

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRO REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

SISTEMA DE TRANSMISSÃO E RECEPÇÃO DE COMANDOS POR
DADOS INFRASSÔNICOS APLICADOS NA ROBÓTICA

Bolsista: Carla Laíssa Alves do Nascimento, FAPEAM

MANAUS

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRO REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO PARCIAL

PIB-E/0212/2014

SISTEMA DE TRANSMISSÃO E RECEPÇÃO DE COMANDOS POR
DADOS INFRASSÔNICOS APLICADOS NA ROBÓTICA

Bolsista: Carla Laíssa Alves do Nascimento, FAPEAM

Orientador: Prof^o Dr^o Ruitter Caldas Braga

MANAUS

2015

Todos os direitos deste relatório são reservados à Universidade Federal do Amazonas, ao Núcleo de Estudo e Pesquisa em Ciência da Informação aos seus autores. Parte deste relatório só poderá ser reproduzida para fins acadêmicos ou científicos.

Esta pesquisa, financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM, através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da Universidade Federal do Amazonas, foi desenvolvida pelo Núcleo de Estudo e Pesquisa em Ciência da Informação e se caracteriza como sub projeto de pesquisa do som e seu envio de informação.

Você pode sonhar, criar, desenhar e construir o lugar mais maravilhoso do mundo. Mas é necessário ter pessoas para transformar seu sonho em realidade.

Walt Disney

RESUMO

Um dos problemas encontrados na área de comunicação robótica na atualidade é em encontrar uma rápida comunicação entre interfaces. Interface esta que seja livre de ruídos e intercepções, dada uma longa distância. O método encontrado para contribuir nessa comunicação é a utilização de equipamentos infrassônicos. Porém, como colocar uma informação nessa faixa de som? Ou como fazer com que o som possa transmitir essa informação?

Com o conhecimento sobre a física da acústica do som, bem como a ajuda das linguagens de programação para interpretação do sim, o projeto vai cumprir uma metodologia científica a fim de responder as perguntas acima; com o intuito de validar a possibilidade de o som transmitir uma mensagem em baixa frequência. Mais ainda, se as respostas das perguntas anteriores forem positivas, o projeto contará com testes em um receptor (robô) para executar determinadas tarefas e, através das conclusões, avançar consideravelmente o tratamento de infrassom.

Além dos benefícios citados anteriormente, o projeto trabalhará com uma metodologia de baixo custo de execução, isto é, causando um impacto positivo para os atuantes na área de robótica, que lidam com uma alta despesa de equipamentos no mercado, possibilitando um melhor acesso nesse tema. Então, é clara a viabilidade do investimento do tema infrassom, no que se diz respeito a um protocolo de comunicação à distância voltado para a área de robótica, através das leis do som e suas aplicabilidades físicas.

Palavras-chaves: infrassom, robótica, baixa, frequência, informação, som, acesso, transmitir, receptor, faixa.

ABSTRACT

One of the problems found in the area of robotics communication, recently, is in a fast communication between interfaces. Interface on which is free from noise and interceptions, given a long distance. The method found to contribute in this communication is to use infrasound equipment. But how to put some information on this soundtrack? Or how to make the infrasound send this information?

With the knowledge about the physics of the acoustic of sound, the project will fulfill a scientific methodology in order to answer the above questions; with the intent to validate the ability to transmit a sound in a low frequency message. And beyond that, the project will make tests on a receptor (robot) to perform certain tasks and through the conclusions, advance the treatment of infrasound.

In addition to the benefits mentioned above, the project will work with a low cost of implementation methodology, which is making a positive impact on working in robotics, dealing with a high expense of equipment on the market, providing better access in which respect to this topic. So, it is clear the viability of infrasound about investment, as regards a communication protocol aimed at the distance robotics, through the laws of sound and its physical applicability.

Keywords: infrasound, robotics, low, frequency, information, sound, access, transmit, receptor, soundtrack.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2. MÉTODOS UTILIZADOS	15
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	17
CONCLUSÃO.....	28
AGRADECIMENTOS	29
BIBLIOGRAFIA	30
CRONOGRAMA.....	33

INTRODUÇÃO

A principal abordagem deste projeto vai ser sobre a transmissão de informação via infrassom e, dependendo das conclusões, será aplicado na robótica. Sabe-se que um dos principais problemas encontrados, na área de comunicação robótica, é em dispor de um protocolo comunicativo livre de ruídos e intercepções em uma longa distância. O meio escolhido de tornar a propagação da informação mais eficaz, dada uma longa distância, foi a utilização da ferramenta natural, o infrassom.

Infrassons são ondas sonoras extremamente graves, com frequências abaixo dos 20 Hz, portanto abaixo da faixa audível do ouvido humano que é de 20 Hz a 20.000 Hz. Ondas infrassônicas podem se propagar por longas distâncias, pois são menos sujeitas às perturbações ou interferências que as de frequências mais altas (WEI, W.; XINJIAN, S. *Dynamic Fuzzy Clustering for Infrasound as a Precursor of Earthquakes*, 2010, 5 p.). Na natureza, fenômenos naturais, como o vento comum, tufões, terremotos, erupções vulcânicas e etc., podem gerar infrassons (CHANGYUAN, W. Y. F.; BAOQIANG, L. Y. W. *Design of Lightning Location System Based on Photon and Infrasound Detection*, 2007, p. 2.), bem como animais, como o elefante ou o tigre, se comunicam por essa faixa de som (CLEMINS, P. J.; JOHNSON, M. T. *Application of Speech Recognition to African Elephant (Loxodonta Africana) Vocalizations*, 2003, 4 p.).

Uma informação transmitida nessa faixa de som poderia ampliar de forma significativa a manipulação a distância de robôs, isto é, robôs poderiam decodificar a informação de uma fonte de infrassom, e executar essa tarefa de forma que não seja preciso nenhum contato físico para sua atuação, inovando nessa problemática na área da robótica.

Como já citado anteriormente, fenômenos naturais emitem ondas sonoras de baixa frequência. Existem equipamentos meteorológicos que captam essas ondas e decodificam as informações contidas nelas. Como é o caso do sismógrafo mecânico. Esse aparelho é o que vai receber as informações da fonte que emite os infrassons. Com a utilização de sensores infrassônicos (DICKY, J. T.; MIKHAEL, W. B. *An Adaptive Technique for Isolating the Seismic Response of an Infrasound Sensor*, 2012, 4 p.) e de fontes geradoras construídas pelo homem, o projeto vai se aplicar justamente na emissão de um código via infrassom, onde um robô vai receber esse código, pelo princípio do sismógrafo, vai decodificar a mensagem, e executar as atividades que lhes foram transmitidas nessa faixa de som, a uma determinada distância.

Tendo em vista essa finalidade, este trabalho vai explorar o ramo da física que lida com as características do som, bem como seus princípios e fórmulas. Lidando com todo um aparato digital necessário para a aplicação final do projeto.

1. Revisão Bibliográfica

Inicialmente, as pesquisas revelaram a necessidade do uso de equipamentos que lidam com o som audível. O trabalho é iniciado na faixa audível, pois a ideia inicial seria estabelecer um protocolo de comunicação padrão, com testes da frequência na faixa maior que 20Hz e menor que 20KHz, a fim de que todas as frequências pudessem ser utilizadas nesse padrão, inclusive as abaixo de 20 Hz, que é o infrassom. Então, as ferramentas a seguir em testes iniciais ainda não lidam com o infrassom.

Primeiramente, utilizou-se o Arduino UNO. O Arduino UNO é uma placa de microcontrolador baseado no ATmega328. Dispõe de 14 pinos digitais de entrada/saída (dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM), 6 entradas analógicas, um ressonador cerâmico 16 MHz, uma conexão USB, um fone de poder, um cabeçalho ICSP, e um botão de reset. Ele contém tudo o necessário para apoiar o microcontrolador; basta conectá-lo a um computador com um cabo USB ou ligá-lo com um adaptador AC-to-DC ou bateria para começar (Retirado do site: <http://arduino.cc/en/main/arduinoBoardUno>, em 17/01/2015).

Ele apresenta o Atmega16U2 (Atmega8U2 até a versão R2) programado como um conversor USB para serial.

Além do Arduino, viu-se a necessidade de utilizar o sensor de som, para poder fazer a comunicação e obter um padrão de protocolo da comunicação. O módulo sensor de som é um microfone simples. Com base no amplificador de potência LM393 e um microfone eletreto, ele pode ser usado para detectar a intensidade do som do ambiente. O valor de saída pode ser ajustado pelo potenciômetro.

Com o sensor descrito acima, foi possível fazer as ligações necessárias com Arduino a fim de dar início a uma comunicação de sons audíveis.

Para essa primeira parte do projeto, trabalhar com o Arduino facilitou toda a proposta de comunicação. Mas antes que fosse este fosse utilizado em ligação com o sensor, foram feitos testes com o CI 555, tendo este um *Buzzer* para ser o transmissor, e o circuito do microfone eletreto como o receptor.

De acordo com o TOCCI, 7ª Ed., 2000, o temporizador 555 é um dispositivo compatível com TTL e que pode funcionar de diversas maneiras, isto é, como monoestável, astável e biestável. No modo astável (escolhido para o projeto), a saída é uma forma de onda

retangular repetitiva, que comuta entre dois níveis lógicos, e com o tempo de permanência em cada um destes níveis determinados pelos valores do Resistor e do Capacitor. É possível ainda determinar os tempos t_1 e t_2 , assim como o período total T , indicando que os tempos t_1 e t_2 não podem ser iguais, a não ser que R_A seja zero. As fórmulas são dadas a seguir:

$$\begin{aligned} t_1 &= 0,693 R_B C \\ t_2 &= 0,693 (R_A + R_B) C \\ T &= t_1 + t_2 \\ \text{frequência} &= 1/T \\ \text{taxa de ciclo} &= t_2/T \times 100\% \\ R_A &\geq 1 \text{ k}\Omega \\ R_A + R_B &\leq 6,6 \text{ M}\Omega \\ C &\geq 500 \text{ pF} \end{aligned}$$

Montando o circuito do 555, seria possível produzir o som, enquanto, a montagem do receptor seria com o Microfone de Eletreto. Este é um tipo de microfone com tamanho bastante reduzido, sendo frequentemente utilizado em circuitos eletrônicos que tem por finalidade, entre outras, de servir de escuta. Também conhecido como microfone de condensador. Este microfone, para funcionar, requer uma tensão entre 2 e 3 Volts, necessária apenas para funcionamento do transistor interno, e tem um consumo de aproximadamente 1mA. Sua sensibilidade é extremamente boa sendo preferido como ideal para diversos projetos. Sua saída fica em torno e 9 a 18 mV podendo chegar aos 20 mV (Oliveira, Prof. José Raimundo de; *A aplicação de microfones em projeto digitais*; 2010).

As formas de ondas seriam analisadas por meio de um osciloscópio. Este é um instrumento de medida eletrônico que cria um gráfico bidimensional visível de uma ou mais diferenças de potencial. Por meio dele que é possível obter as frequências a serem tratadas no projeto.

Em meio aos testes, viu-se a necessidade de aplicar a transformada discreta de Fourier, para trabalhar com os sinais no domínio da frequência. Explicando melhor, sabe-se que os sinais podem ser classificados segundo vários critérios, tais como sinais contínuos ou discretos, sinais periódicos ou aperiódicos. Para sinais discretos e periódicos utiliza-se a Transformada Discreta de Fourier (DFT). A única transformada que pode ser utilizada na prática é essa e o objetivo da Transformada Discreta de Fourier é o de fornecer aproximações da Transformada de Fourier de sinais (Floyd, T. L. *Princípios de Circuitos Elétricos*. 7a Ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002).

Depois do Arduino, a próxima plataforma a ser testada foi MATLAB®, que é uma linguagem de alto nível e ambiente interativo usado por milhões de engenheiros e cientistas em todo o mundo. Permite a exploração e visualização de ideias (Retirado do site www.mathworks.com, em 01/02/2015).

Mesmo com o MATLAB®, viu a necessidade de usar outra plataforma para a aplicação do protocolo. O pilar central dessa abordagem é o LabVIEW®, um ambiente de desenvolvimento criado especificamente para acelerar a produtividade do projeto. Tem uma sintaxe de programação gráfica, que torna simples visualizar, criar e desenvolver códigos (Retirado do site www.ni.com/labview/, em 08/05/2015).

Paralelamente aos programas simuladores supracitados, a ideia do protocolo de comunicação, a priori, seguiu as instruções do modem acústico, ou seja, foi baseada na implementação de modulação do sinal e sincronismo temporal (WRIGHT, Bianca; Modem Acústico; 2012).

Outra ferramenta necessária para a execução do projeto foram os filtros digitais. Em um sistema e transmissão, a função de um filtro é remover partes não desejadas do sinal, como o ruído, ou extrair partes úteis do sinal, como determinadas componentes de frequência que estão dentro do gama de frequência (DINIZ, P. S. R., da SILVA, E. A. B. e LIMA NETTO, S. Processamento Digital de Sinais. Bookman, 2004).

O filtro digital que atende ao modelo do infrassom, que foi o mais usado no projeto, é o filtro Chebyshev. Os filtros Chebyshev são filtros analógicos ou digitais que possuem um aumento na atenuação (roll-off) mais íngreme e uma maior ondulação (ripple) na banda passante. O tipo mais comum dos filtros Chebyshev tem sua característica da amplitude em frequência de ordem n pode ser descrita matematicamente como:

$$G_n(\omega) = |H_n(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \epsilon^2 T_n^2\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)}} \quad (1)$$

$$\text{Em que } |\epsilon| < 1 \text{ e } |H(\omega_0)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \epsilon^2}} \quad (2)$$

A característica de transmissão de um filtro passa baixo é especificada por quatro parâmetros:

- Uma frequência superior da banda passante ω_p
- A máxima variação permitida da banda passante A_{max} (tipicamente de 0.05dB a 3dB).
- A frequência inferior da banda de rejeição ω_s
- Atenuação mínima na banda de rejeição A_{min} (tipicamente de 20dB a 100dB).

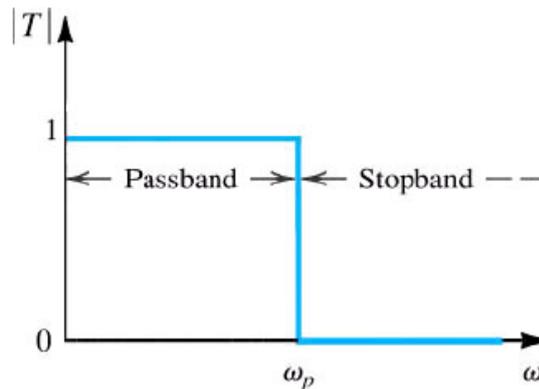


Figura 1 - Filtro Passa-Baixa.

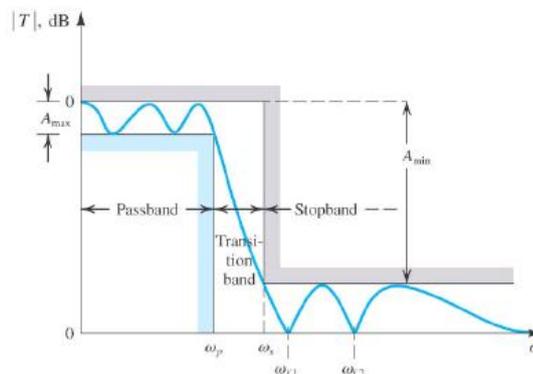


Figura 2 - Especificações de Filtros Passa-Baixa

A razão ω_s/ω_p é usualmente usada como a medida da transição rápida entre a banda passante e a banda de rejeição e é chamada fator de seletividade. Além da especificação da resposta em amplitude há aplicações em que a resposta em fase do filtro é especificada para o projeto. Torna-se, no entanto, mais complexo quando é preciso obedecer a uma especificação em amplitude e fase. Geralmente é feita uma aproximação duma função de transferência às especificações através de programas de computador ou tabelas de projeto de filtros. Em casos simples a aproximação pode-se fazer através de expressões em forma fechada (não recorrentes). (BAPTISTA Manuel A. E.; AFONSO, Ernesto R. *Processamento Digital de Sinal*. 2004)

E por último, na exploração da parte do Infrassom, os acessórios em uso foram o sismógrafo digital, testes nos microfones de notebooks e diversos computadores, bem como microfones dinâmicos, com entradas para o PC, além dos testes das fontes de infrassom, como alguns reprodutores de som inaudível por alguns equipamentos audiométricos, entre outras tentativas de fontes.

2. Métodos Utilizados

Pelo cronograma, sabe-se que no início de tudo seria levantado um estudo bibliográfico para validação do projeto. Foi, então, estudado a parte da engenharia que lida com as ondas sonoras, mapeamento de frequências, envio de caracteres (tabela ASCII), protocolo de informação, Transformada Discreta de Fourier, Linguagem de Programação, Filtros Digitais e mais outros casos de aplicações para o projeto.

Com esse estudo foi possível ter uma melhor ideia da hipótese do projeto, ou seja, um dos caminhos a ser seguido para se cumprir o objetivo do projeto seria seguir a hipótese de trabalhar com um protocolo de comunicação na faixa de som audível, estabelecer um padrão de amostragem da frequência, e seguir o modelo com a faixa inaudível (abaixo de 20 Hz, no caso).

Com essa hipótese, foram listados alguns materiais que seriam utilizados para os testes iniciais, materiais estes que já foram descritos anteriormente. Tendo a lista e a aquisição dos materiais, a princípio foi utilizado o drive do microfone de eletreto, LM393, que dispõe de um potenciômetro, sendo ligado ao Arduino para o tratamento de valores analógicos. Os resultados, comentados mais adiante, guiaram para a montagem do circuito do amplificador do sinal do microfone de eletreto, sendo este circuito o do receptor, e o contador 555 com saída do Buzzer como o transmissor. Foram medidas as frequências de saída e analisado os resultados.

Por meio de toda a experimentação inicial, as conclusões não foram satisfatórias para o projeto e coincidiu com a dedução esperada, como comentado mais adiante.

Após isso, foi feita a programação em Arduino para que o sensor de som captasse algum som ambiente, e registrasse a informação em forma de bits. Foi feita a amostragem de 255 frequências. Por meio dessas frequências, seria feito o protocolo de informação de 8 bits, baseado nos resultados comentados mais adiante.

Foi montado um receptor com o microfone de eletreto e dois leds indicadores, um para mostrar um tom mais agudo, e outro led para mostrar um tom mais grave, se o microfone pudesse captar os sinais do buzzer ligado no Arduino.

Para esse tópico do parágrafo anterior, fez-se uso da Transformada de Fourier Discreta, para fosse possível trabalhar com todas as frequências do sinal, a fim de trabalhar num faixa que permitisse a manipulação das frequências abaixo de 20 Hz, posteriormente.

Com a aplicação da Transformada de Fourier Discreta, foi preciso filtrar o sinal recebido pelo microfone, usando, então, os conhecimentos adquiridos sobre Filtros Digitais.

Com os resultados obtidos, vários filtros foram testados, buscando a melhor eficiência da proposta de filtragem, a fim de que o resultado exibido fosse mais exato possível.

Passados os testes com o protocolo no Arduino, o próximo passo tomado foi a execução do Matlab. Para esse ambiente de software, foi dada uma maior atenção nos estudos sobre a linguagem de programação dessa plataforma, pois a aplicação da ideia de Fourier seria complexa.

Com o Matlab, os circuitos físicos de protoboards foram guardados, pois a técnica escolhida foi utilizar o microfone do próprio notebook. Com isso, estava em uso o microfone do notebook como o receptor, e o buzzer no Arduino como emissor, ou seja, uma comunicação entre dois computadores. Analisando os resultados, foi aplicado o filtro para diminuir os ruídos.

Em meio aos resultados até então obtidos, e em análise ao cronograma, foi necessário recorrer a outro tipo de plataforma de programação, o LabView.

Antes de se utilizar o LabView, vale ressaltar que as tentativas anteriores foram para a construção do modelo de comunicação na faixa audível e, muito além de se comunicar, estabelecer um modelo físico de envio de caracteres, em qualquer amostra de frequência, inclusive abaixo de 20Hz, foco do projeto.

Porém, com os resultados anteriores, foi preciso uma nova forma de trabalhar com a hipótese do projeto. Por isso a introdução ao LabView, entretanto, mesmo fora do cronograma, foi feito um novo estudo sobre o funcionamento dessa ferramenta, para a utilização do Infrassom, direto, bem como do filtro Passa-Baixa, o Chebyshev.

Paralelamente aos testes computacionais, foram feitas análises com os sismógrafos caseiros, analógicos e digitais.

Por fim, com o LabView, as fontes de infrassom foram diversas, tais como, a ventilação gerada por várias ferramentas, o local de recepção do som transferido a cada teste, e a geração de vibração através de pulsos de som grave, como um autofalante grave.

3. Resultados e discussões

Sabe-se que as principais tecnologias de comunicação sem fios, na robótica, são WiFi, Bluetooth e ZigBee. Porém, como citado anteriormente, dado uma longa distância, essas tecnologias estão muito sujeitas a interferências de ruídos. É necessário, então, descobrir um meio mais eficaz de transmissão que seja mais limpa e resistente ao caminho percorrido entre dois pontos.

Faz uso, então, das ferramentas do som. Os sons naturais são, na sua maior parte, combinações de sinais, mas um som puro monotônico, representado por uma senóide pura, possui uma velocidade de oscilação ou frequência que se mede em hertz (Hz) e uma amplitude ou energia que se mede em decibéis.

Sabendo disso, o circuito multivibrador montado obteve os seguintes resultados:

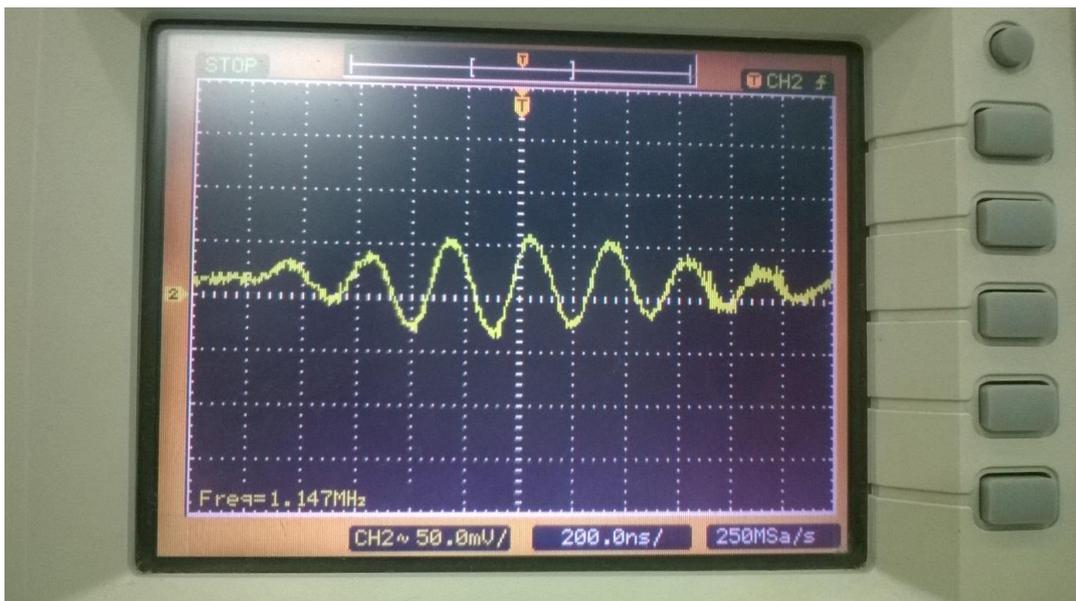


Figura 3 - Frequência medida de 1,47MHz da saída do 555.



Figura 4 - Onda gerada na saída do 555.

Para a obtenção dessas saídas foi montado o seguinte esquemático:

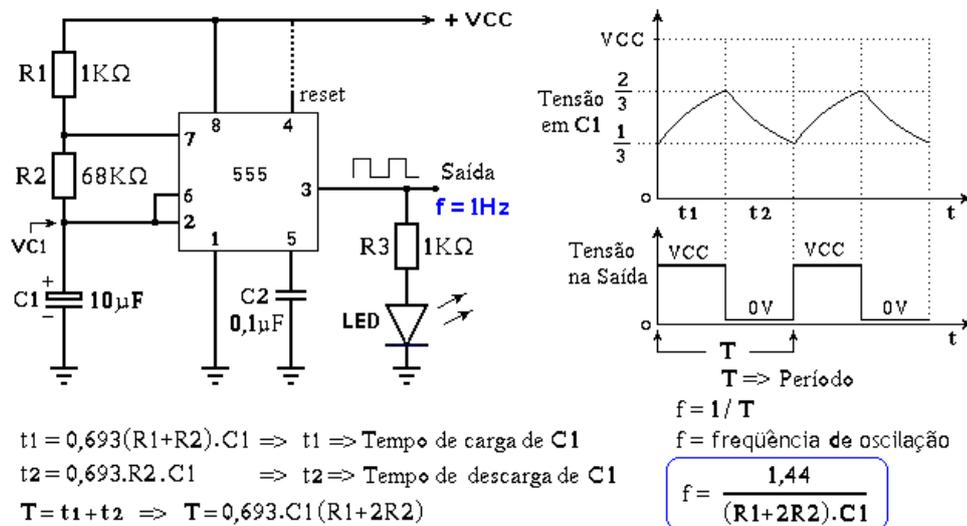


Figura 5 - Esquemático do multivibrador 555.

Após a montagem do circuito acima, foram analisadas as ondas de saída, que seriam ondas quadradas. Porém, como se pode observar na Figura 3, a onda gerada obteve muitos ruídos externos (observando, também, na Figura 4), gerado, em maior parte pelo protoboard e os componentes do circuito. Além disso, pode-se perceber uma mudança de frequência, de modo que os resultados obtidos estivessem sendo gerados de forma muito aleatória.

De acordo com as fórmulas acima, as frequências obtidas na prática não se aproximaram dos cálculos, indicando que a oscilação do circuito não demonstrava um padrão.

Ao ser introduzido o Arduino, a ideia geral era criar um circuito amplificador de som e converter o sinal analógico para digital. Com isso, varrer todas as frequências possíveis do emissor, até obter 255 faixas de informações para enviar, sendo essas faixas 255 tons diferentes. Este seria o protocolo de informação. Com essas amostragens, seria possível obter um padrão de frequência.

E como visto anteriormente, fez-se uso do microfone de eletreto que já vem com o drive em sua carcaça, assim como um potenciômetro para ajuste de ganho, como mostra a figura a seguir:

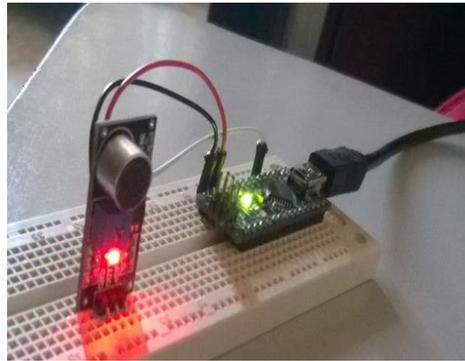


Figura 6 - Teste com eletreto com drive e potenciômetro

Porém, como resultado, mesmo aumentando o ganho, não era suficiente para fazer a amostragem, ou seja, ele não detectava nenhuma mudança de tonalidade, e as interferências externas, mesmo em local isolado, modificavam os resultados do microfone. Nunca se estabelecia um padrão de frequência, ou seja, se a tonalidade do buzzer era aguda, por 1 segundo, dada uma distância de 5 cm, a onde gerava uma amplitude diferente a cada vez que se repetia as mesmas condições do buzzer. Outros modelos de drives foram testados, sem resultados satisfatórios, sob diversas condições.

Com isso, para uma melhor análise, assim como melhores orientações, foi produzido o circuito amplificador do sinal do microfone de eletreto, seguinte o esquemático a seguir:

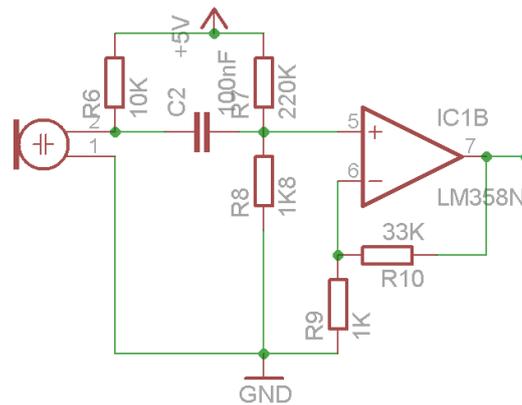


Figura 7 - Esquemático inicial do Sensor de Som.

Com isso, os testes foram feitos entre o Arduino e o sensor de som, entretanto, ainda não foi possível computar as 255 faixas, pois as amostragens continuam gerando sinais aleatórios, mesmo com diversas modificações do amplificador que, como citado anteriormente, o uso de amplificadores foi sob diversas análises de funcionamento, isto é, foram feitos vários testes de diversos amplificadores para poder estabelecer um resultado mais concreto, seja ele positivo ou negativo.

Chegou-se, então, neste outro esquemático:

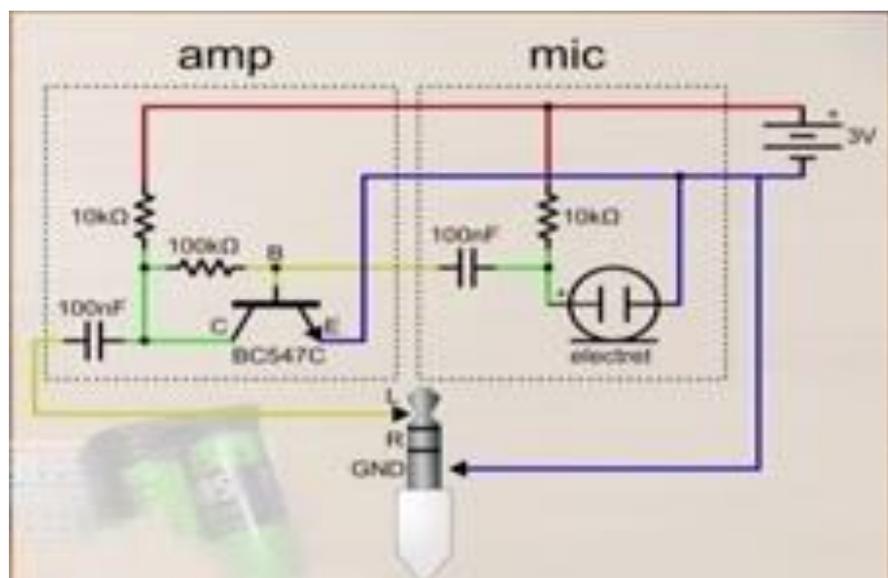


Figura 8 - Circuito amplificador do Microfone de eletreto, com transistor BC547C.

Montado o esquema, obteve o seguinte resultado:

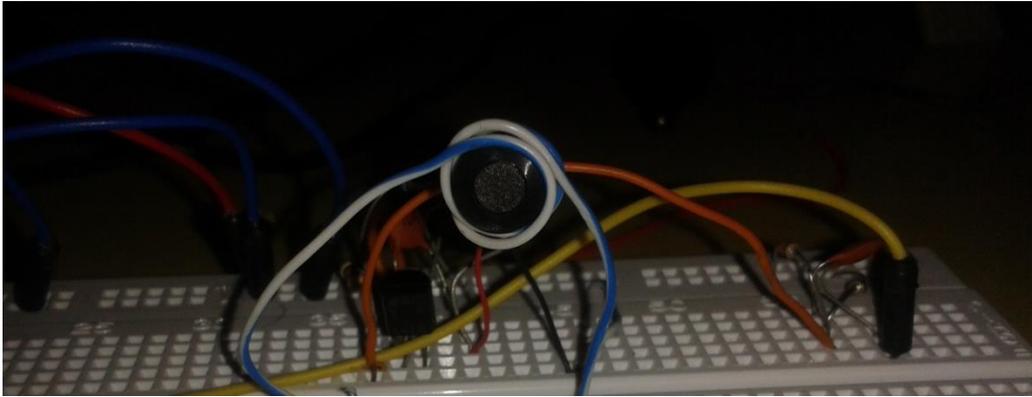


Figura 9 - Microfone em função do transistor (receptor)/protoboard.

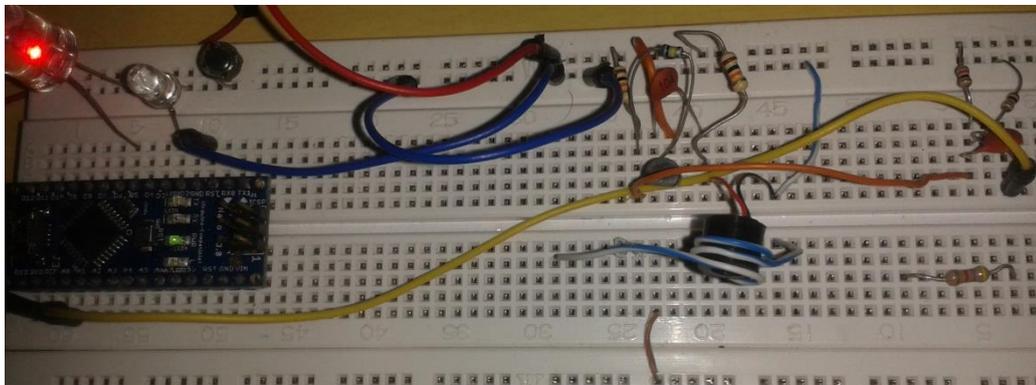


Figura 10 - Visão geral do circuito receptor.

Pelas figuras 9 e 10, pode-se ver o esquema da figura 8 montado. Na figura 10, notam-se dois Leds, um aceso e outro apagado. O programa em Arduino tinha o objetivo de discernir dois tipos de tonalidades audíveis. Então, quando o som era agudo, o nível lógico era '1', ligando o led azul, quando o som emitido pelo buzzer era grave, o nível lógico era '0', ligando o led vermelho.

O emissor era de montagem bem simples, um único buzzer era controlado por um botão de start, muda-tom e stop, ou seja, era uma chave de comando. Tudo ligado no próprio Arduino, mostrado na figura a seguir:

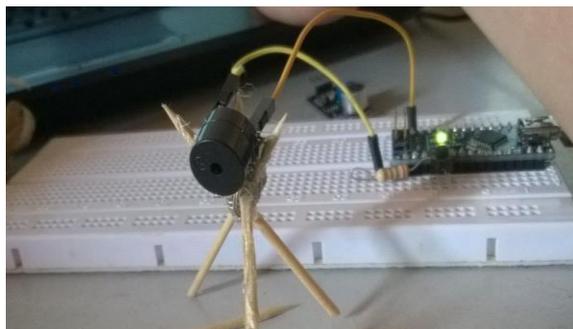
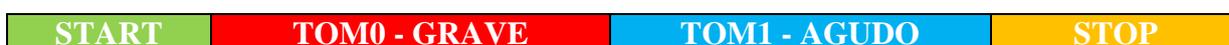


Figura 11 - Emissor.

O que procedeu do sistema foi o seguinte, o emissor emitia dois tons, controlado pela chave:



O primeiro problema encontrado foi que, quando a apertava o botão de start, o tom grave era gerado e, sem pausa, ao pressionar o botão novamente, o tom agudo era gerado, utilizando o botão para parar o som a qualquer momento.

Com isso, na prática, os leds acendiam corretamente, mediante o som escutado, entretanto, por vezes, era detectado o erro de leitura, ou seja, acendiam ou apagavam os dois ao mesmo tempo, erravam a leitura de tons, guardavam a última posição mesmo o sistema encerrado.

Com isso, vários ajustes foram necessários, como implementar uma pausa entre cada tom, pois viu-se que a leitura estava sendo interferida por ruídos, porque mesmo a distância entre o emissor e o transmissor sendo pequena, o que melhoraria o envio de informações, o sinal lido ainda dispunha de muita desinformação virtual, atrapalhando nos objetivos do projeto. Além disso, foi introduzida uma pausa entre a emissão de cada tom, pois o microfone não estava respondendo a tempo a mudança entre eles.

Mesmo com todos os ruídos, e os ajustes dos problemas anteriores, os resultados ainda não estavam satisfatórios. Viu-se a necessidade de usar a transformada de Fourier Discreta, como citado anteriormente. Foi implementado na linguagem de Arduino a transformada na recepção dos dados. Agora, os sinais lidos foram executados no domínio da frequência com uma melhor e mais ampla visualização das mensagens.

De fato, o circuito receptor respondeu bem a transformada, ligando os leds com uma melhor exatidão, porém, a amostragem das frequências apresentavam erros de medições. Mesmo os intervalos sendo definidos e a onda lida sendo contínua, a varredura das frequências não mostrava um padrão dos dois tons. O projeto tornou-se muito complexo para ser implementado em Arduino em junção com a transformada de Fourier, o código apresentava erros que o embasamento teórico da solução estava indo além do campo de estudo do projeto. Lidar com o sinal no domínio da frequência ocuparia muito tempo. Além disso, o ponto de partida sobre a compreensão do assunto de Fourier se deu com a tomada desse projeto, não sendo um campo de alto entendimento de campo. Os testes foram diversos, e, com o decorrer do projeto, muitas limitações foram encontradas no Arduino como receptor.

Assim sendo, uma outra alternativa foi usar o Matlab. Com o estudo de caso, a melhor forma encontrada para o uso dessa plataforma, foi utilizar o microfone do próprio notebook. E com as pesquisas necessárias, os resultados da transformada foram melhores que no arduino. Pôde-se analisar, em tempo real, o comportamento do sinal em formas de onda.

A ideia produzida no Matlab foi a mesma sintetizada no Arduino, e esse foi o passo inicial:

```

1 %Definir constantes
2 - Fs = 11025; %frequencia de amostragem
3 - fs = Fs/4; %quantidade de amostras
4 - t = [1/fs : 1/fs : 1];
5 - i = 50; %quantas vezes ele faz a transformada e mostra lá
6 - while(true)
7 -     y = wavrecord(fs, Fs, 'double'); %grava o audio
8 -     %sound(y, Fs); %reproduz o som gravado
9 -     x = fft(y);
10 -    x = abs(x);
11 -    [am, maior] = max(x);
12 -    disp([am, maior])
13 -    %     if maior > 200
14 -    %         disp(1);
15 -    %     else if maior > 30 && maior < 100
16 -    %         disp(0);
17 -    %     end
18 -    %     end
19 -
20 -    i = i - 1;
21 -    if (i == 0)
22 -        break;
23 -    end
24 - end
25 %com ; ele nao mostra os valores

```

Figura 12 - Captura das amostras das frequências na faixa audível: Matlab.

As amostras lidas foram:



Figura 13 - Amostras do sinal lido, faixa de frequência.

Gráfico do sinal lido:

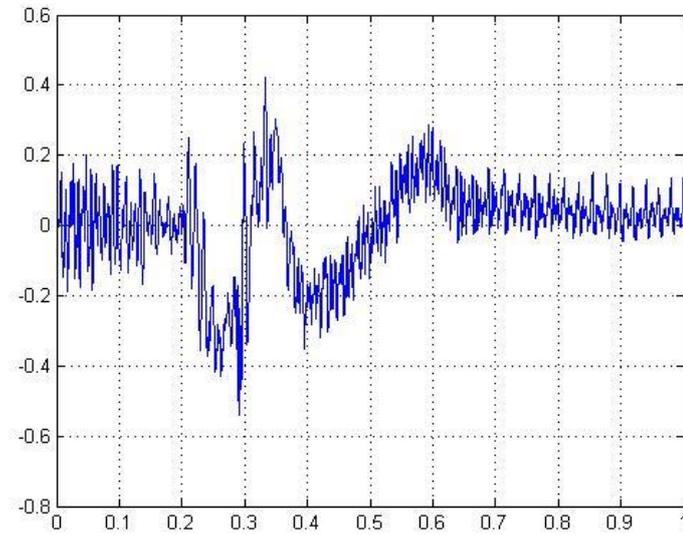


Figura 14 - Amostras lidas do sinal sem filtragem.

Fazendo as modificações para a aplicação da transformada, o gráfico com a DFT:

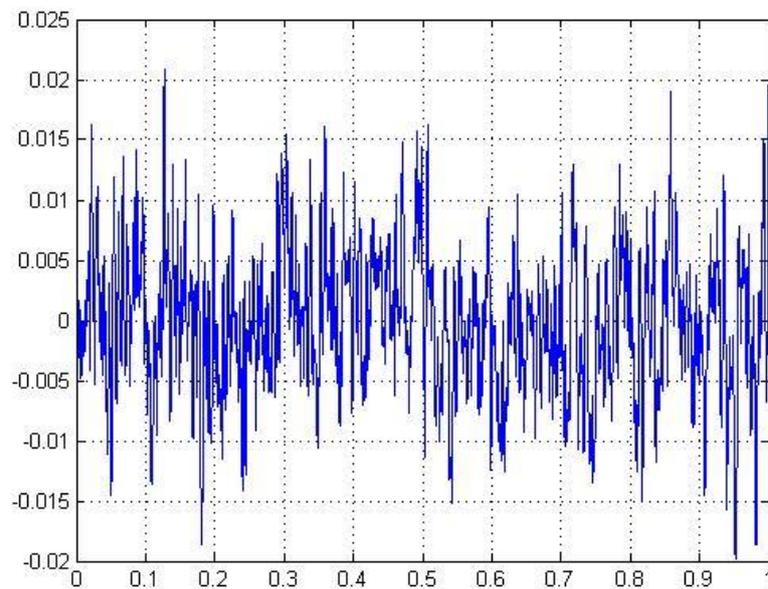


Figura 15 - Gráfico com o sinal da Transformada e a primeira aplicação do filtro digital.

O sinal recebido foi melhor trabalhado quando comparado ao Arduino, então, foi implementado as regras do protocolo, tais como o bit de entrada, as informações válidas do sinal, o bit de stop e o bit que indica a leitura de ruídos (informações descartáveis do ambiente). Além disso, os intervalos entre cada bit foi diminuído no gráfico, de forma a garantir que não houvesse várias informações colidindo em um único intervalo.

Ao fazer todos os procedimentos para o som audível, o protocolo foi feito. Porém, as dificuldades de trabalhar com a faixa abaixo de 20 Hz foram crescendo com cada teste feito. A ideia de conseguir trabalhar com todas as faixas de frequência por meio da transformada não alcançaram os resultados esperados na prática.

Mediante conselhos acadêmicos, sabe-se que o vento produz infrassom, instrumentos como o ventilador, cooler, ar-condicionado ou até mesmo o movimento do braço de uma pessoa gera infrassom. Por isso, o controle sobre a fonte infrassônica é muito baixo, pois existem muitas interferências na detecção de sinais. Vale ressaltar que os testes foram feitos em localizações mais isoladas possíveis.

A escolha do próximo passo foi a utilização do LabView, software que permite a implementação em diagrama de bloco. Após estudos sobre esse programa, foi possível obter resultados mais sólidos sobre a proposta do projeto.

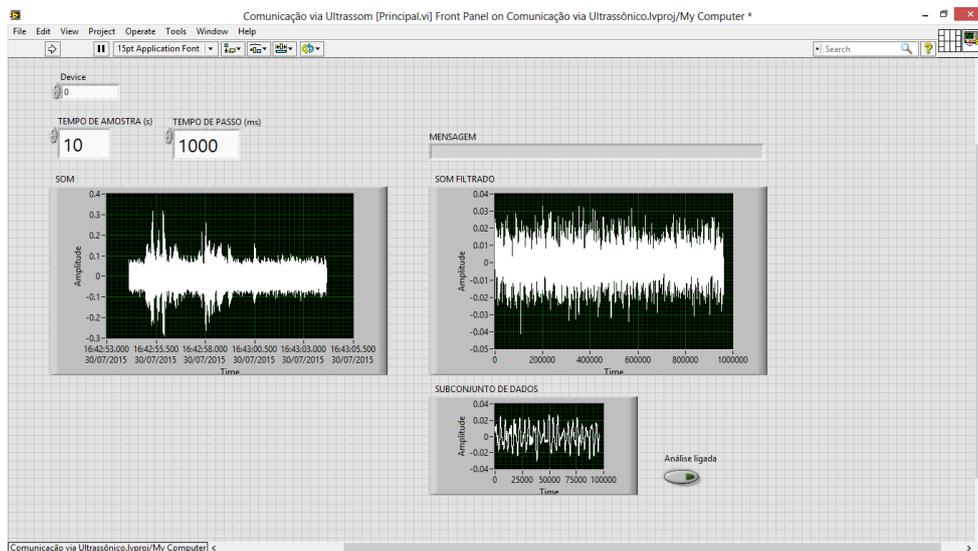


Figura 16 - Sinal infrassônico e sinal filtrado.

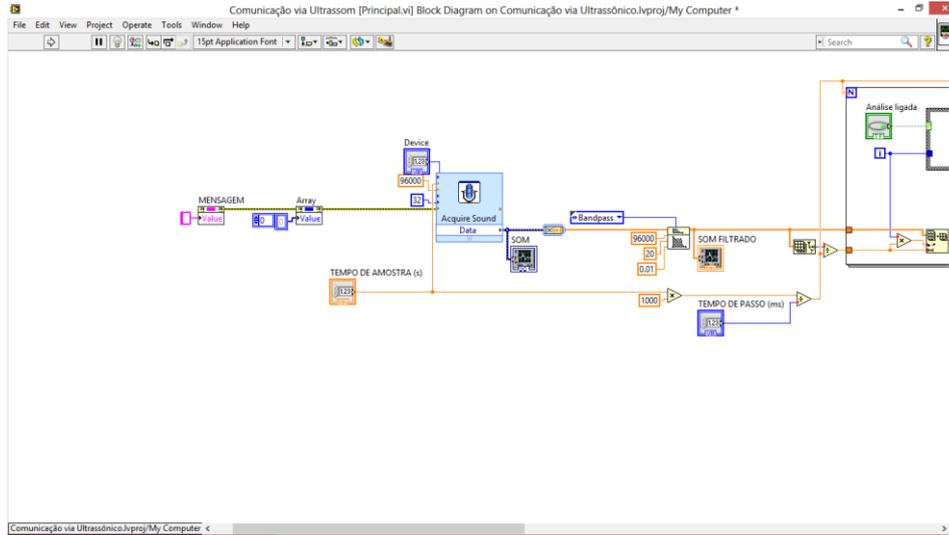


Figura 17 - Código em LabView.

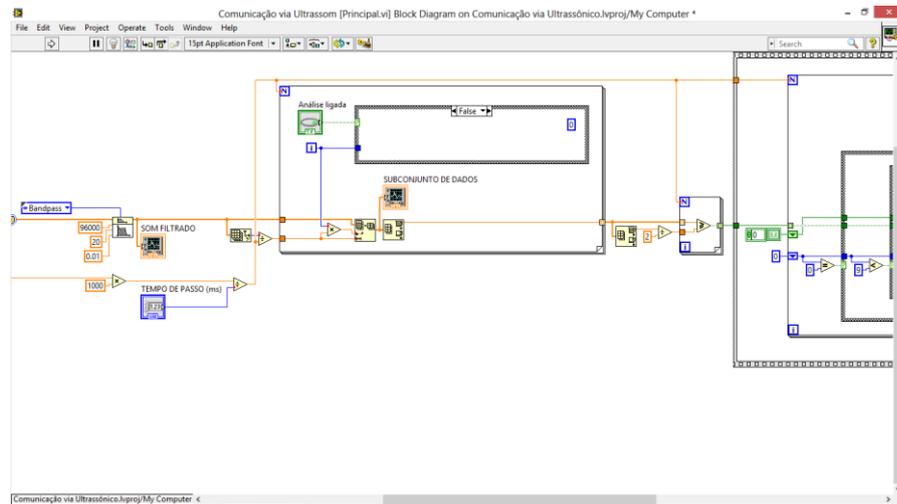


Figura 18 - Código em LabView.

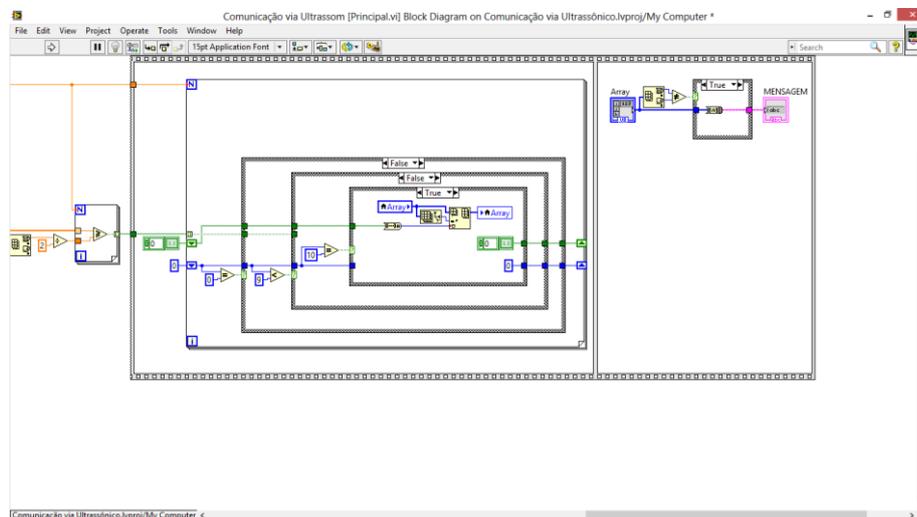


Figura 19 - Código em LabView.

De acordo com os testes feitos, o principal erro encontrado foi o de o microfone do PC ser de uma circunferência muito pequena, este dispõe de uma capacitância e uma resistência de tal forma que o sinal lido é muito pequeno para a capacitância do microfone, ou seja, toda a tensão de entrada é perdida na própria resistência do microfone.

Sabendo que o microfone do PC não suporta o infrassom, por ser de uma frequência muito baixa, como dito acima, uma outra alternativa de recepção foi utilizar um microfone dinâmico mas com função dinâmica inoperante, pois o microfone possui um filtro que corta o sinal de entrada, isso no modo ligado.

Trabalhando com esta recepção, os resultados encontrados foram que a resposta do sistema era muito lenta, ou seja, a comunicação foi muito lenta. Se era lido uma palavra de 5 letras, em 0,5 segundos, a condição de máxima transferência era de 55 bits/20, isso quer dizer que para 20Hz, a leitura de uma palavra de letras era de aproximadamente 2,75 segundos, para ΔT igual a zero.

Essas conclusões foram tomadas considerando que o infrassom estivesse sendo de fato detectado, num intervalo de 0,01Hz e 20 Hz, onde as leituras foram feitas com o PC (receptor) no solo, recebendo picos de vibrações instrumentais (autofalante gerando apenas um pulso de vibração) e movimentos de objetos que reproduzem ventanias.

Como basicamente qualquer coisa pode gerar infrassom, o sinal recebido era muito ruidoso, fez-se a aplicação dos filtros digitais Passa-Baixa, e o melhor encontrado foi o Chebyshev. O interessante do Labview é que os filtros já estão prontos em blocos, agilizando o processo dos testes.

Como a comunicação é mais lenta, os picos de tensão passam despercebidos, e acabam não sendo lidos pelo programa. Mas, como pode se ver na Figura 16, os picos da onda não garantem que é um nível lógico alto, ou seja, uma informação válida da comunicação, e mesmo com o filtro, não é conclusivo que os sinais recebidos são das fontes utilizadas.

Sendo assim, a aplicação na robótica não pôde ser bem sucedida, pois a comunicação via infrassom não foi feita de modo a cumprir as questões do protocolo discutida no projeto.

CAPACITANCIA, MICROFONES COM CAPACITANCIA BEM ALTA, OS QUE SÃO PRÓPRIOS PRA INFRASSOM.

CONCLUSÃO

Trabalhar com o som audível merece atenção no seguinte quesito: suas condições de contorno serem atendidas da forma mais correta possível. Montar um protocolo de comunicação requer, entre tantos outros fatores, que suas condições de funcionamento atuem de acordo com o aprendido na teoria, pois qualquer coisa pode influenciar no envio de informação.

As ondas sonoras, sejam elas inaudíveis ou audíveis, estão sujeitas a muitos tipos de desinformações virtuais. O objetivo do projeto seria tentar eliminar os ruídos da comunicação encontrados na transmissão de dados na faixa de som audível. Mas como visto em testes de análise no decorrer do projeto, o sinal infrassônico é, também, bastante ruidoso, tendo em vista as condições executadas no trabalho.

Para poder concluir que os dados que percorrem uma determinada distância, na faixa abaixo de 20 Hz (Infrassom), muitas alternativas tiveram que ser consideradas, como o modo de transmissão do sinal e o modo de recepção deste sinal infrassônico. Muita coisa interfere nos resultados, como o local da comunicação, os instrumentos de execução para cada envio e recepção de dados, pois muitas coisas alteram as formas de onda resultantes, mesmo estas estando sob as mesmas condições de ambiente.

Em meio a tantos problemas encontrados no decorrer desta iniciação científica, os testes indicaram que comunicar via infrassom, se dá de forma lenta, neste caso, sendo menos eficiente que a comunicação via som audível, valendo ressaltar que está se considerando que foi captado infrassom nos dados transmitidos, por meio do microfone dinâmico. Se os dados forem somente ruídos, nada pôde ser aproveitado, com os meios disponíveis no projeto.

De acordo com as pesquisas, a fonte de infrassom foi o maior problema a ser encontrado, pois nenhuma alternativa tomou discerniu de forma conclusiva de onde estava vindo o infrassom, ou seja, qualquer fonte utilizada recebia interferência do meio ambiente.

Muitas dificuldades provenientes sobre o tópico acima determinaram as conclusões do projeto, contribuindo nos resultados dos objetivos do projeto.

Por isso, vários instrumentos tiveram que ter sido testados de forma a atender o protocolo de informação.

Lidar com infrassom pode até melhorar uma transmissão, mas como este efeito é um ramo novo de estudo, ou melhor, não tão explorado, como o som audível ou o ultrassom, estudar um meio de comunicar via infrassom poderia contribuir de forma positiva o envio de dados, no que se diz respeito a ruídos, distâncias ou tempo de transmissão. Pode-se dizer que este foi um passo importante para o estudo desta faixa de som, visando continuar sempre o assunto deste projeto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente, aos orientadores que ajudaram em todo o processo do projeto, bem como a ajuda de qualquer pessoa que ajudou direta e indiretamente com a realização desta iniciação científica.

BIBLIOGRAFIA

- Halliday, David; Fundamentos de física, volume 4: Óptica e física moderna; 8 edição; - Rio de Janeiro; LTC, 2009;
- Dickey, J. T.; Mikhael W. B. *An Adaptive Technique for Isolating the Seismic Response of an Infrasound Sensor*. 2010. p. 4. Artigo científico com ênfase em engenharia elétrica e em ciência da computação - University of Central Florida Orlando.
- PIERZGA, R.; BOCZAR, T. *Analysis of low-frequency acoustic signals emitted by low-power vertical axis wind turbine VAWT*. 2013. p. 6. Artigo Científico em ênfase em Engenharia Elétrica em automação e controle e Ciência da Computação - Opole University of Technology Opole, Poland.
- CLEMINS, P. J.; Johnson M. T. *Application of Speech Recognition to African Elephant (*loxodonta africana*) Vocalizations*. 2003. p. 4. Artigo Científico com ênfase em Speech and Signal Processing Lab Marquette University - Milwaukee, WI USA
- WEI, W.; xinjian S. *Dynamic Fuzzy Clustering for Infrasound as A Precursor of Earthquakes*. 2010. p. 5. Artigo Científico com ênfase em Geologia – Beijing, China.
- CHILO, J.; LINDBLAD, T. *Real-Time Signal Processing of Infrasound Data Using 1D Wavelet Transform on FPGA Device*. 2007. p. 5. Artigo Científico com ênfase em engenharia elétrica de telecomunicações - University of Gavle, Sweden.
- YANJIE W.; BAOQIANG W.. *Design of Lightning Location System Based on Photon and Infrasound Detection*. 2007. p. 4. Artigo Científico com ênfase em Engenharia Elétrica Eletrônica - Sichuan Province, China.
- MALEC T.; BOCZAR T. *Analysis of infrasound noise emitted by high power wind turbine with asynchronous generator for selected resonant and median frequencies*. 2013. p. 5. Artigo Científico com ênfase em Engenharia elétrica em automação e controle e Ciência da Computação - Opole University of Technology Opole, Poland.
- MALEC T.; BOCZAR T. *Analysis of infrasound noise emitted by high-power wind turbine with synchronous generator*. 2013. p. 6. Artigo Científico com ênfase em Engenharia elétrica em automação e controle e Ciência da Computação - Opole University of Technology Opole, Poland.
- SILVA, C. R. *Transmissão de sinal sonoro por laser*. 2006. p.19. Trabalho de pesquisa na área de Tópicos em Ensino de Física-UNICAMP.
- MIN H. J.; DRENNER A.; PAPANIKOLOPOULOS N. *Vision-based Leader-Follower Formations with Limited Information*. 2009. p. 6. Artigo Científico em ênfase Engenharia e Ciência da computação – Minnesota Minneapolis - USA.
- Floyd, T. L. *Princípios de Circuitos Elétricos*. 7a Ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002

- DINIZ, P. S. R., da SILVA, E. A. B. e LIMA NETTO, S. *Processamento Digital de Sinais*. Bookman, 2004.
- BAPTISTA Manuel A. E.; AFONSO, Ernesto R. *Processamento Digital de Sinal*. Viseu, ISV – Instituto Superior Politécnico de Viseu, 2004.

