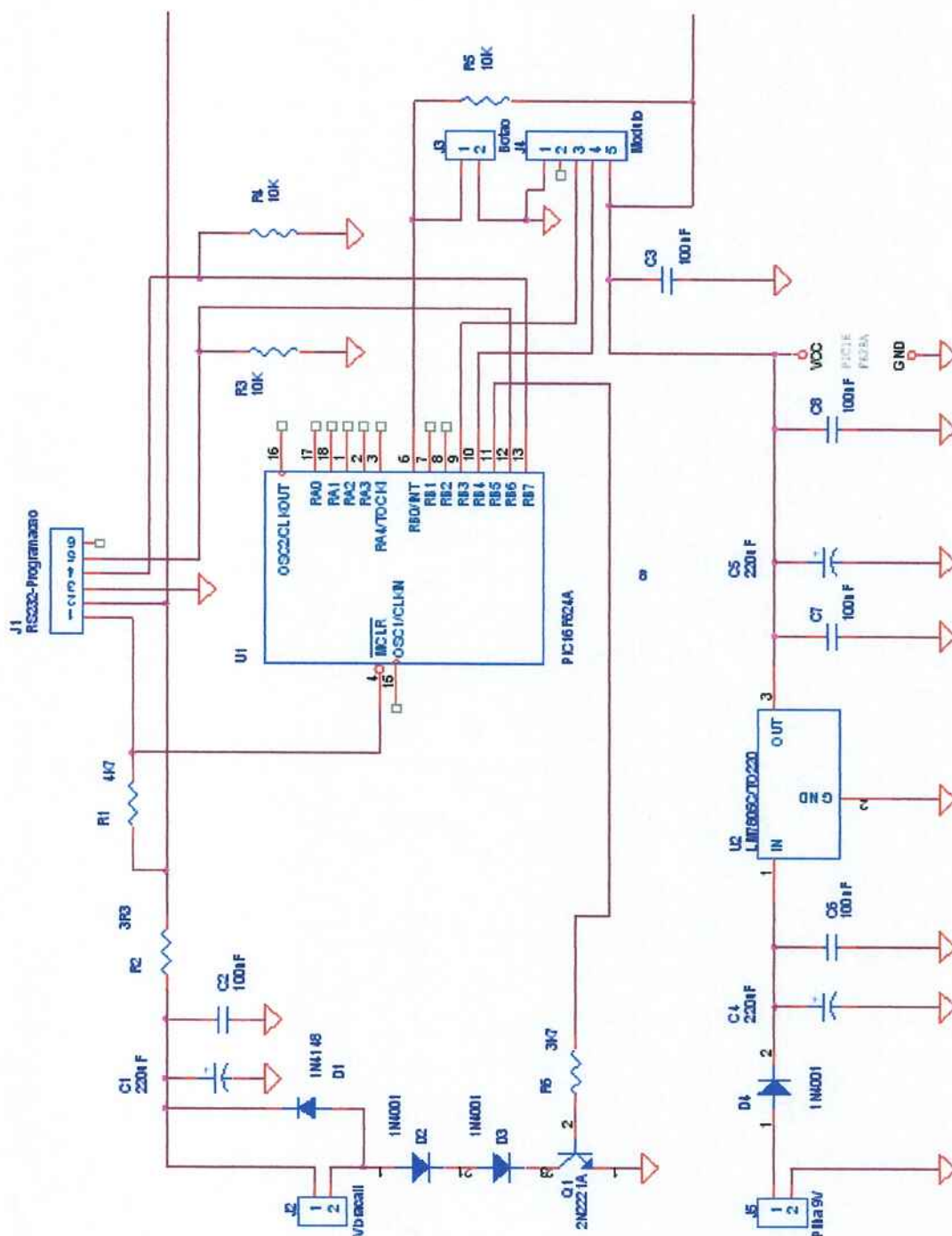


Figura 18 - Esquema elétrico da placa do protótipo construído

Tabela 12 - Lista dos componentes necessários para montagem da placa de circuito impresso

Item	Referência	Designação	Quantidade	Informação
1	C1, C4, C5	Capacitor eletrolítico 220uF 10V radial	3	
2	C2, C3, C6, C7, C8	Capacitor cerâmico 100nF 63V radial	5	
9	D1	Diodo sinal 1N4148	1	
10	D2, D3, D4	Diodo 1A 1N4001	3	
13	J1	PLUG-RG13-6/6	1	Programação
14	J2	CON2	1	Motor de vibração
15	J3	CON2	1	Botão
16	J4	CON5	1	Sensor SRF04
17	J5	CON2	1	Bateria 9V
18	Q1	Transistor 75V 0,6A 2N2221A	1	
19	R1	Resistência axial ¼ W 4K7 5%	1	
20	R2	Resistência axial ¼ W 3R3 5%	1	
21	R3, R4, R5	Resistência axial ¼ W 10K 5%	3	
24	R6	Resistência axial ¼ W 3K7 5%	1	
25	U1	Microcontrolador PIC16F628A	1	
26	U2	Regulador de tensão LM7805C/TO220	1	

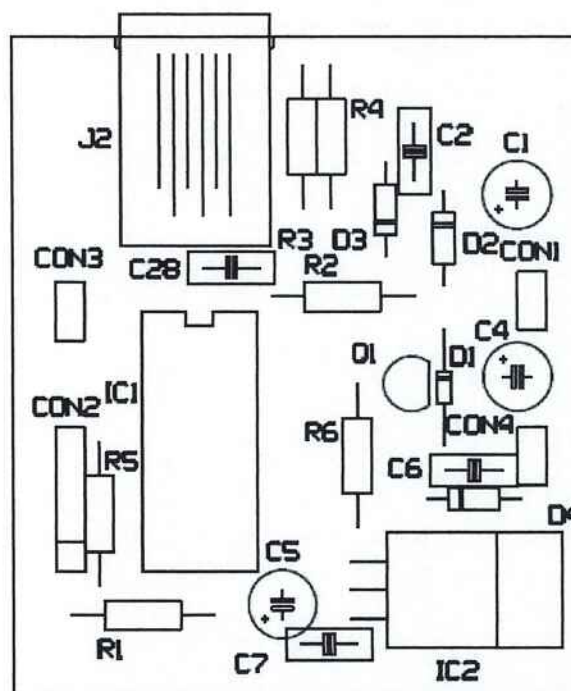


Figura 19 – Visão superior da placa de circuito impresso indica a posição dos componentes

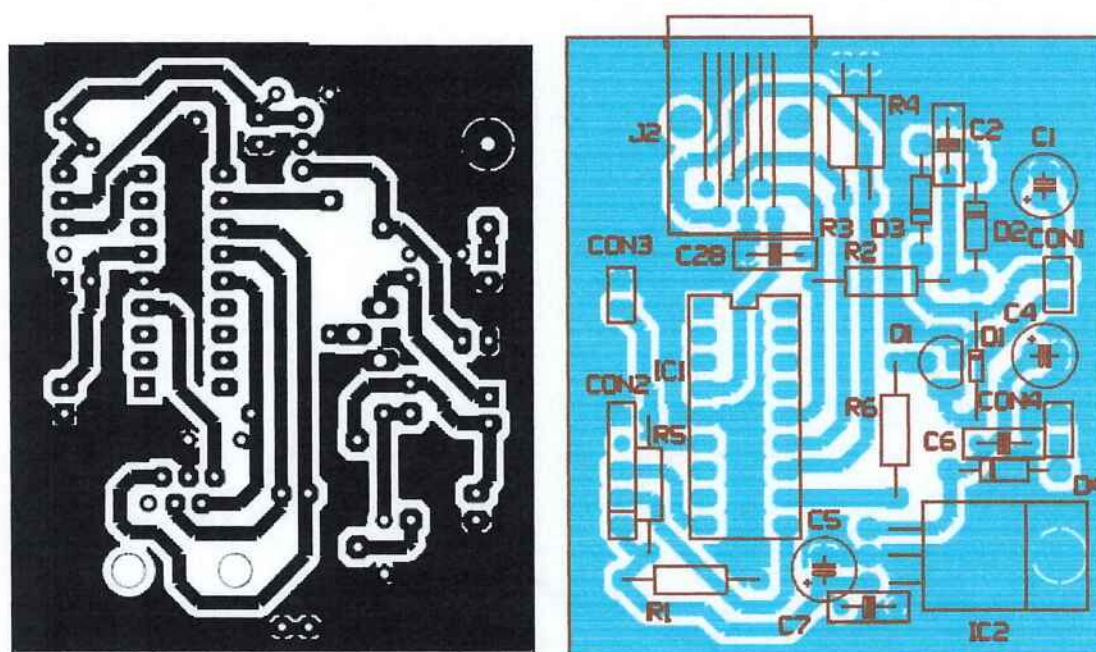


Figura 20 - Visão inferior (esq.) e superior (dir.) da placa de circuito impresso

Apêndice E – Programa em linguagem C para o PIC 16f628A

O programa seguinte foi escrito em linguagem C e compilado no compilado PICC-CSS, versão 3.2 para o processador PIC16F628A.

```
#include "programa.h"

#define SENSOR_CLK PIN_B3
#define SENSOR_IN PIN_B4
#define ATUADOR PIN_B5
#define SINHAL PIN_B6
#define BOTAO PIN_B0
#define DLY_NODEC 40 //delay quando objeto detectado esta distante demais

#define TIMER_MAX_LONGA 800 //distancia maxima longa
#define TIMER_MAX_CURTA 500 //distancia maxima curta

unsigned int8 ligado = 0;
unsigned int8 dist_longa = 0;

#int_ext
void int_botao()
{
    unsigned int16 count = 0;

    output_low(ATUADOR);
    delay_ms(10);

    //medir erro de oscilacao do botao
    if (input(BOTAO) == 1)
        return;

    //medir tempo do pulso
    for(count=0; input(BOTAO) == 0; count++){
        if(count > 1000)
            break;
        delay_ms(1);
    }

    if(count <= 1000){
        //liga/desliga
        if (ligado)
            ligado = 0;
        else
            ligado = 1;
    }
    else{
        //muda distancia maxima longa/curta
        if (dist_longa)
            dist_longa = 0;
        else
            dist_longa = 1;
    }

    //teste de timeout
    for(count=0; input(BOTAO) == 0; count++)
    {
```

```

    if(count > 60000)
    return;
}
}

void main()
{
    unsigned int16 timer_counter = 0;
    unsigned int16 i = 0;
    unsigned int16 count = 0;
    unsigned int16 timer_max = TIMER_MAX_CURTA;

    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
    setup_vref(FALSE);

    ext_int_edge(H_TO_L); // inicia o disparo da interrupcao para o
    pressionamento do botao
    enable_interrupts(INT_EXT); // habilita interrupcoes
    enable_interrupts(GLOBAL);

    output_high(PIN_B6);
    output_low(SENSOR_CLK);
    output_low(ATUADOR);
    output_low(SINAL);
    delay_ms(1000);

    while(1){
comeco:

    if (ligado == 0)
    {
        delay_ms(100);
        goto comeco;
    }

    //envia pulso de enable
    output_high(SENSOR_CLK);
    delay_us(100);

    //desliga pulso de enable
    output_low(SENSOR_CLK);

    //conta o tamanho do pulso
    count = 0;
    while (input(SENSOR_IN) == 0){
        count++;
        if(count > 60000){
            output_high(SINAL);
            delay_ms(10);
            output_low(SINAL);
            goto comeco;
        }
    }
    timer_counter = 0;

```

```
while (input(SENSOR_IN) != 0){
    timer_counter++;
    delay_us(2);
}

if(dist_longa)
    timer_max = TIMER_MAX_LONGA;
else
    timer_max = TIMER_MAX_CURTA;

if (timer_counter >= timer_max)
{
    delay_ms(DLY_NODEC);

    goto comeco;
}

//coloca pulso no atuador e espera tempo proporcional
output_high(ATUADOR);

for(i=0; i < 50 + TIMER_MAX - timer_counter; i++){
    delay_us(1500);
}
output_low(ATUADOR);

for(i=0; i < timer_counter; i++){
    delay_us(1500);
}

delay_ms(400);

}
}
```

Apêndice F – Fotografias dos protótipos construídos**Figura 21 – Primeiro protótipo construído para a bengala**



Figura 22 – Segundo protótipo construído para a bengala



Figura 23 – Protótipo construído para afixação no braço

Apêndice G – Apresentação do CD

A documentação deste projeto é complementada pelo CD que a acompanha. Esta mídia possui a seguinte estruturação de diretórios:

Circuito: Contém esquemas e modelos resultantes da elaboração do circuito.

Documentação final: Contém o arquivo fonte deste documento, a apresentação em Power Point e o resumo do projeto.

Fotos: Contém as foto dos protótipos montados.

Manuais técnicos: Contém manuais de fabricantes de dispositivos utilizados e de produtos similares.

Programas: Contém o código fonte em linguagem C (programa.c) e o arquivo gerado pelo compilador (programa.hex), utilizado no microcontrolador.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SHARP. **INFRA-RED SENSORS**. Disponível em <<http://www.sharp-world.com/>>. Acesso em 31/03/2005.
- POLI CIDADÃ, **PROJETOS DE GRADUAÇÃO COM RESPONSABILIDADE SOCIAL**. Disponível em <<http://www.poli.usp.br/policidadada/>>. Acesso em 01/04/2005.
- NURION-RAYCAL. **ELECTRONIC TRAVEL AIDS FOR THE BLIND**. Disponível em <<http://www.lasercane.com/>>. Acesso em 01/04/2005.
- IFSA. **SENSORS PORTAL**. Disponível em <<http://www.sensorsportal.com/>>. Acesso em 08/05/2005.
- EVEREST, F. A.. **Master Handbook of Acoustics**. 4 ed. New York, McGraw-Hill.
- SENSCOMP, **DISTANCE SENSORS**. Disponível em <<http://www.senscomp.com/>>. Acesso em 08/05/2005.
- XUECHENG; LADABAUM; KHURI-YAKUB. **The Microfabrication of Capacitive Ultrasonic Transducers**. Journal Of Microelectromechanical Systems, v. 7, n 3, p. 295-302, setembro de 1998.
- MAGORI, V. **Ultrasonic Sensors in Air**. In: IEEE-UFFC 1994 International Ultrasonics Symposium, IEEE-UFFC, Proceedings, 1994, V. 1, p. 471-481

IEEE-UFFC. **ULTRASONICS TEACHING RESOURCES**. Disponível em <<http://www.ieee-uffc.org/ulmain.asp?view=teach>>. Acesso em 08/05/2005.

BAUMER ELETRIC. **DISTANCE MEASURING SENSORS**. Disponível em <<http://www.baumerelectric.com/baumer/boxe.html?/baumer/en/produkte/position/pposdistancemeasurement.html>>. Acesso em 08/05/2005.

MEASUREMENT SPECIALTIES, INC. **Piezo film sensors**. Disponível em <<http://www.media.mit.edu/resenv/classes/MAS836/Readings/MSI-techman.pdf>>. Acesso em 08/05/2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **CENSO POPULACIONAL DE 2000**, Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em 10/08/2005.

Organização Mundial da Saúde. **International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF)**. Disponível em <<http://www.who.int/classifications/icf/en/>>. Acesso em 10/08/2005.

UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION. **DEMOGRAPHIC AND SOCIAL STATISTICS**. Disponível em <<http://unstats.un.org/unsd/demographic/sconcerns/disability/disab3.htm>>. Acesso em 10/08/2005.

CAREY, H. **Reducing Sidelobes of SRF10**. Disponível em <http://www.robot-electronics.co.uk/htm/reducing_sidelobes_of_srf10.htm>. Acesso em 30/11/2005.

Microchip Technology Inc. PIC16F627A/628A/648A Data Sheet. Disponível em <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40044D.pdf>>. Acesso em 10/04/2005.

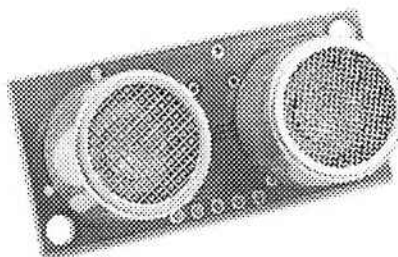
ANEXOS

Anexo 1 – Manual do sensor SRF04

Fonte: Acroname Easier Robotics - <http://www.acroname.com/>

Introduction

The Devantech SRF04 Ultrasonic Range Finder offers precise ranging information from roughly 3 cm to 3 meters. This range, easy interfacing, and minimal power requirements make this an ideal ranger for robotics applications.



Theory of Operation

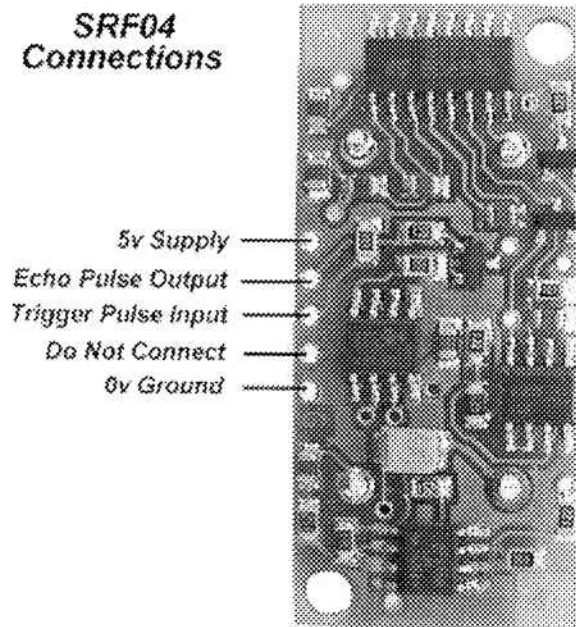
The ranger works by transmitting a pulse of sound outside of human hearing. This pulse travels at the speed of sound (roughly 0.9ft/msec) away from the ranger in a cone shape.

The sound reflects back to the ranger from any object in the path of this sonic wave. The ranger pauses for a brief interval after the sound is transmitted and then awaits the reflected sound in the form of an echo. The controller driving the ranger then requests a ping, the ranger creates the sound pulse, and waits for the return echo. If received, the ranger report this echo to the controller and the controller can then compute the distance to the object bases on the elapsed time.

Connections

The ranger requires four connections to operate. First are the power and ground lines. The ranger requires a 5v power supply capable of handling roughly 50mA of continuous output. The remaining two wires are the signal wires.

The connections can be made by soldering wire leads to the board or header pins/sockets depending on your needs.

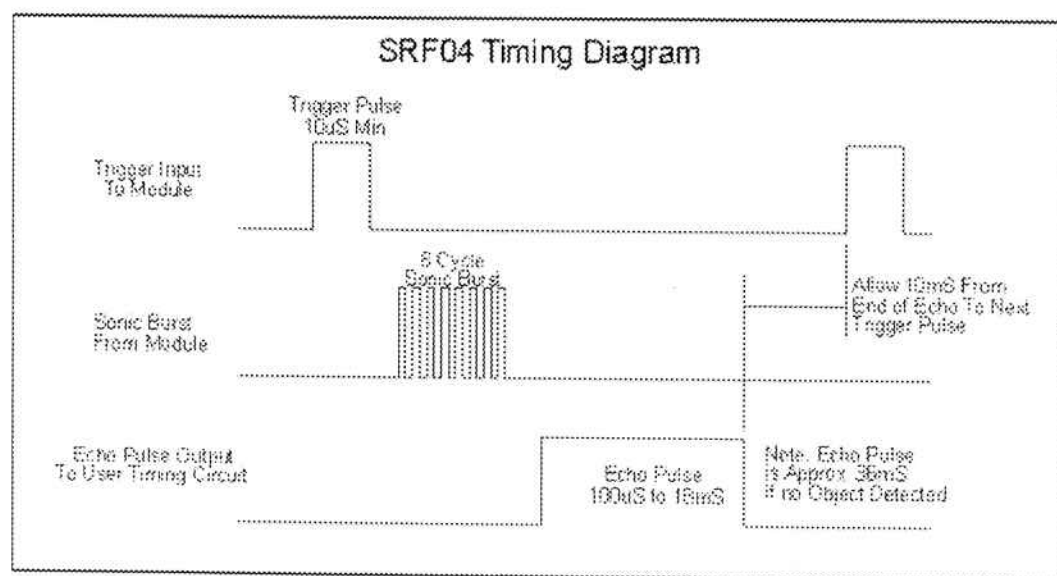


Basic Timing

There are couple of requirements for the input trigger and output pulse generated by the ranger. The input line should be held low (logic 0) and then brought high for a minimum of 10uS to initiate the sonic pulse. The pulse is generated on the falling edge of this input trigger. The ranger's receive circuitry is held in a short blanking interval of 100 µsec to avoid noise from the initial ping and then it is enabled to listen for the echo. The echo line is low until the receive circuitry is enabled to listen for the echo. The echo line is low until the receive circuitry is enabled, the falling edge of the echo line signals either an echo detection or the timeout (if no object echo is detected).

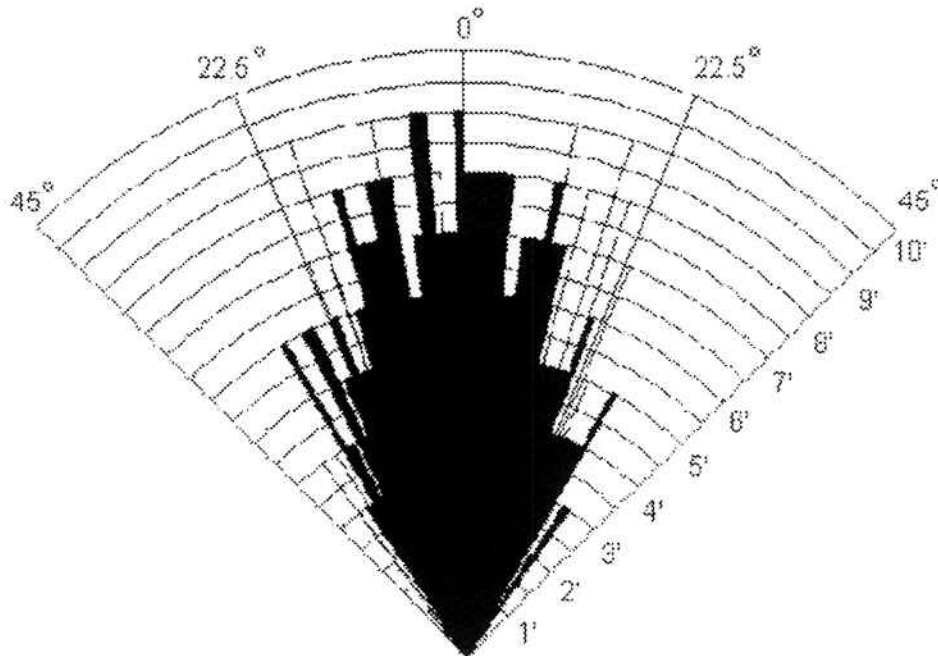
Your controller will wait to begin timing on the falling edge of your trigger input and end timing on the falling edge of the echo line. This duration determines the distance to the first object the echo is received from.

If no object is detected, the echo pulse will timeout and return an echo at approximately 36 msec.



Beam Pattern

The SRF04 has a detection cone that is roughly 30 degrees wide. Testing in a 90 degree arc at Acroname revealed the following beam pattern:



The radial lines indicate 6" distance increments

Specifications

Voltage	5v only required
Current	30mA Typ. 50mA Max.
Frequency	40KHz
Max Range	3m
Min Range	3cm
Sensitivity	Detect 3cm broom handle at > 2 m
Input Trigger	10uS Min. TTL level pulse
Echo Pulse	Positive TTL level signal, width proportional to range