

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

EDI LUIZ LIBERATO ELIAS

**Proposta para desenvolvimento de aparelho identificador sonoro
para pessoas com deficiência auditiva**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2014

EDI LUIZ LIBERATO ELIAS

**Proposta para desenvolvimento de aparelho identificador sonoro
para pessoas com deficiência auditiva**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Mecânica, do Departamento Acadêmico de Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Dr. Ângelo Marcelo Tusset

PONTA GROSSA

2014



TERMO DE APROVAÇÃO

PROPOSTA PARA DESENVOLVIMENTO DE APARELHO IDENTIFICADOR SONORO PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA AUDITIVA

por

EDI LUIZ LIBERATO ELIAS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 30 de julho de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Ângelo Marcelo Tusset
Orientador

Prof. Me. Irapuan Santos
Membro Titular

Prof. Me. Frederic Conrad Janzen
Membro Titular

Prof. Dr. Luiz Eduardo Melo Lima
Responsável pelos Trabalhos
de Conclusão de Curso

Prof. Dr. Laercio Javarez Junior
Coordenador do Curso de
Engenharia Mecânica

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela bolsa concedida para a condução desta pesquisa.

Agradeço ao Professor Ângelo Tuset, pela amizade e bom humor perene durante as orientações.

Agradeço ao Professor Frederich Janzen pela ajuda inestimável ao prestar suporte técnico para esta pesquisa.

Agradeço aos meus pais pelo apoio e compreensão durante a jornada universitária. Dedico a eles todas minhas conquistas.

Agradeço a Carina Guimarães, pela inspiração em usar o talento e conhecimento que temos para praticar o bem.

Agradeço aos meus amigos portadores de deficiências, por mostrar outras formas de pensar e agir perante o ambiente que nos cerca.

RESUMO

Partindo da ideia inicial de desenvolver um sistema para auxiliar deficientes auditivos no trânsito urbano, a pesquisa propõe um aparelho capaz de identificar alertas sonoros, como buzinas e sirenes, e vibrar alertando o usuário. Abrangendo uma discussão sobre desenvolvimento e arcabouço jurídico referente a pessoas portadoras de deficiência auditiva, o texto se aprofunda ao nível técnico abordando acústica, vibrações e eletrônica. Por meio da aquisição de dados experimentais e transformada rápida de Fourier, é conduzida a caracterização acústica de buzinas automotivas. De maneira semelhante são buscados as frequências naturais dos principais guidões ciclísticos disponíveis comercialmente. A partir dos dados encontrados é proposto um fluxograma para o projeto eletrônico, assim como, mudanças pertinentes para aprimoramento do projeto.

Palavras-Chave: Acústica, Vibrações, Deficiência auditiva

ABSTRACT

Starting from the idea of developing a system to assist the deaf people in city traffic, this research proposes a device capable of identifying audible warnings such as horns and sirens, and vibrate alerting the user. Covering a discussion of development and legal framework related to deaf people, the text delves into the technical level by an approach towards acoustics, vibrations and electronics. Through the acquisition of experimental data and fast Fourier transform, an acoustic characterization of automotive horns is conducted. Similarly the natural frequencies of main cycling handlebars available commercially are fetched. From the data found a flow chart is proposed for the electronic design, as well, relevant changes to improve the project.

Key-words: Acoustics, Vibration, Deafness

Índice de figuras

Figura 1: Ilustração da ideia inicial.....	10
Figura 2: Requisitos do aparelho de alerta de sinais sonoros para pessoas com deficiência auditiva.....	11
Figura 3: Símbolo internacional de surdez.....	17
Figura 4: Tipos de ondas.....	20
Figura 5: Compressões e rarefações na propagação da onda.....	20
Figura 6: Oscilógrafo.....	21
Figura 7: Onda de vibração decomposta.....	22
Figura 8: Onda sonora formada por uma buzina automotiva.....	24
Figura 9: Espectro de frequências de uma buzina automotiva.....	25
Figura 10: Comportamento do efeito doppler: frequência percebida em relação a velocidades do ciclista e automóvel.....	28
Figura 11: Modelos de guidões estudados.....	30
Figura 12: Vista panorâmica da bancada do experimento.....	31
Figura 13: Detalhes da placa de aquisição, posição e fixação do acelerômetro.....	31
Figura 14: Panorama da aquisição realizada no modelo chifre de boi.....	32
Figura 15: Detalhe da onda formada pelo impacto no modelo chifre de boi.....	32
Figura 16: Espectro de frequências do guidão modelo chifre de boi.....	32
Figura 17: Panorama da aquisição realizada no modelo reto.....	33
Figura 18: Detalhe da onda formada pelo impacto no modelo reto.....	33
Figura 19: Espectro de frequências do guidão modelo reto.....	33
Figura 20: Panorama da aquisição realizada no modelo cross.....	34
Figura 21: Detalhe da onda formada pelo impacto no modelo cross.....	34
Figura 22: Espectro de frequências do guidão modelo cross.....	34
Figura 23: Panorama da aquisição realizada no modelo esportivo.....	35
Figura 24: Detalhe da onda formada pelo impacto no modelo esportivo.....	35
Figura 25: Espectro de frequências do guidão modelo esportivo.....	35
Figura 26: Espectros de frequências naturais de guidões ciclísticos.....	36
Figura 27: Montagem para a afinação experimental do sistema de vibração induzida.....	37
Figura 28: Detalhe do motor e da massa desbalanceada acoplada.....	37
Figura 29: Resposta do sistema de vibração induzida em função da tensão de alimentação.....	38
Figura 30: Fluxograma para o sistema identificador de buzinas automotivas.....	39
Figura 31: Principais filtros eletrônicos.....	42

LISTA DE QUADROS, GRÁFICOS E TABELAS

Quadro 1	Categorias e definições legais das deficiências	16
Gráficos 1	Proporção de pessoas com deficiência no Brasil	18
Gráfico 2	Proporção entre os tipos de deficiência	18
Tabela 1	Frequências naturais em uma buzina automotiva	25

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E ACRÔNIMOS

ONU	Organização das Nações Unidas
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Hz	Hertz
CC	Corrente Contínua
V	Volt
FFT	Transformada Rápida de Fourier
dB	Decibel

Sumário

INTRODUÇÃO.....	10
1.CONSIDERAÇÕES SOBRE DESENVOLVIMENTO E ACESSIBILIDADE.....	13
1.1 Por uma perspectiva abrangente de desenvolvimento.....	13
1.2 Definições jurídicas da deficiência.....	15
1.3 Pessoas com deficiência no Brasil em números.....	17
2. CAPÍTULO 2 – PROJETO ACÚSTICO.....	19
2.1 A natureza do som.....	19
2.2 Estudo de caso: Buzina automotiva.....	23
2.3 Efeito Doppler.....	26
3. CAPÍTULO 3 – PROJETO MECÂNICO.....	29
3.1 Análise de frequências em guidões ciclísticos.....	30
3.2 Ajuste do sistema de vibração induzida.....	36
4. CAPÍTULO 4 – PROJETO ELETRÔNICO.....	39
4.1 Microfones.....	40
4.2 Arduino.....	41
4.3 Filtros.....	41
4.4 PWM.....	42
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
REFERÊNCIAS.....	44

INTRODUÇÃO

A pesquisa executada partiu de uma ideia simples, ilustrada na figura 1: Acoplar um sistema de monitoramento e identificação de sinais sonoros a um guidão de bicicleta. O sinal sonoro a ser identificado, especificamente, são buzinas automotivas. A intenção é que ao identificar positivamente um sinal, o sistema atue em uma massa desbalanceada, provocando a vibração da barra. A funcionalidade do objeto é auxiliar ciclistas com deficiência auditiva no trânsito urbano.

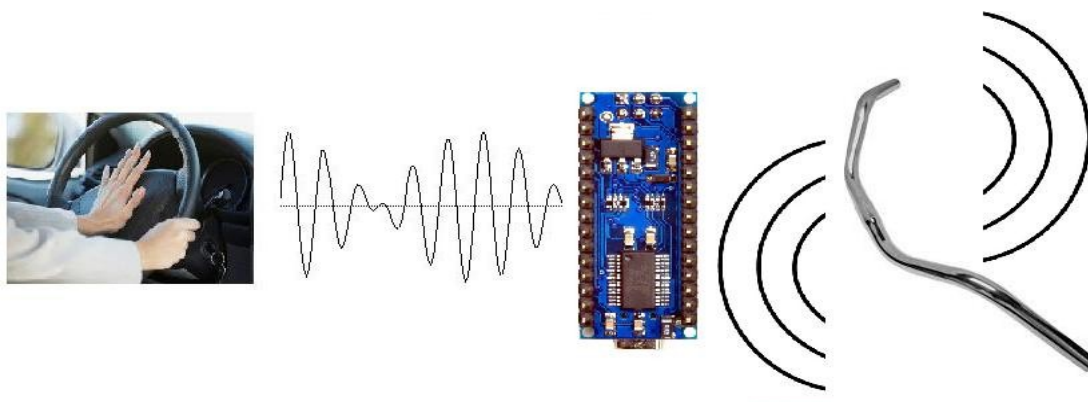


Figura 1: Ilustração da ideia inicial

De maneira sistemática, os objetivos dessa pesquisa podem ser definidos como:

Objetivo geral

- Projetar um aparelho capaz de emitir vibrações ao identificar determinados sinais sonoros

Objetivos específicos

- Investigar o comportamento do som e caracterizar buzinas automotivas
- Estudar as frequências naturais de guidões ciclísticos
- Explorar um sistema de vibração induzida

- Propor um sistema eletrônico capaz de identificar sinais sonoros

Com base na ideia inicial e nos objetivos estudados, podemos definir alguns requisitos de um aparelho ideal para os fins propostos. A figura 2 mostra esses requisitos por meio de conexões.

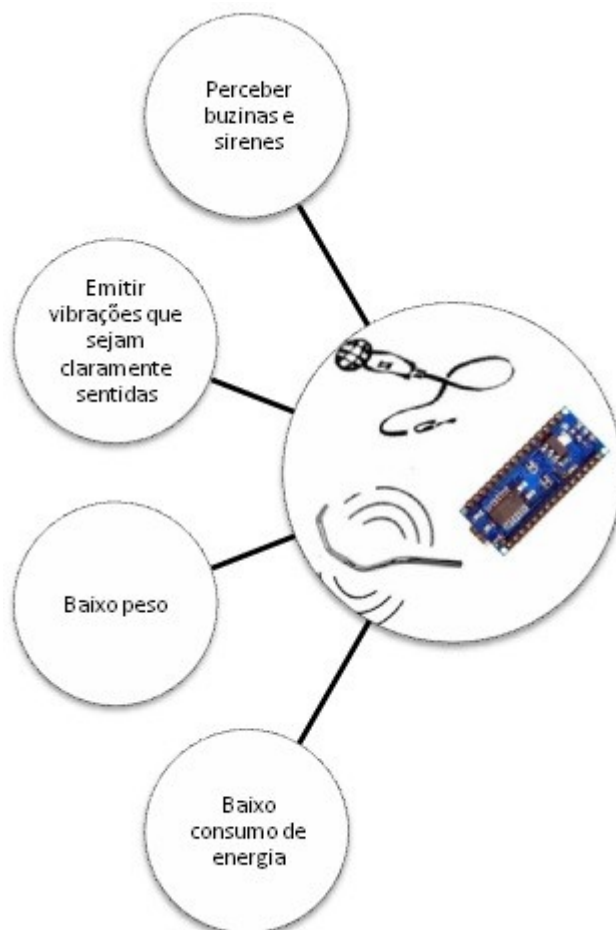


Figura 2: Requisitos do aparelho de alerta de sinais sonoros para pessoas com deficiência auditiva

Idealmente o aparelho realiza duas ações, a primeira é perceber algum sinal sonoro, especificamente, buzinas ou sirenes. Nesse instante, entra em cena a segunda ação, onde um sistema de vibração é acionado fazendo com que o usuário do equipamento seja alertado. Imaginando o sistema todo como uma unidade móvel, somos induzidos conceitualmente a um objeto portátil, sendo portanto, o baixo peso um fator importante. Se por um lado, é interessante que se tenha o menor peso possível, por outro, o intervalo de uso sem recarga também se faz pertinente. Esse fato é vinculado a capacidade de carga na bateria, e essencialmente, ao baixo consumo de energia.

A busca pelo atendimento de todos os requisitos abrange áreas da ciência acústica, eletrônica e mecânica, desdobrando o presente trabalho em quatro capítulos, sendo três capítulos de natureza técnica e um de natureza filosófica-conceitual.

O 1º capítulo aborda o conceito de desenvolvimento e como esse deve levar em consideração a desigualdade das pessoas. Nesse mesmo capítulo são abordados o arcabouço jurídico em favor de pessoas portadoras de deficiência e a quantidade de brasileiros nessa condição.

O 2º capítulo traz uma breve revisão sobre o comportamento do som, que fornece embasamento para nosso primeiro estudo: as frequências emitidas por uma buzina automotiva. Como na aplicação idealizada para o aparelho, tanto o emissor do sinal como o receptor estão em movimento, é necessário que seja calculado as consequências do efeito doppler sobre a buzina.

Um conceito de partida desta pesquisa, é a pluralidade de uso, ou seja, o equipamento é facilmente adaptado a qualquer bicicleta comercial. Nesse sentido, guidões ciclísticos disponíveis comercialmente no Brasil são estudados no capítulo 3. Ainda nesse capítulo, a partir das frequências naturais nos guidões, prossegue-se a montagem de um sistema de vibração induzida e sua afinação.

No âmbito da metodologia, o 1º capítulo traz uma revisão bibliográfica, e em momento posterior uma pesquisa documental sobre as leis pertinentes às pessoas com deficiência. O 2º capítulo além da revisão bibliográfica, faz uso de equipamento de aquisição de dados, microfones e da transformada rápida de Fourier para caracterizar as buzinas automotivas. O 3º capítulo traz a análise modal pelo método do impacto de martelo para aquisição dos dados necessários para caracterizar o espectro dos guidões.

Por fim algumas considerações finais são elaboradas, indicando melhorias na concepção do projeto e pesquisas futuras.

1. CONSIDERAÇÕES SOBRE DESENVOLVIMENTO E ACESSIBILIDADE

Essa pesquisa parte da premissa de auxiliar pessoas com restrições em termos de acessibilidade, dessa forma, conceitos sociais importantes são definidos nesse capítulo.

Nessa breve discussão sobre temas complexos inerentes a ciências humanas, são abordados temas referentes às teorias sociais que sustentam essa pesquisa. A discussão gira em torno de temas como desenvolvimento, acessibilidade e autonomia.

1.1 Por uma perspectiva abrangente de desenvolvimento

No ramo das ciências sociais, existe um rico debate sobre as concepções de desenvolvimento, diversos cientistas e economistas se dedicam a atribuir novos sentidos para o desenvolvimento (MALUF, 2000). Várias concepções foram elaboradas na tentativa de vencer vícios que persistem desde a década de 50:

As discussões sobre desenvolvimento têm se apresentado como extremamente viciadas: Vícios como *economicismo*, *etnocentrismo*, *teleologismo* (etapismo, historicismo), *conservadorismo* têm flagelado, em combinações e com pesos variáveis, quase toda literatura teórica sobre o tema, que despontou após a Segunda Guerra Mundial. (SOUZA, 2003, p.60).

Entre as diversas concepções, uma de especial interesse, pela sua abrangência, é a de desenvolvimento sócio-espacial proposta por Souza (1996). O interessante nessa perspectiva é que o desenvolvimento não é visto como crescimento econômico ou enriquecimento, mas é entendido como uma mudança social positiva.

Essa mudança para melhor é conduzida, resumidamente, por uma melhoria da qualidade de vida e aumento da justiça social. Souza (2002) define qualidade de vida como a satisfação das necessidades de uma parcela cada vez maior da população. Quanto à justiça social, essa é vista como uma discussão complexa em função da multiplicidade de possibilidades de entendimento dessa ideia. Entretanto ele exemplifica dizendo que os “indivíduos devem ter o seu acesso a equipamentos culturais urbanos garantidos não só por lei, mas também materialmente (condições efetivas de acesso),

independente da sua etnia e de sua condição de portadores ou não de deficiência física.” (SOUZA, 2002, p.62).

Obrigatoriamente, justiça social requer igualdade, conceito este, explorado por Sen (2010), que em sua leitura pede que a igualdade não seja estritamente econômica, mas que leve em consideração a liberdade¹ dos indivíduos.

A principal contribuição de Sen (op. cit.) é a retaliação do tratamento padrão simplificador e homogeneizador que todos os indivíduos têm as mesmas necessidades. Essa crítica reaparece de forma mais abrangente no conceito de autonomia do filósofo grego Cornelius Castoriadis.

A palavra autonomia vem do grego “dar a si próprio a sua própria lei”. Castoriadis (1982) utiliza esse conceito em sua bibliografia. Em linhas gerais, ele divide autonomia em dois sentidos inter-relacionados: autonomia coletiva, que depreende garantias político-institucionais assim como uma possibilidade material efetiva, e autonomia individual, tida como a capacidade dos indivíduos particulares realizarem escolhas em liberdade, com responsabilidade e conhecimento de causa.

Essa visão é mais política que tecnológica, entretanto no âmbito desse trabalho de engenharia ela pode ser assimilada, e direcionar a uma forma de pensar que contribua com a sociedade indo além das esferas econômica, política e tecnológica.

A literatura contemplada nesse texto deixa claro que a autonomia é fundamental para o desenvolvimento, mas junto a essa questão está o caso de pessoas com algum tipo de deficiência. Nesse caso, para que haja igualdade deve haver um tratamento desigual, de forma a nivelar a capacidade das pessoas deficientes buscarem o que desejam, de forma autônoma.

Embora adotemos uma visão de desenvolvimento que privilegie a autonomia, este ainda é um conceito teórico, que difere da realidade contemporânea. Cabe nesse ponto, portanto, também explorar o arcabouço jurídico que existe em defesa das pessoas com deficiência, uma vez que esse rege a ação do estado para essas pessoas.

1 Um exemplo pertinente: a superação de obstáculos através corrimões e banheiros especiais pode ser vista como um ganho de liberdade para pessoas com mobilidade restrita.

1.2 Definições jurídicas da deficiência

No Brasil A Lei nº10.690 de 16 de junho de 2003, considera Pessoa Portadora de Deficiência Física:

§1º[...] aquela que apresenta alteração completa ou parcial de um ou mais segmentos do corpo humano, acarretando o comprometimento da função física, apresentando-se sob a forma de paraplegia, paraparesia, monoplegia, monoparesia, tetraplegia, tetraparesia, triplegia, triparesia, hemiplegia, hemiparesia, amputação ou ausência de membro, paralisia cerebral, membros com deformidade congênita ou adquirida, exceto as deformidades estéticas e as que não produzam dificuldades para o desempenho de funções. (BRASIL, 2003, § 1º)

A Declaração dos Direitos das Pessoas Deficientes, aprovada pela Assembléia Geral da Organização das Nações Unidas em 09 de dezembro de 1975, estabelece que:

1º – O termo “pessoas deficientes” refere-se a qualquer pessoa incapaz de assegurar, por si mesma, total ou parcialmente, as necessidades de uma vida individual ou social normal, em decorrência de uma deficiência, congênita ou não, em suas capacidades físicas ou mentais. (ONU, 1975, ITEM 1º)

O Decreto nº 3.298, de 20 de dezembro de 1999, que regulamenta a Lei 7.853, de 24 de outubro de 1989, e dispõe sobre a Política Nacional para a Integração da Pessoa Portadora de Deficiência, aponta que:

I - Deficiência é toda perda ou anormalidade de uma estrutura ou função psicológica, fisiológica ou anatômica que gere incapacidade para o desempenho de atividade, dentro do padrão considerado normal para o ser humano. (BRASIL, 1999, Art. 3º).

Para a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, deficiência está definida na NBR 9050:2004 – Acessibilidade a edificações, mobiliários, espaços e equipamentos urbanos como sendo a:

Redução, limitação ou inexistência das condições de percepção das características do ambiente ou de mobilidade e utilização das edificações, espaço, mobiliário, equipamento urbano e elementos em caráter temporário ou permanente. (ABNT, 2004, p.3).

De maneira mais específica, as deficiências são categorizadas e definidas por ARNS (2005) no decreto nº 5.296 de 2 de dezembro de 2004, que regulamenta as Leis nº 10.048 de 8 de novembro de 2000 e 10.098 de 19 de dezembro de 2000, no seu capítulo II, Art. 5º, § 1º. Batista (2008) elabora um quadro que sintetiza bem as informações contidas no documento. O quadro é reproduzido abaixo.

Categoria	Definição
Deficiência física	Alteração completa ou parcial de um ou mais segmentos do corpo humano, acarretando o comprometimento da função física, apresentando-se sob a forma de paraplegia, paraparesia, monoplegia, monoparesia, tetraplegia, tetraparesia, triplegia, triparesia, hemiplegia, hemiparesia, ostomia, amputação ou ausência de membro, paralisia cerebral, nanismo, membros com deformidade congênita ou adquirida, exceto as deformidades estéticas e as que não produzam dificuldades para o desempenho de funções;
Deficiência auditiva	Perda bilateral, parcial ou total, de quarenta e um decibéis (dB) ou mais, aferida por audiograma nas frequências de 500Hz, 1.000Hz e 3.000Hz;
Deficiência Visual	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 60º; ou a ocorrência simultânea de quaisquer das condições anteriores;
Deficiência Mental	Funcionamento intelectual significativamente inferior à média, com manifestação antes dos dezoito anos e limitações associadas a duas ou mais áreas de habilidades adaptativas, tais como: 1. comunicação; 2. cuidado pessoal; 3. habilidades sociais; 4. utilização dos recursos da comunidade; 5. saúde e segurança; 6. habilidades acadêmicas; 7. lazer; e 8. trabalho;
Deficiência Múltipla	Associação de duas ou mais deficiências

Quadro 1 – Categorias e definições legais das deficiências

Fonte: Batista (2008)

Com relação especificamente a pessoas com deficiência auditiva e a direção de veículos automotores, a legislação amparada pela lei nº 8.160 de 8 de janeiro de 1991, permite a condução somente nas categorias “A” e “B” e com o símbolo internacional da surdez (figura 3) colocado de forma visível no veículo. (BRASIL, 1991).



*Figura 3: Símbolo internacional de surdez
Fonte: BRASIL (1991)*

Cabe ressaltar que o arcabouço jurídico destacado ao longo deste tópico cobre um número expressivo de pessoas. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010), quase $\frac{1}{4}$ da população brasileira apresenta ao menos algum tipo de deficiência. O número oficial é que 45.606.048 de brasileiros (23,9% da população) possuem alguma deficiência.

1.3 Pessoas com deficiência no Brasil em números

O gráfico 1, mostrado ao lado, ilustra a quantidade de brasileiros que apresentam deficiência em, pelo menos, uma modalidade. O gráfico torna de fácil percepção a importância das pessoas com deficiência. Como pode-se observar, se dividirmos o círculo em 4 partes, 1 parte aproximadamente é de pessoas deficientes.



Gráfico 1 - Proporção de pessoas com deficiência no Brasil
Fonte: Brasil (2012)

O gráfico 2 mostra a distribuição quantitativa entre as categorias de deficiência. O gráfico subdivide os deficientes brasileiros por tipos de deficiência. Cabe lembrar que a soma desses valores chegam a 32,1% por estarem sendo contabilizados separadamente os casos de deficiência múltipla. Pode se observar que 18,6% da população sofrem de deficiência visual, 7% tem dificuldades motoras e 1,4% tem alguma deficiência mental. Os deficientes auditivos, publico alvo a ser beneficiado com esta pesquisa, contabilizam aproximadamente 10 milhões de pessoas ou 5,1% da população brasileira.

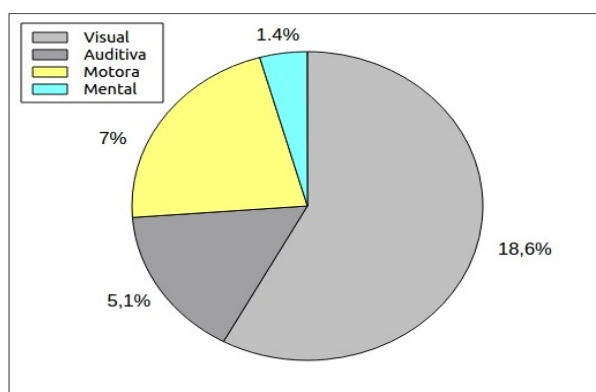


Gráfico 2 - Proporção entre os tipos de deficiência
Fonte: Brasil (2012)

2. CAPÍTULO 2 - PROJETO ACÚSTICO

Farnell (2010) divide o estudo do som em 3 pilares fundamentais: físico, matemático e psicológico.

O pilar físico envolve as trocas de energia, mecânica dos materiais, dinâmica e temas como osciladores e acústica. O pilar matemático está vinculado as equações e fórmulas utilizadas a fim de fornecer informações sobre o comportamento do som no espaço. Todo o aparato matemático utilizado para modelar o comportamento do som está englobado por este ramo. O pilar psicológico lida com o som como um sentido, uma experiência humana, emotiva e cultural.

Visto que os nossos objetivos são projetar uma máquina capaz de identificar sons, o lado psicológico, tema da psicologia cognitiva, fica fora do nosso escopo. Toda atenção recai sobre a física e a matemática envolvida.

O entendimento da física do som é visto como central, assim como, fundamental para esta pesquisa. A matemática não é abordada de maneira direta, mas como uma ferramenta, aparecendo apenas quando houver necessidade.

Nesse capítulo, um vislumbre sobre o som e seu comportamento (1º tópico), serve de base para caracterizar os sons emitidos por buzinas automotivas(2º tópico). Por fim, a influência do movimento dos corpos sobre as ondas sonoras é tratada no terceiro e último tópico.

2.1 A natureza do som

De maneira sucinta e abrangente, o som pode ser considerado como distúrbios acústicos que se propagam na forma de onda. Para Fahy (2000) a onda pode ser definida como um processo em que um distúrbio do equilíbrio é transportado pelo meio, sem transportar massa. Autores menos rigorosos do ponto de vista científico, como Valle (2009), comparam esse efeito ao movimento de uma lagoa, sobre a qual jaz uma folha, ao ser atingida por uma pedra.

Ondas usualmente envolvem mudanças dependente do tempo. No caso do som, as grandezas associadas ao tempo são pressão, temperatura e posição das partículas fluidas. Existem basicamente três tipos de ondas: longitudinal, transversal e torcional. O som é enquadrado como uma onda longitudinal.

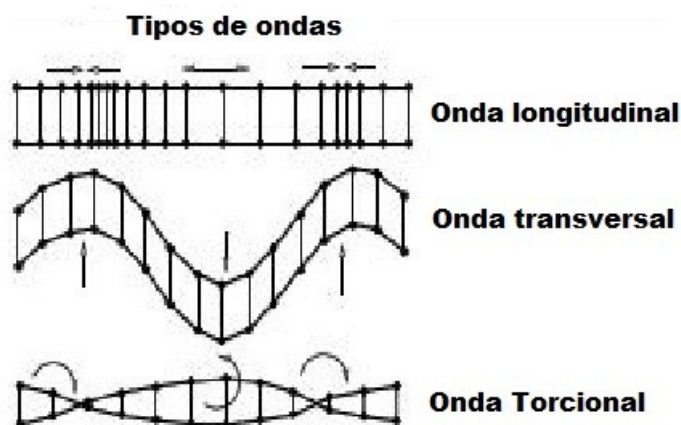


Figura 4: Tipos de ondas
Fonte: Farnell (2010)

O fato da onda ser longitudinal recai sobre a elasticidade exibida pelos fluidos, onde a alteração do volume ocupado por uma massa produz uma pressão proporcional a essa mudança. Um exemplo prático dessa propriedade pode ser observado ao bloquear o bico de uma bomba de ar (ou seringa) com a mão. Ao comprimir o fluido pode-se sentir a pressão no dedo, e ao aliviar a compressão, o êmbolo retorna quase a posição original.

Conforme Fahy (2007), o mecanismo da propagação do som envolve uma ação recíproca entre as pressões geradas pela reação elástica e deformação volumétrica, que alteram o movimento das partículas do fluido, e a inércia do fluido que resiste a essas alterações. O som é, portanto, por uma série de compressões e rarefações, representado por ondas longitudinais como já mencionado anteriormente.

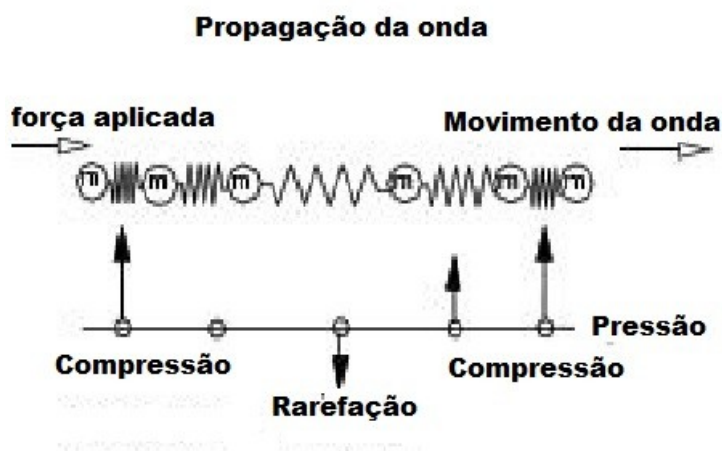


Figura 5: Compressões e rarefações na propagação da onda
Fonte: Farnell (2010)

As mudanças na densidade do ar que ocorrem em virtude do som geralmente não podem ser vistas a olho nu, entretanto existem técnicas para que essas sejam vistas. Uma delas é a fotografia schlieren, que consiste num arranjo especial de espelhos e barreiras para a luz. Outra forma mais comum é o uso de aparelhos eletrônicos para converter a onda em sinal elétrico e demonstrá-lo numa tela, caso do osciloscópio. Existe ainda uma forma mecânica e ilustrativa, o oscilógrafo. O filme educativo de 1933 intitulado “Sound Waves and their Sources”² mostra esse dispositivo. A figura 6, ilustra o trecho do filme em que as ondas são grafadas. As compressões e rarefações são representadas à esquerda, atingindo a membrana sobre a qual está montado um mecanismo. O braço do aparelho é pivotado de tal forma que o movimento da membrana o empurra, fazendo com que a ponta grafe a onda sobre um papel bobinado.

O mecanismo apresentado na figura 6 é interessante por expor a forma como o som pode ser representado por uma função cíclica. Considerando a natureza periódica do som, é intuitivo associá-lo a no mínimo dois parâmetros: amplitude e frequência. Existe ainda um outro parâmetro, menos intuitivo, mas muito importante, o timbre.

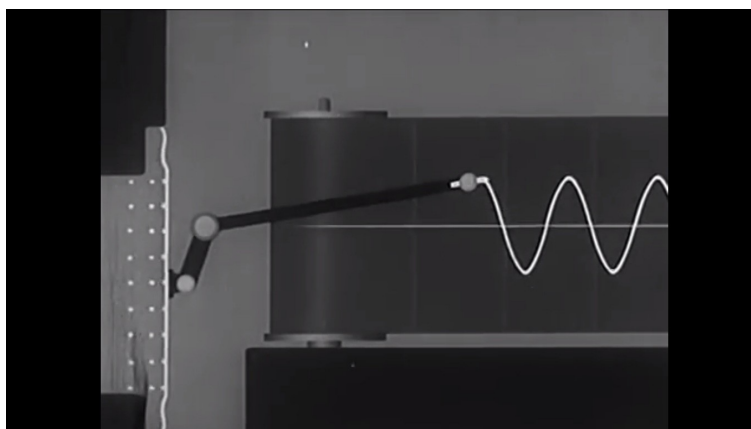


Figura 6: Oscilógrafo
Fonte: Sound Wave and their sources (1933)

Na linguagem da acústica, a amplitude é percebida como a intensidade do som, ou pressão sonora. O ouvido humano responde a uma larga faixa de intensidade acústica, que vai da sensação de audição até a sensação de dor. O limiar da sensação de dor é 10^{12} vezes a intensidade do limiar da sensação de audição (GERGES, 2003). Essa grande diferença de proporção faz com que a intensidade sonora seja medida em uma escala logarítmica, expressa por decibel (dB).

² Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=cK2-6cgqgYA>>, Acesso 23/05/2014

A taxa de ocorrência de uma ciclo completo é conhecida como frequência, dada em ciclos por segundo, é denominada Hertz (Hz). Na acústica a frequência está associada com a tonalidade do som, permitindo classificá-lo como grave, médio ou agudo.

As vibrações na maioria dos casos práticos apresentam uma forma de onda complexa. Entretanto é possível decompor essa onda arbitraria em componentes senoidais utilizando a análise de Fourier (GATTI & FERRARI, 1999). Nesse conceito um corpo pode apresentar n modos de vibrar, que são múltiplos de sua frequência natural. A figura 7 usa uma corda para exemplificar. Nessa imagem aparecem as 3 primeiras componentes, ou modos de vibrar, de uma corda presa nas extremidades. A primeira componente da vibração é chamada de fundamental. Na faixa de frequência audível³, 16-16000Hz (CREMER, 1973), comum a acústica e a música, as componentes da vibração são usualmente chamadas de harmônicas. Ainda na figura 7 podemos observar no seu lado inferior a somatória das componentes, formando uma onda composta. Na acústica, essa forma como as frequências se organizam é conhecido como timbre, que distingue, por exemplo, o som de um violão e um piano, mesmo que ambos estejam tocando a mesma frequência.

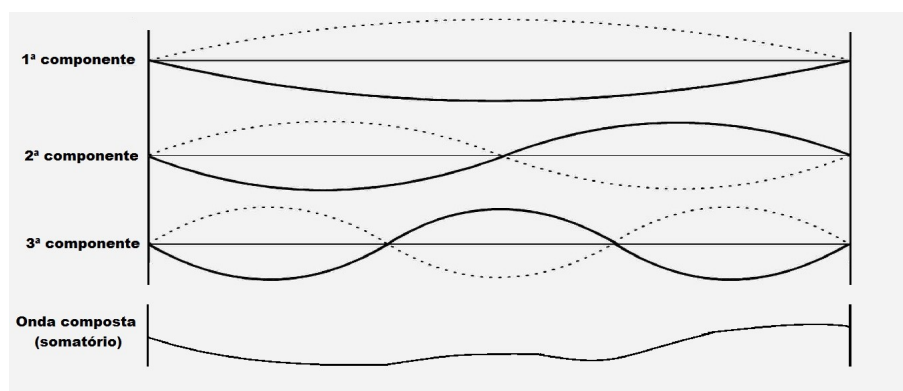


Figura 7: Onda de vibração decomposta

Vários fenômenos conhecidos na teoria geral da ondulatória, como refração, difração, reflexão, ressonância, interferência e dispersão também ocorrem com as ondas sonoras. Entre esses fenômenos, em níveis experimentados na vida cotidiana, está o princípio da superposição linear, onde as ondas vindas de direções diferentes se cruzam sem se modificar. Isso tem interesse especial para esta pesquisa, pois ele irá garantir que uma buzina possa ser identificada, mesmo entre os diversos sons presentes no trânsito urbano.

³ Faixa de frequência audível para humanos.

Para que uma buzina possa ser identificada por um circuito eletrônico, precisamos conhecer suas características, principalmente sua frequência. Esse assunto compõe o próximo tópico.

2.2 Estudo de caso: Buzina automotiva

Existem vários modelos matemáticos capazes de representar as ondas sonoras. As soluções analíticas geralmente envolvem considerações simplificadoras, como tratar o som como escoamento invíscido, linearizando o problema. Teorias não lineares para condições de temperatura variável e escoamento de alta velocidade, como o caso de escapamentos automotivos ou próximo a explosões, foram elaboradas para alguns casos. O texto mais ambicioso nesse contexto matemático é “Theoretical Foundations of Nonlinear Acoustics” (RODENKO & SOLUYAN, 1977).

Para nossos fins, caracterizar uma buzina automotiva, escolhemos um caminho mais direto e específico, o experimental. Existem vários modelos comerciais de buzina automotivas, mas para esta pesquisa é escolhido um modelo específico, do fabricante VTO, para operacionalizar a pesquisa.

A caracterização da buzina foi realizada posicionando o objeto a 1 metro (m) de um microfone convencional. A buzina foi alimentada com 12,0 Volts (V) por uma fonte de corrente contínua (CC). Nessas condições a frequência especificada pelo fabricante é 490Hz.

A aquisição foi realizada utilizando o software LabView®, a uma taxa de amostragem de 40Khz. O tratamento dos dados foi implementado com o software livre SciDavis.

A figura 8 apresenta o formato de onda advindo de uma buzina de automóveis. O tempo total de aquisição foi de 4 segundos, sendo que a buzina foi acionada por aproximadamente 2,5 segundos.

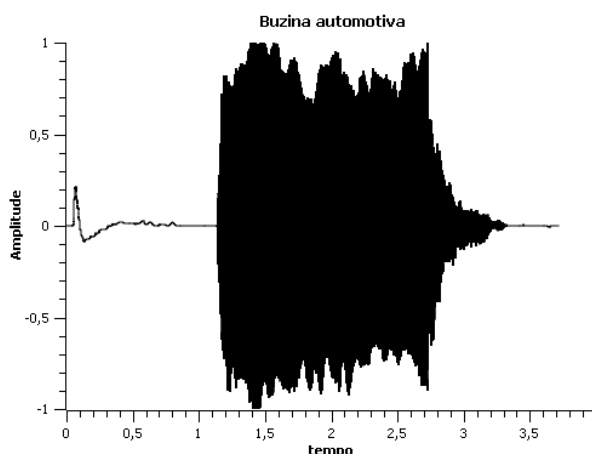


Figura 8: Onda sonora formada por uma buzina automotiva

Os dados representados graficamente pela figura 6 foram utilizados para converter a onda no domínio do tempo, para um espectro no domínio da frequência por meio da transformada rápida de Fourier. Como já discutido anteriormente, o método proposto pelo Matemático Jean Baptiste Fourier consiste em encontrar as componentes senoidais que, somadas, formam uma onda arbitrária.

A análise Fourier pode ser utilizada para converter sinais no domínio do tempo para o domínio da frequência por meio da técnica analítica conhecida como transformada de Fourier.

Usualmente a transformada de Fourier é operacionalizada por meio de algoritmos computacionais, denominados transformada rápida de Fourier e geralmente atribuído o acrônimo FFT, da língua inglesa *fast Fourier transform*. A vantagem em utilizar a FFT, mesmo motivo de sua grande aceitação, é o reduzido tempo de processamento. De acordo com Cooley (1992) por meio da FFT, um programa computacional iterativo, é possível reduzir o número de operações de N^2 para $N \cdot \log(N)$, sendo N o número de termos em uma série de Fourier. A figura 9 mostra o resultado da FFT aplicado sobre o sinal emitido por uma buzina automotiva.

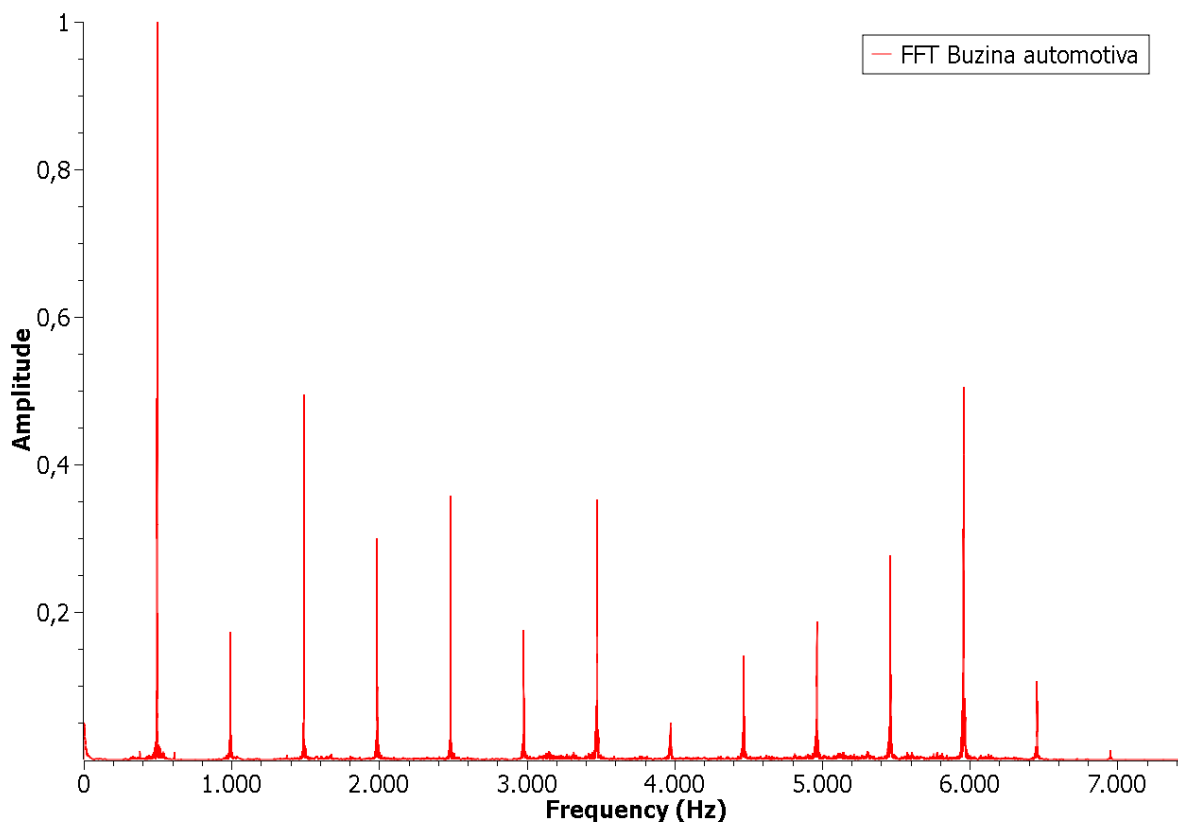


Figura 9: Espectro de frequências de uma buzina automotiva

O espectro de frequências referente a buzina automotiva é composto por 14 componentes. A fundamental se apresenta com frequência de 496,5Hz. A diferença entre o medido e a especificação do fabricante é 1,33% ou 6,5Hz. Os modos de vibrar se mostram de acordo com a teoria, em múltiplos da fundamental. Abaixo são tabelados os valores encontrados.

TABELA 1 – Frequências naturais em uma buzina automotiva

(continua)

Componente de frequência (f_n)	Valor medido (Hz)
1 ^a	496,5
2 ^a	993
3 ^a	1490
4 ^a	1987
5 ^a	2483
6 ^a	2980

TABELA 1 – Frequências naturais em uma buzina automotiva

Componente de frequência (f_n)	Valor medido (Hz)
7 ^a	3476
8 ^a	3973
9 ^a	4469
10 ^a	4966
11 ^a	5462
12 ^a	5958
13 ^a	6455
14 ^a	6953

Levando em consideração que para a aplicação prevista, tanto o emissor como o receptor podem estar em movimento, conhecer a frequência da buzina no estado estacionário não é o suficiente. O movimento entre os corpos gera mudanças nas frequências percebidas em relação a emitida, fenômeno conhecido como efeito doppler, estudado mais a fundo no próximo tema.

2.3 Efeito Doppler

O efeito doppler é uma mudança aparente na frequência de uma onda devido à velocidade relativa entre o observador e a fonte da onda (SCHETZEN, 2006). De acordo com Chen (2011), o movimento da fonte faz com que as ondas a frente da fonte sejam comprimidas e as ondas atrás da fonte sejam esticadas.

Pode-se considerar que o efeito doppler é uma interação entre as velocidades da fonte, do observador, e da propagação pelo meio fluido sobre as ondas emitidas. Essa relação é expressa matematicamente pela equação 1 (CHEN, op. cit., p.3).

$$f' = \frac{c_{som} \pm V_{receptor}}{c_{som} \mp V_{emissor}} \cdot f \quad (1)$$

Onde,

f' = frequência percebida

c_{som} = velocidade do som no meio material

$V_{receptor}$ = velocidade que o receptor do sinal se move pelo meio material

$V_{emissor}$ = velocidade que o emissor do sinal se move pelo meio material

f = frequência emitida

Para o caso em que a fonte e o receptor se movem de encontro um ao outro o conjunto superior de sinais é usado. Para o caso em que o emissor e o receptor se distanciam um do outro, o conjunto inferior de sinais é aplicado.

A equação 1 pode ser usada para prever as frequências percebidas frente a condições diversas de movimento, tanto da fonte, como do receptor. Na presente aplicação considera-se como constantes a frequência emitida, 496,5Hz, e a velocidade do som 343 m/s (a 20°C, nível do mar) (CRAMER, 1993). As variáveis, velocidade do receptor e do emissor, são estimadas. É fixado valores de máxima velocidade de deslocamento, tanto para o ciclista, como para o veículo emissor da buzina. Para o primeiro ator considera-se a velocidade de 40km/h (11,11m/s), para o segundo, o limite legal para veículos leves em autoestradas, 110km/h (30,55m/s).

Observa-se no gráfico tridimensional gerado pela equação 1 que os picos de frequência se encontram na extremidade do gráfico, ou seja, onde os valores são positivos ou negativos, indicando movimento de encontro e de afastamento respectivamente. O eixo X representa a velocidade da bicicleta em m/s, o eixo Y representa a velocidade do automóvel em m/s, o eixo Z representa a frequência percebida em Hz.

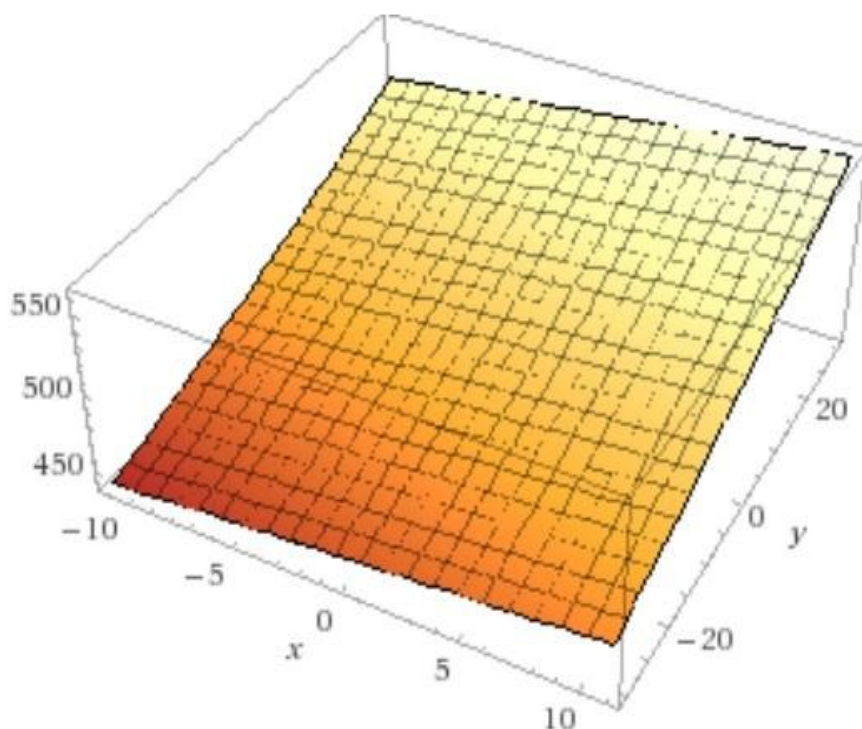


Figura 10: Comportamento do efeito doppler: frequência percebida em relação a velocidades do ciclista e automóvel

O resultado numérico dos pontos extremos para a componente de frequência fundamental são exibidos abaixo.

$$f'_{max} = 562.71$$

$$f'_{min} = 441.12$$

Esses resultados serão utilizados para modelagem do filtro responsável, no circuito eletrônico, por distinguir o som da buzina. Não obstante esse assunto é abordado no capítulo 4, pois, outro assunto tem que ser explorado para fomentar o projeto eletrônico: o sistema que ira induzir a vibração fazendo com que o usuário perceba o sinal. Esse sistema é o alvo do capítulo subsequente.

3. CAPÍTULO 3 - PROJETO MECÂNICO

Para o bom funcionamento do aparelho são necessários cumprir dois requisitos:

- I. O usuário deve sentir a vibração emitida pelo aparelho
- II. O consumo de energia deve ser o menor possível

O primeiro requisito é bastante direto, o ciclista deve sentir que o guidão está vibrando no momento que uma buzina soa próximo a ele. É essa ação que irá alertá-lo.

O segundo requisito faz parte do bom funcionamento do aparelho. Quanto menor a bateria, menos peso a ser carregado pelo ciclista. A estratégia escolhida para que o consumo de energia seja eficiente, recai sobre induzir a vibração emitida pelo corpo oscilante na frequência natural do guidão. Isso fará com que a vibração ocorra numa faixa em que sua amplitude aumente em função do tempo.

Esse fenômeno é conhecido como ressonância, caracterizado por um pico de amplitude em determinada frequência, que representa uma grande quantidade de energia (MOBLEY, 1999).

Para conseguir esse efeito são necessário duas ações: I. Conhecer a frequência natural de guidões ciclísticos; II. Sintonizar a massa desbalanceada nessa mesma frequência.

Esse capítulo que desdobra o projeto mecânico, se dedica a esmiuçar essas duas ações. No primeiro subitem é conduzido uma pesquisa sobre as frequências naturais encontradas nos principais guidões ciclísticos disponíveis comercialmente no Brasil. Com as frequências obtidas, prossegue a montagem do sistema de vibração induzida, utilizando uma massa desbalanceada. Um experimento para afinar o sistema na melhor faixa de frequência em função da tensão de alimentação é conduzido no segundo subitem do capítulo.

3.1 Análise de frequências em guidões ciclísticos

A análise de frequência dos guidões ciclísticos teve uma abordagem de caráter experimental. Os principais modelos comerciais disponíveis no Brasil foram analisados em testes de bancada. A imagem na sequência demonstra os modelos estudados, sendo quatro tipos no total: esportivo, *cross*, barra reta e chifre de boi.



*Figura 11: Modelos de guidões estudados
(da esquerda para direita) - esportivo, cross, reto, chifre de boi*

O método utilizado foi o teste por impacto. Esse teste consiste excitar o objeto com um impacto de um martelo para que as frequências emitidas pelo sistema possam ser adquiridas por meio de acelerômetros. De maneira matematicista, a martelada pode ser considerada como um impulso *Dirac* possuindo uma amplitude de força infinita por um tempo zero, mas com uma área finita, geralmente 1, sobre o impulso. Isso resulta em componentes harmônicas em todas as frequências possíveis e de amplitude teoricamente iguais (SMITH, 2003).

Os equipamentos utilizados para a aquisição dos dados foram: acelerômetro digital; placa de aquisição do fabricante National Instruments®; software comercial LabView®. A amostragem foi configurada para uma taxa 20KHz. Os testes foram realizados no laboratório de usinagem da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.



Figura 12: Vista panorâmica da bancada do experimento



Figura 13: Detalhes da placa de aquisição, posição e fixação do acelerômetro

Após aquisição os dados foram tratados utilizando a transformada rápida de Fourier. Para esta análise foi utilizado o software livre SciDavis.

A rotina do processo consistiu na seguinte sequência: fixar o guidão em uma morsa com ajuda de um fixador de madeira, de maneira a simular o acoplamento em uma bicicleta; golpear o guidão quinze vezes utilizando um martelo de borracha, cinco vezes em cima do suporte, cinco vezes no meio da barra, cinco vezes na extremidade da barra; salvar os dados adquiridos pelo LabView; exportar os dados para o SciDavis; Computar a FFT.

O primeiro caso a ser estudado é um modelo muito popular entre as bicicletas de uso recreativo, o guidão modelo holandês, conhecido no Brasil como chifre de boi.

Nas figuras abaixo são mostradas os dados obtidos na análise experimental. A figura a esquerda mostra o panorama dos golpes aplicados ao longo do tempo. Já a direita pode-se observar em detalhes a onda formada durante um golpe, com duração aproximada de dois décimos de segundo.

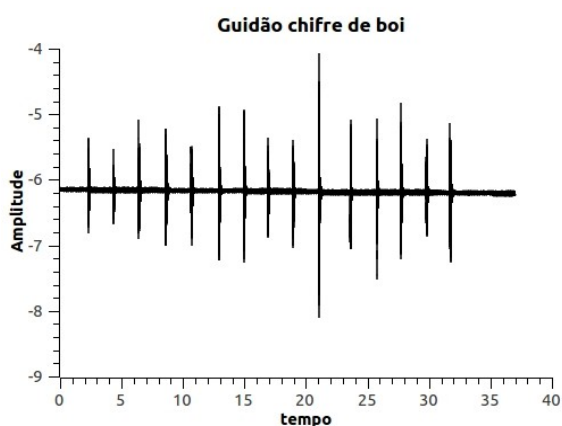


Figura 14: Panorama da aquisição realizada no modelo chifre de boi

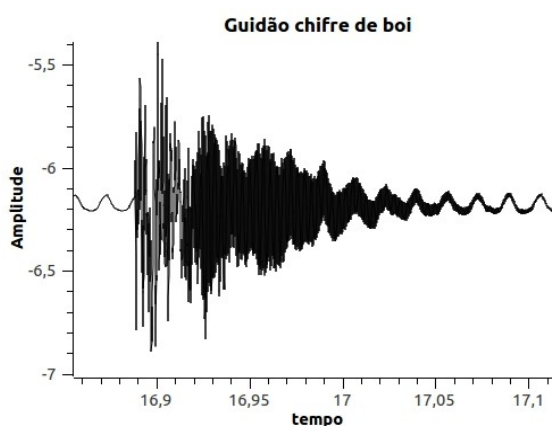


Figura 15: Detalhe da onda formada pelo impacto no modelo chifre de boi

A partir dos dados demonstrados nas figuras pode-se proceder com a transformada rápida de Fourier para obter as frequências emitidas pela barra. A FFT é demonstrada na figura demonstrada na figura 16.

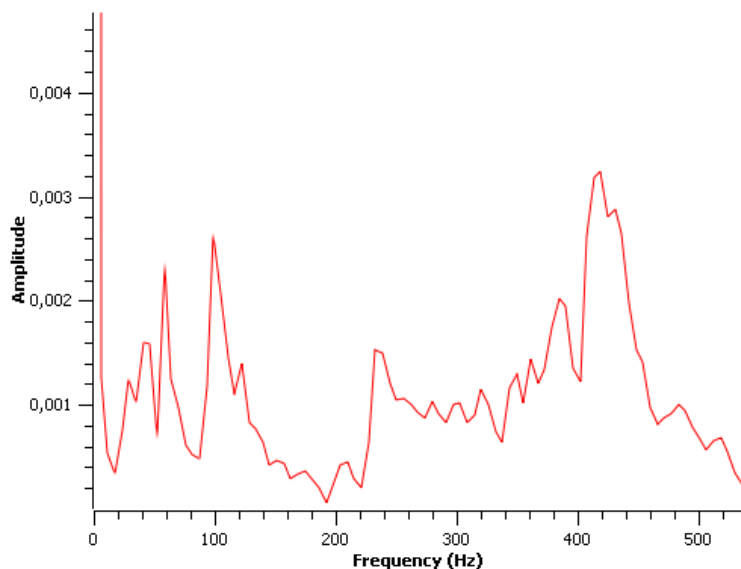


Figura 16: Espectro de frequências do guidão modelo chifre de boi

Como pode-se notar, nesse caso foram percebidas várias harmônicas ocorrendo no espectro de frequências. Geralmente é aceito na engenharia que na frequência fundamental é onde ocorre a vibração mais significativa. Numa assinatura de vibração normal, 60% a 70% da energia está contida na 1ª componente de frequência (KEITH, 1999). Para o caso do guidão chifre de boi o primeiro modo de vibrar ocorreu em 420 Hertz (Hz).

O segundo modelo testado tem a geometria mais simples entre todos testados. Justamente pela simplicidade e preço baixo, o guidão de barra reta é utilizado por um grande número de ciclistas. Para este modelo são apresentadas abaixo as figuras referentes ao total da aquisição realizada (figura 17) e o a onda formada em detalhes (figura 18).

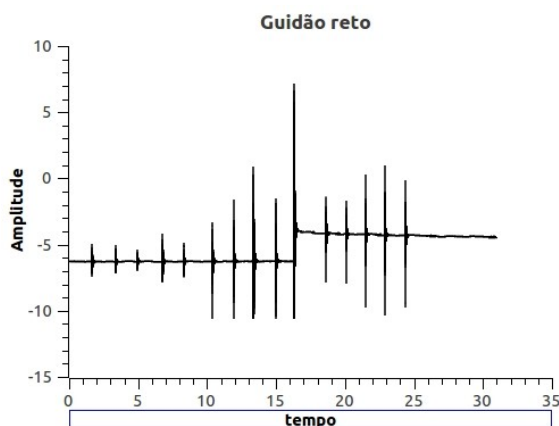


Figura 17: Panorama da aquisição realizada no modelo reto

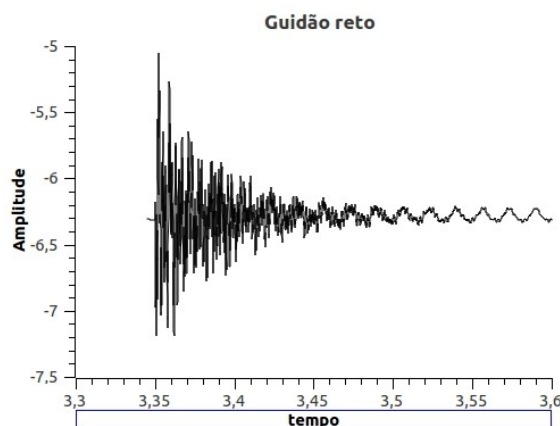


Figura 18: Detalhe da onda formada pelo impacto no modelo reto

Para o caso deste guidão (barra reta), o espectro de frequências obtido revela um pico bem definido em 360Hz. Dessa forma, o primeiro modo de vibrar desta barra se situa provavelmente nessa região.

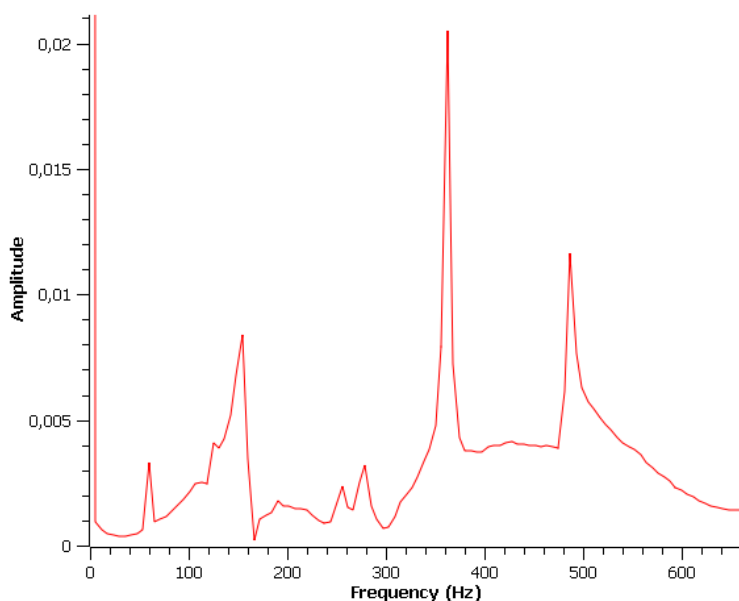


Figura 19: Espectro de frequências do guidão modelo reto

Existe um guidão utilizado geralmente em terrenos acidentados, onde buracos e obstáculos são constantes. O guidão denominado de modelo *cross*, também foi testado. Esse tipo de guidão, geralmente é feito em aço, em tem uma haste de reforço conectando as duas empunhaduras da barra. Entre os modelos testados é o mais robusto e pesado. Em virtude do peso e rigidez superior aos demais essa barra apresenta um comportamento peculiar. A figura a direita mostra o quadro geral das aquisições

realizadas e a figura a esquerda mostra a onda de vibrações formada com o impacto nessa barra.

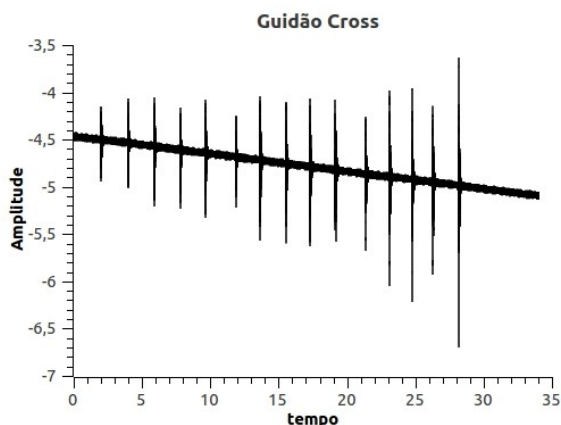


Figura 20: Panorama da aquisição realizada no modelo cross

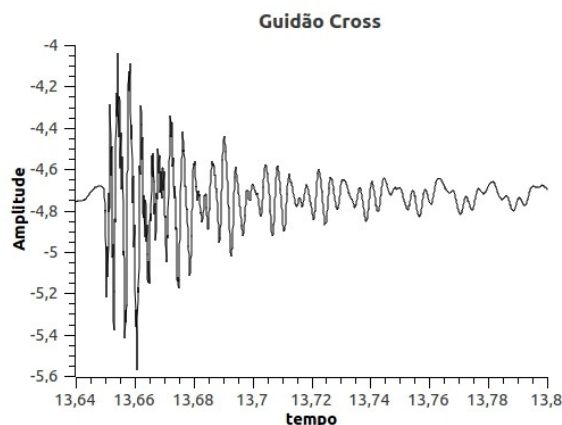


Figura 21: Detalhe da onda formada pelo impacto no modelo cross

Nessa barra as frequências naturais reveladas pela FFT estão no intervalo de 200Hz a 300Hz. Dois picos podem ser observados nessa faixa, sendo o de maior amplitude em aproximadamente 220Hz.

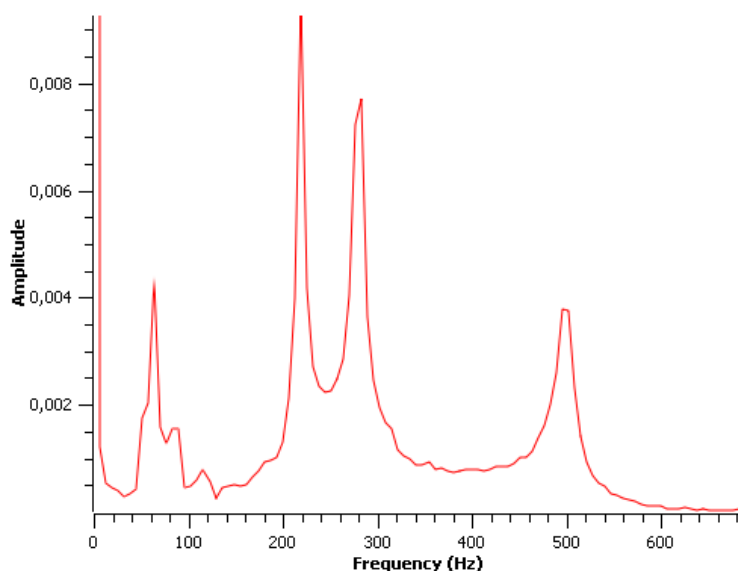


Figura 22: Espectro de frequências do guidão modelo cross

O último modelo testado nessa pesquisa, é de tipo esportivo. Esse guidão é geralmente utilizado em competições ou por ciclistas voltados ao atletismo. Além de especialmente leve, é curvado para baixo por motivos aerodinâmicos. A problemática do peso faz com que guidões desse modelo sejam geralmente fabricados de alumínio. A

figura 23 mostra um gráfico com os quinze impactos deferidos no guidão, já na figura 24 pode ser observado a onda formada com o impacto.

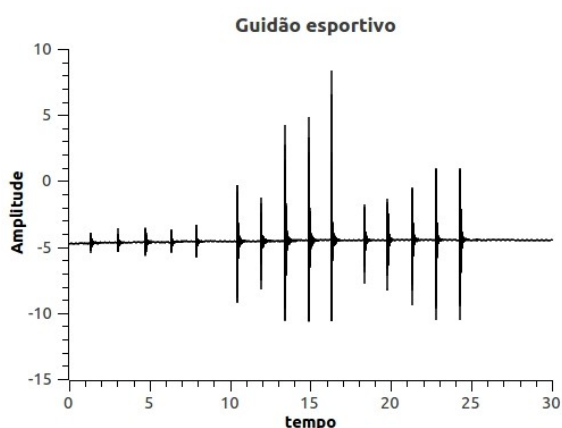


Figura 23: Panorama da aquisição realizada no modelo esportivo

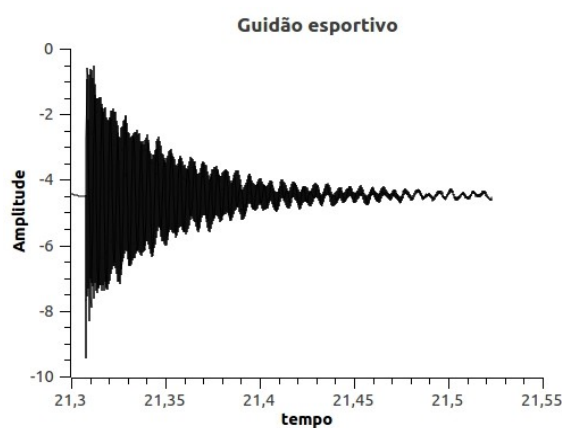


Figura 24: Detalhe da onda formada pelo impacto no modelo esportivo

Com material diferente o comportamento de vibrações deste guidão se mostra diferenciado dos outros testados, fabricados de aço. A figura 25 mostra a maior amplitude registrada, na frequência de 170Hz.

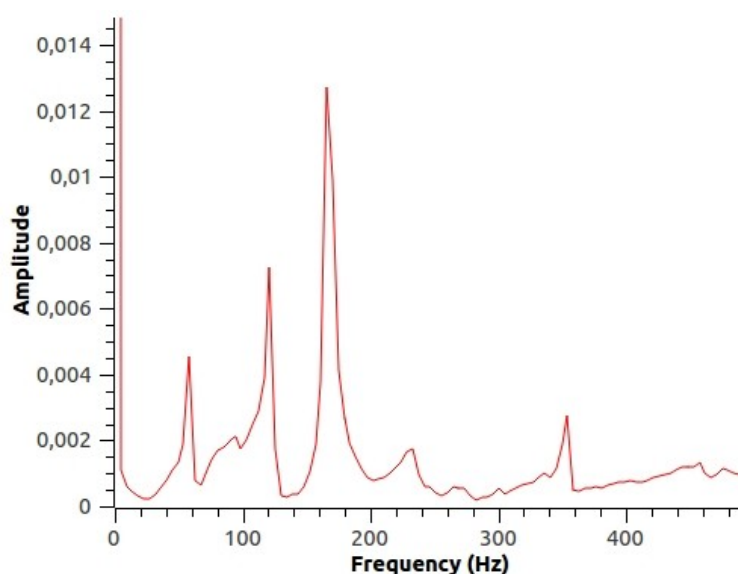


Figura 25: Espectro de frequências do guidão modelo esportivo

Agrupar os espectros obtidos com cada guidão em uma única imagem, é o objetivo da figura 26. Lembrando que para esta pesquisa a finalidade de encontrar as frequências naturais, é poder sintonizar a massa desbalanceada nessa mesma frequência, induzindo a ressonância, observa-se que infelizmente não existe uma única

frequência que possa ser sintonizada para todos os guidões (os picos em 60 Hz, são desconsiderados por serem interferência da rede elétrica). Apesar de todas as barras possuírem aproximadamente a mesma distância do suporte, as diferenças de rigidez advindas das diferentes geometrias e materiais geram comportamentos diferentes de vibração. Entretanto, levando em consideração que grande parte das bicicletas utilizam os modelos barra reta e chifre de boi, a faixa frequência entre 360-420Hz parece favorável para o trabalho da massa desbalanceada. Para o caso dos guidões de corrida e modelos *cross* a melhor faixa ocorre entre 180 e 220 Hz.

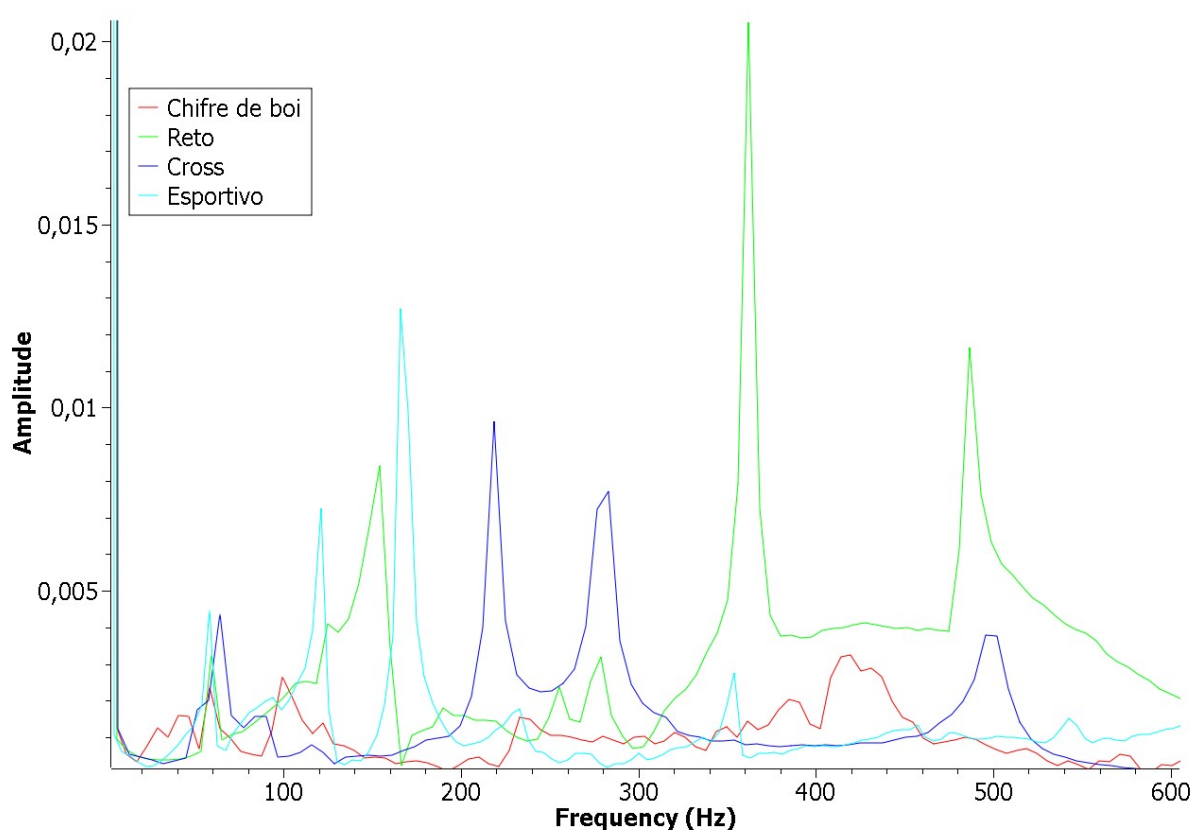


Figura 26: Espectros de frequências naturais de guidões ciclísticos

Com as frequências naturais de vibração dos guidões encontradas, resta acoplar um motor com massa desbalanceada, em uma frequência compatível. A incógnita se torna a tensão de alimentação do motor em que vibração possa ser melhor sentida pelo usuário do equipamento. Esse assunto é explorado a seguir.

3.2 Ajuste do sistema de vibração induzida

Uma massa com centro de gravidade excêntrico foi acoplada ao eixo de um pequeno motor elétrico com objetivo de conseguir um sistema de vibração que possa alertar o ciclista com deficiência auditiva.

Na frequência certa a oscilação terá maior amplitude, resultando numa melhor transmissibilidade. Para obter os melhores resultados possíveis, parâmetros podem ser variados para ajuste da massa na frequência de ressonância do guidão. Os parâmetros que podem ser alterados são a massa propriamente dita, a excentricidade e a velocidade de rotação do motor. Este último parâmetro está relacionado a tensão de alimentação do motor.

Para esta análise a tensão é escolhida como parâmetro variável, sendo a massa e a excentricidade mantidas constantes.

Como objeto de estudo é escolhido o guidão modelo barra reta. Foi utilizado uma morsa para acoplar a barra, e esta por sua vez, recebe o motor com massa desbalanceada em sua extremidade. Para controlar a tensão, o motor é acoplado a uma fonte que permite a variação da tensão fornecida. O acelerômetro, usado para aquisição de dados, é montado de forma contraposta ao motor de vibração. Essa montagem pode ser observada na figura 27. O motor e a massa desbalanceada são mostrados em detalhe na figura 28.



Figura 27: Montagem para a afinação experimental do sistema de vibração induzida



Figura 28: Detalhe do motor e da massa desbalanceada acoplada

Os demais equipamentos usados para esta análise são basicamente os mesmos utilizados anteriormente.

O método para este caso consistiu em variar a tensão de 0 Volt (V) até o limite do motor em 2.5V, em intervalos de 0.5V, realizando aquisições em cada intervalo. Durante a condução do experimento, pode-se observar um ganho de desempenho em 1.8V, por esse motivo uma aquisição não planejada foi feita nessa tensão. Os dados coletados no domínio do tempo foram convertidos para o domínio da frequência por meio da FFT. Após o tratamento matemático pertinente a relação entre amplitude e frequência obtida em cada aquisição é mostrado na figura abaixo, que abrange a faixa de 200-700Hz.

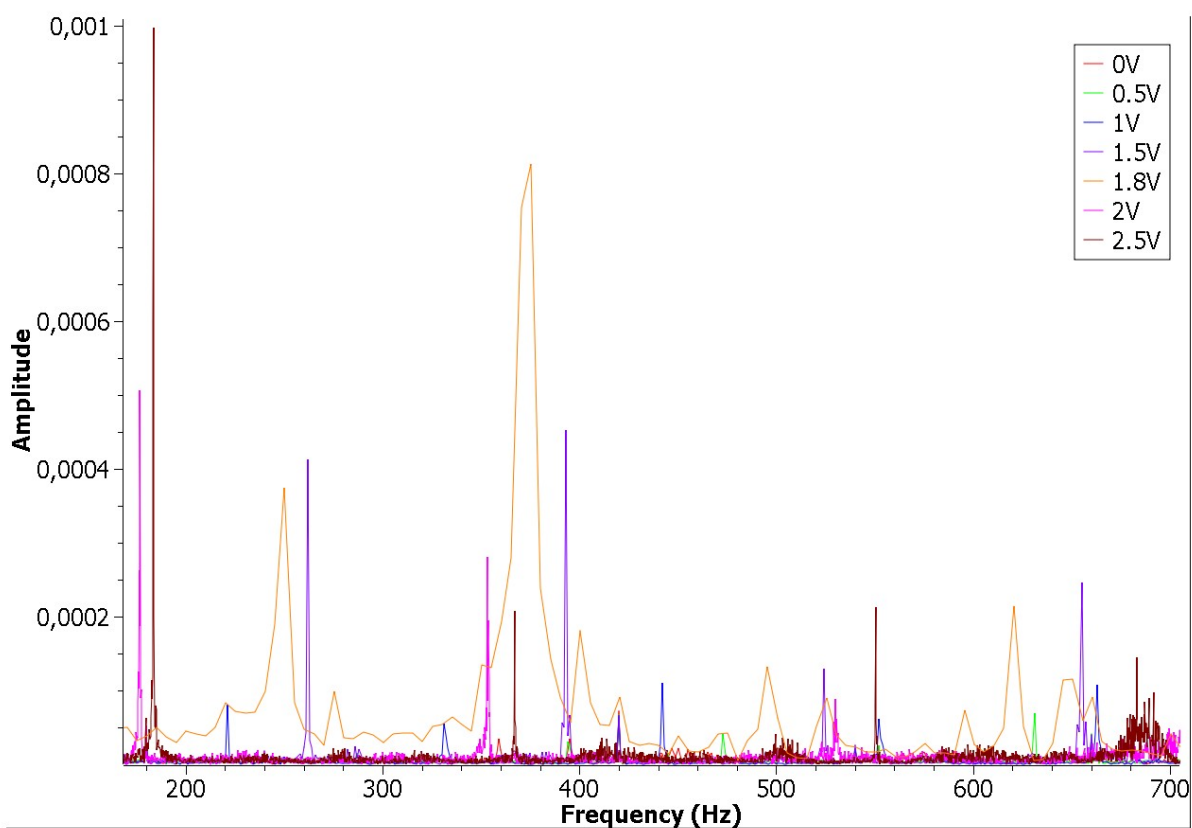


Figura 29: Resposta do sistema de vibração induzida em função da tensão de alimentação

A figura 29 mostra que alimentado com 1.8V o sistema montado está em ressonância a 370Hz. Cabe lembrar que esse valor está na faixa de ressonância encontrada experimentalmente para o guidão de barra reta (360 Hz). Esse fato faz com que essa tensão seja a ideal para o sistema concebido nessa pesquisa.

4. CAPÍTULO 4 - PROJETO ELETRÔNICO

Com base nos dados obtidos no decorrer da pesquisa pode-se propor um fluxograma com as etapas necessárias para um circuito eletrônico capaz de implementar a ação de identificar um sinal sonoro e atuar na forma de vibração mecânica. O fluxograma é demonstrado abaixo e comentado em sequência.

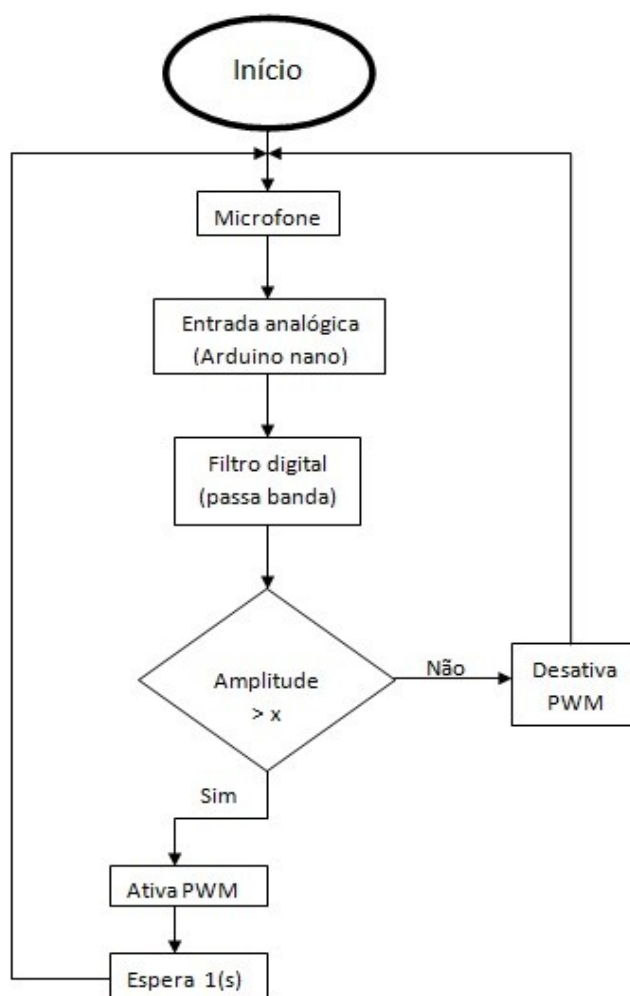


Figura 30: Fluxograma para o sistema identificador de buzinas automotivas

O sistema inicia com o microfone. Ele é o principal componente para aquisição de sinais sonoros advindos do ambiente. O sinal sonoro após ser captado pelo microfone e convertido em um sinal elétrico é direcionado a uma porta analógica do Arduino. Esse é o microcontrolador que conduzirá toda a operação. Por meio dele é implementado o filtro necessário para que o sistema identifique os sinais sonoros do meio externo e acione as ações que justificam o equipamento. A ação nesse caso é a vibração, que ocorre ao

acionar o motor com a massa desbalanceada por meio de modulação da largura do pulso (PWM). Caso o filtro identifique uma buzina, ou seja, as frequências específicas da buzina ocorrem em uma alta amplitude, o PWM é acionado e temporizado para um mínimo um segundo, para que o usuário tenha tempo de sentir a vibração no caso de uma buzina muito rápida. Se as amplitudes das frequências especificadas estão em níveis muito baixos, o filtro identifica que nenhuma buzina está ocorrendo, e o ciclo se reinicia.

No decorrer do capítulo, microfones, Arduíno, filtros e PWM são descritos.

4.1 Microfones

Microfones tem o propósito de converter vibrações acústicas em energia elétrica. Para viabilizar essa conversão eles podem se apresentar a partir de três construções mecânicas: fita, dinâmico ou condensador. Independente da construção mecânica, todos apresentam três componentes principais, transdutor, diafragma e corpo (BOBBY, 2004).

O diafragma é a estrutura sob qual a onda sonora colide, fazendo com que este vibre de acordo com o som. Essa vibração captada pelo diafragma é convertida em um sinal eletrônico por meio do transdutor. O corpo do microfone, por sua vez, tem a função de prover um suporte mecânico para o diafragma e o transdutor, e ainda, influi na resposta direcional do microfone.

A especificação dos microfones se concentram em 4 fatores: sensibilidade, resposta de frequência, ruído, e características de sobrecarga (BOBBY, op. cit.). A sensibilidade é medida da potência elétrica de saída em função de determinada pressão sonora. A resposta de frequência diz respeito a faixa de frequência que o microfone é capaz de captar. O ruído está relacionado com a captação não intencional de barulhos em razão do manuseio do microfone, onde ondas mecânicas podem ser transmitidas pelo corpo do microfone se ele não tiver atenuadores de impacto adequados. A sobrecarga se refere a deformação do diafragma por sons muito intensos, ocorrendo muito próximo ao microfone.

Outro fator importante é o padrão polar da resposta do microfone, também conhecido como resposta direcional, que como o nome sugere, são as direções em que o microfone consegue captar sons. Os padrões mais comuns disponíveis no mercado são omnidirecionais, bidirecionais, cardioide e hipercardiode.

Para os fins do aparelho proposto um microfone com as seguintes especificações seria conveniente:

- Resposta de frequência: 300-2000 Hz (mínimo aceitável)
- Sensibilidade: $9 \times 7 / -58 \pm 3 \text{ dB}$
- Ruído: atenuadores não são necessários
- Sobrecarga: proteção extra desnecessária
- Padrão direcional: Ominidirecional

4.2 Arduíno

Arduíno é uma placa microcontroladora de projeto aberto (open source). A princípio ele foi desenvolvido para auxiliar estudantes, mas em 2005 Massimo Banzi e David Cuartielles o desenvolveram comercialmente (MONK, 2012).

Segundo BOXALL (2013) o Arduíno pode interagir com seu entorno a partir de uma enorme gama de equipamentos auxiliares e ser programado de acordo com as interações requeridas para criar um dispositivo funcional. Essas características tornam o Arduíno ideal para o processo de prototipagem eletrônica.

A simplificação do processo de prototipagem eletrônica torna o Arduíno ideal para essa etapa da pesquisa.

4.3 Filtros

Filtros são circuitos, ou algoritmos capazes de passar determinadas frequências enquanto bloqueiam a passagem de outras frequências. Existem quatro tipos principais de filtros: passa baixo, passa alto, passa banda e rejeita banda.

Os filtros têm nomes sugestivos quanto a sua aplicação. O filtro passa baixa permite que as frequências abaixo de determinado nível passem e bloqueia as frequências acima deste. O filtro passa alto funciona de forma oposta ao anterior. No caso do filtro passa banda, a passagem é permitida em frequências de um intervalo restrito, sendo bloqueada caso em níveis acima ou abaixo da faixa permitida. O filtro rejeita banda se comporta de forma contrária ao filtro anterior. A figura 31 ilustra o comportamento dos quatro principais filtros.

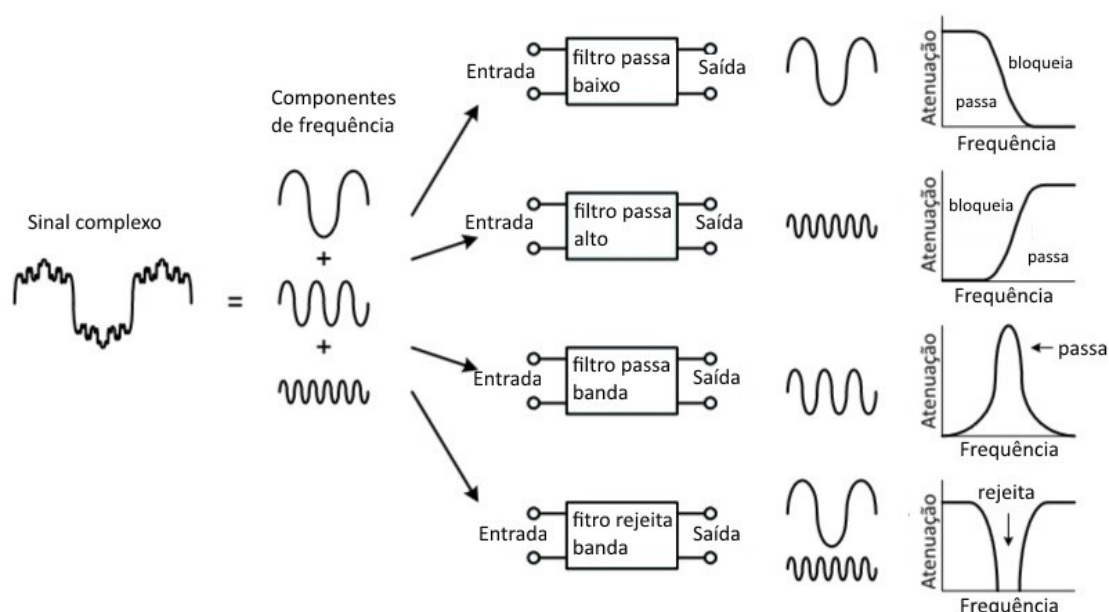


Figura 31: Principais filtros eletrônicos
Fonte: (SCHERZ, 2000)

O som que se pretende captar, a buzina automotiva, se situa em uma faixa específica de frequência. Esse fato sugere o filtro passa banda para a presente aplicação.

4.4 PWM

O PWM é uma técnica de controle da entrega de energia para o motor. Sinais PWM são cadeias de pulso com frequência e magnitude fixadas, mas com largura de pulso variável (YU; MOHAMMED; PANAHI, 1997). A cada período de PWM fornece um pulso de magnitude fixa, porém a largura do pulso varia entre pulsos de acordo com a modulação do sinal. As vantagens de uso do PWM perante outras técnicas, segundo (YU; MOHAMMED; PANAHI, op. cit.):

- Fácil de controlar e implementar
- A variação de temperatura não causa degradação na linearidade
- Compatível com os microprocessadores atuais
- Baixa dissipação de potência.

Em virtude dessas vantagens essa é a técnica escolhida para controlar o motor elétrico que aciona a massa desbalanceada no circuito proposto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir desta pesquisa, algumas modificações da concepção inicial podem ser propostas. A ideia inicial, (figura 1, pag. 11) consistia em um sistema acoplado a uma barra, capaz de identificar alertas sonoros e vibrar nesse instante.

A princípio era proposto um sistema que pudesse ser acoplado a qualquer guidão comercial, entretanto como mostrado no capítulo 3, infelizmente as frequências naturais das principais barras não permitem uma faixa de frequência de ressonância concentrada, de sorte que uma única sintonia fosse possível para todos os casos. Ainda no capítulo 3, o sistema de vibração induzido por meio de massa desbalanceada foi proposto e experimentado para a barra reta, gerando resultados satisfatórios, mas apenas para esse modelo específico.

Para que o sistema funcione para todas as barras, é necessário um sistema que capaz de executar uma autocalibração, onde o próprio sistema se excite em diferentes frequências e por meio de sensores detecte a frequência mais próxima da ressonância.

Além de modificar concepções, a pesquisa também reafirmou uma maneira de agir perante a engenharia. No capítulo 1, uma visão humanista trouxe um olhar sobre o conceito de autonomia. Acredita-se que essa pesquisa seja um exemplo de como a engenharia possa contribuir fornecendo equipamentos capazes de preencher lacunas deixadas pela desigualdade. As definições jurídicas para pessoas portadoras de deficiência foram descritas. Também fora visto que essas definições se aplicam a quase $\frac{1}{4}$ da população Brasileira, dos quais, cinco milhões de pessoas com deficiência auditiva.

O capítulo 2 forneceu o conhecimento sobre a natureza do som, efeito doppler e as características de uma buzina automotiva real. Realizar aquisição de dados sobre a buzina, aplicar a FFT, conhecer as frequências e o comportamento do espectro desse tipo de alerta sonoro se mostrou fundamental para pensar estratégias de identificação dos sinais.

O último capítulo, foi proposto um fluxograma para o circuito eletrônico capaz de implementar a ideia proposta. A partir desse ponto pode-se indicar pesquisas e ações futuras:

- Elaboração do código computacional do microcontrolador
- Desenho de um estojo ergonômico
- Usinagem dos moldes pertinentes para fabricação

REFERÊNCIAS

ARNS, Flávio. **Acessibilidade**: Decreto nº5.269, de 2 de dezembro de 2004. Regulamenta as Leis nº 10.048/2000 e 10.098/2000, e dá outras providências. 2005. 51 p.

BATISTA, Everton Vosni. **Pessoas com deficiência e planejamento urbano: A acessibilidade inacessível em Ponta Grossa – PR**. Ponta Grossa, 2008 (monografia, UEPG).

BRASIL. **Lei nº 10.690, de 16 de junho de 2003**. Reabre o prazo para que os Municípios que refinanciaram suas dívidas junto à União possam contratar empréstimos ou financiamentos, dá nova redação à Lei nº 8.989, de 24 de fevereiro de 1995, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.receita.fazenda.gov.br/legislacao/leis/2003/lei10690>>. Acesso em: 12 Abr. 2014.

----- . **Lei nº 8.160 de 8 de janeiro de 1991**. Dispõe sobre a caracterização de símbolo que permita a identificação de pessoas portadoras de deficiência auditiva. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8160.htm>. Acesso em: 12 abr. 2014.

----- . **Decreto nº3.298, de 20 de dezembro de 1999**. Regulamenta a Lei nº 7.853, de 24 de outubro de 1989, dispõe sobre a Política Nacional para a Integração da Pessoa Portadora de Deficiência, consolida as normas de proteção, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D3298.htm>. Acesso em: 12 Abr. 2014.

----- . **Cartilha do Censo 2010**: pessoas com deficiência. Brasília, 2012. 36p.

----- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Censo Demográfico**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 jun. 2014

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2004. 97 p.

BOXALL, Jhon. **Arduino Workshop**: A hands-on introduction with 65 projects. São Francisco: No Starch press, 2013. 370 p.

CASTORIADIS, Cornélius. **A instituição imaginária da sociedade**. Tradução Guy Reynoud. 2ª edição. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1982.

CHEN, Victor. **Micro-Doppler Effect in Radar**. 1ª. Norwood, MA: Artech House, 2011.

CRAMER, Owen. The variation of the specific heat ratio and the speed of sound in air with temperature, pressure, humidity, and CO concentration. **The Journal of the Acoustical Society of America**. V.93, nº 5, p. 2510-2516, jan./abr. 1993.

CREMER, Lothar. **Structure-borne sound**. Berlin: Springer-Verlag, 1973.

COOLEY, James W. How the FFT Gained Acceptance. **IEEE Signal Processing Magazine**. V. 9, nº 1, p. 10-13, set./dez. 1992.

FAHY, Frank J. **Foundations of Engineering Acoustics**. Oxford: Academic Press, 2000.

----- . **Sound and Structural Vibration: Radiation, Transmission and Response.** 1ª edição. Jordan Hill, GBR: Academic Press, 2007.

FARNELL, Andy. **Designing Sound.** Cambridge: MIT Press, 2010.

GATTI, Paolo. FERRARI, Vittorio. **Applied Structural and Mechanical Vibrations: Theory Methods and Measuring Instrumentation.** 1ª edição. Londres: CRC Press, 1999. 843.

GERGES, Samir Nagi Yousri. **Protetores auditivos.** 1ª edição. Florianópolis: S.N.Y., 2003. 138 p.

MALUF, Renato. Atribuindo sentido (s) à noção de desenvolvimento. **Estudos: sociedade e agricultura.** Rio de Janeiro, n. 15, p. 53-85, out., 2000.

MOBLEY, Keith R. **Vibration Fundamentals.** Burlington: Butterworth-Heinemann, 1999.

MONK, Simon. **Programming Arduino: Getting started with Sketches.** Nova Iorque: McGraw Hill, 2012.

RODENKO, O. V. SOLUYAN, S. I. **Theoretical Foundations of Nonlinear Acoustics.** 2ª edição. Nova Iorque: Plenum, 1977.

SCHERZ, Paul. **Practical Electronic for Inventors.** Nova Iorque: McGraw Hill, 2000. 605p.

SCHETZEN, Martin. **Airborne Doppler Radar: Applications, Theory and Philosophy**. 1ª edição. Reston: American Institute of aeronautics and astronautics, 2006.

SMITH, Derek. **Gear Noise and Vibration**. 2ªedição. Oxford: CRC Press, 2003. 320 p.

SEN, Amartya. **Desenvolvimento como liberdade**. São Paulo: Companhia das Letras, 2010.

SOUZA, Marcelo. A teorização sobre desenvolvimento numa época de fadiga teórica, ou: sobre a necessidade de uma “teoria aberta” do desenvolvimento sócio-espacial. **Território**. Rio de Janeiro, n.1, p.5-22, jul / dez., 1996.

----- . **Mudar a cidade**: uma introdução critica ao planejamento e a gestão urbanos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002. 560 p.

VALLE, Sólon do. **Manual prático de acústica**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Musica & Tecnologia, 2009. 404 p.

ZHENYU, Yu. MOHAMMED, A. PANAHI, I. A review of three PWM techniques. **American Control Conference**. V.1 p.257-261. 1997.