

CENTRO PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA SANTO ANDRÉ  
TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA AUTOMOTIVA

EDUARDO MARINI ARMELIN

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO ULTRASSOM COMO TÉCNICA PARA  
A VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE NA MANUTENÇÃO AUTOMOTIVA**

Santo André

2018

EDUARDO MARINI ARMELIN

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO ULTRASSOM COMO TÉCNICA PARA  
A VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE NA MANUTENÇÃO AUTOMOTIVA**

*Monografia apresentada ao Curso de  
Tecnologia em Eletrônica Automotiva da  
FATEC Santo André, como requisito parcial  
para conclusão do curso em Tecnologia em  
Eletrônica Automotiva.*

*Orientadora: Profa. MSc Suely Midori Aoki*

Santo André

2018

## LISTA DE PRESENÇA

SANTO ANDRÉ, 15 DE DEZEMBRO DE 2018.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA "ESTUDO  
DA VIABILIDADE DO ULTRASSOM COMO TÉCNICA PARA  
VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE NA MANUTENÇÃO  
AUTOMOTIVA" DO ALUNO DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

## BANCA

PRESIDENTE:

PROF. SUELY MIDORI AOKI

MEMBROS:

PROF. FERNANDO GARUP DALBO

PROF. JOSÉ DOS SANTOS GARCIA NETO

ALUNOS:

EDUARDO MARINI ARMELIN

A728e

Armelin, Eduardo Marini

Estudo da viabilidade do ultrassom como técnica para a verificação da qualidade na manutenção automotiva / Eduardo Marini Armelin. - Santo André, 2018. – 78f.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.  
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2018.

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Suely Midori Aoki

1. Eletrônica. 2. Ultrassom. 3. Manutenção. 4. Veículos. 5. Falhas. 6. Funilaria. 7. Pintura. 8. Microcontrolador PIC. 9. Sistemas eletrônicos. I. Estudo da viabilidade do ultrassom como técnica para a verificação da qualidade na manutenção automotiva.

621.389

Dedico este trabalho a minha família  
e docentes que sempre estiveram  
próximos durante esta jornada.

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer a todos aqueles que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho e principalmente aos docentes que mantiveram estímulos nos momentos mais árduos desta jornada. Agradeço aos professores, colaboradores e funcionários da Fatec Santo André que sempre estiveram prontos a me ajudar. Agradeço ainda aos meus familiares que me apoiaram durante o tempo que dediquei nesse trabalho e ao tempo que estive na Fatec Santo André.

*“It's a long way to the top if you wanna rock  
'n' roll.”*

*AC/DC*

## RESUMO

Os veículos automotivos nos dias de hoje não apresentam uma forma precisa e eletrônica de apontar ou identificar falhas na manutenção automotiva como no caso da funilaria e pintura. Uma das informações que poderia auxiliar na precisão do conhecimento sobre uma manutenção efetuada na funilaria seria conhecer a espessura do material utilizado na restauração, bem como o tipo de material.

Este trabalho objetivou estudar uma série de fatores para verificar a viabilidade da utilização do ultrassom para reconhecimento de diversos tipos de materiais utilizados nos reparos de funilaria e pintura automotiva (poliéster, poliuretano, polietireno).

Neste trabalho foi utilizado um sensor ultrassônico adaptado para obter leituras de transmissão do som através de corpos de prova de diferentes materiais e espessuras; o sinal proveniente deste sensor foi analisado por um sistema eletrônico didático, utilizado ao longo do curso de Eletrônica Automotiva da Fatec Santo André, com microcontrolador PIC 18F4550 e software desenvolvido especificamente para o caso, cuja saída foi enviada para um osciloscópio. Os resultados mostraram que, com o ultrassom atravessando diferentes corpos de prova, consegue-se obter informações sobre os diferentes tipos de materiais e espessura, confirmando a viabilidade desta técnica.

**Palavras-chaves:** ultrassom, manutenção automotiva, PIC 18F4550



## **ABSTRACT**

Automotive vehicles these days do not present a precise and electronic way of pointing out or identifying failures in automotive maintenance as in the case of the shop and painting. One of the information that could help in the accuracy of the knowledge about a maintenance done in the shop would be to know the thickness of the material used in the restoration as well as the type of material.

This work aimed to study a series of factors to verify the feasibility of the use of ultrasound for the recognition of different types of materials used in automobile paint shop (polyester, polyurethane, polystyrene) repairs.

In this work an ultrasonic sensor adapted to obtain sound transmission readings through test specimens of different materials and thicknesses was used; the signal coming from this sensor was analyzed by a didactic electronic system, used during the course of Automotive Electronics of Fatec Santo André, with microcontroller PIC 18F4550 and software developed specifically for the case, whose output was sent to an oscilloscope. The results showed that, with ultrasound traversing different test specimens, it was possible to obtain information about the different types of materials and thickness, confirming the viability of this technique.

**Keywords:** Ultrasound, Automotive Maintenance, PIC 18F4550

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Foto de John William Strutt.....	16
Figura 2 – Foto dos irmãos Pierre e Jacques Curie.....	18
Figura 3 – Exemplo de onda senoidal.....	19
Figura 4 – Infrassom, som e ultrassom.....	20
Figura 5 – Exemplo de reflexão do som.....	21
Figura 6 – Exemplo de Reverberação.....	22
Figura 7 – Efeito de Refração.....	23
Figura 8 – Exemplo de Impedância Acústica.....	24
Figura 9 – Exemplo de refração em meios diferentes.....	25
Figura 10 – Exemplo de onda com interferência e em discordância.....	28
Figura 11 – Comprimento de onda e amplitude.....	29
Figura 12 – Frequência de uma onda.....	30
Figura 13 – Fórmula de Frequência e Período.....	31
Figura 14 – Exemplo de Onda com interferencia e em discordância.....	31
Figura 15 – Exemplo de Velocidade de propagação.....	32
Figura 16 – Intensidade de uma onda.....	33
Figura 17 – Estrutura Molecular do Poliéster .....	34
Figura 18 – Esqueleto do Poiuretano.....	36
Figura 19 – Sistema homogêneo e heterogêneo.....	38
Figura 20 – Exemplo de Ensaio Ultrassônico.....	39
Figura 21 – Exemplo do Método Pulso-ECO.....	41
Figura 22 – Layout da Placa ECU Acadêmica.....	42
Figura 23 – Placa ECU Acadêmica.....	43
Figura 24 – Circuito de uma fonte reguladora de tensão.....	43
Figura 25 – PIC 18f4550/18f4455.....	44
Figura 26 – Display LCD 16x2.....	45
Figura 27 – Sensor Ultrassônico HC-SR04.....	46
Figura 28 – Sensor Ultrassônico.....	47
Figura 29 – Funcionamento do Sensor Ultrassônico.....	48
Figura 30 – Processo de Compilação.....	51
Figura 31 – Sistema de Sensoriamento.....	53
Figura 32 – Canaleta Acrílica.....	54
Figura 33 – Forma vazada quadricular de alumínio.....	55
Figura 34 – Corpos de Prova de Poliester.....	56

Figura 35 – Corpos de Prova de Poliuretano.....	56
Figura 36 – Corpos de Prova de Poliestireno.....	57
Figura 37 – Forma de Onda fornecida pelo HC-SR04.....	58
Figura 38 – Formas de Onda do Primeiro Corpo de Prova.....	59
Figura 39 – Formas de Onda do Segundo Corpo de Prova.....	60
Figura 40 – Representação de Reflexão e Absorção.....	61
Figura 41 – Formas de Onda do Terceiro Corpo de Prova.....	61
Figura 42 – Formas de Onda do Primeiro Corpo de Prova do Segundo material.....	63
Figura 43 – Formas de Onda do Segundo Corpo de Prova do Segundo material.....	64
Figura 44 – Formas de Onda do Terceiro Corpo de Prova do Segundo material.....	65
Figura 45 – Formas de Onda do Primeiro Corpo de Prova do Terceiro material.....	67
Figura 46 – Formas de Onda do Segundo Corpo de Prova do Terceiro material.....	68
Figura 47 – Formas de Onda do Terceiro Corpo de Prova do Terceiro material.....	69

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Análise das Formas de ondas do Primeiro Material.....	62
Gráfico 2 – Análise das Formas de ondas do Segundo Material.....	66
Gráfico 3 – Análise das Formas de ondas do Terceiro Material.....	70
Gráfico 4 – Comparativo das Formas de Onda do Todos os Corpos Materiais.....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Impedância dos Materiais.....	27
Tabela 2 – Espessura dos Corpos de Prova.....	57

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>Objetivo .....</b>	<b>15</b>
<b>Estruturação .....</b>	<b>15</b>
<b>2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....</b>	<b>16</b>
2.1 A História do ultrassom .....	16
2.2 Definição de som .....	18
2.3 Reflexão do som .....	20
2.4 Reforço .....	21
2.5 Reverberação .....	21
2.6 Eco .....	22
2.7 Refração .....	23
2.8 Impedância Acústica .....	25
2.9 Característica da onda sonora .....	28
2.10 Comprimento de uma onda .....	29
2.11 Amplitude de uma onda.....	29
2.12 Frequência de uma onda.....	29
2.13 Período de uma onda .....	30
2.14 Interferência .....	31
2.15 Velocidade de propagação da onda .....	31
2.16 Intensidade de uma onda sonora .....	32
2.17 Ensaio não destrutivo e Caracterização de material .....	33
2.17.1 Tipos de materiais para ensaio .....	34
Poliéster .....	34
Poliuretano .....	36
Poliestireno .....	36
2.18 Monitoramento não invasivo de processos industriais .....	38
2.19 Ensaio Ultrassônico.....	39
2.19.1 Método Transmissão-Recepção.....	40
2.19.2 Método Pulso-Eco .....	40
2.20 Sistema de Aquisição .....	41
2.21 Placa ECU Acadêmica .....	42
2.21.1 Fonte Reguladora de Tensão.....	43

2.21.2 Microcontrolador.....	43
2.21.3 Display de LCD 16x2.....	44
2.22 Materiais Piezoelétricos para equipamentos ultrassônicos .....	45
2.23 Sensor Ultrassônico .....	46
2.23.1 Especificações Técnicas do Sensor Ultrassônico HC-SR04 .....	47
2.23.2 Funcionalidade do Sensor HC-SR04 .....	47
2.24 Linguagem de Programação .....	48
2.24.1 Exemplos de Linguagens .....	49
2.24.2 Tipos de Linguagem .....	49
2.24.3 Linguagem C .....	50
Características da linguagem C.....	51
2.24.4 Compilador .....	51
<b>3 MATERIAIS UTILIZADOS .....</b>	<b>52</b>
<b>4 METODOLOGIA .....</b>	<b>53</b>
(A) Modificação do sensor HC-SR04.....	54
(B) Placa de Aquisição .....	54
(C) Osciloscópio .....	55
(D) Corpos de prova .....	55
<b>5 RESULTADOS OBTIDOS .....</b>	<b>58</b>
Teste com o Poliéster.....	59
Teste com o Poliuretano.....	63
Teste com o Poliestireno .....	66
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>72</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>73</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, com a constante adaptação e inovação tecnológica que surge com uma frequência cada vez maior, é intrigante como esta pode ajudar as pessoas no seu cotidiano e em seu meio ambiente em si. O meio automotivo vem se adaptando e se inovando cada vez mais, assim, este trabalho visa o estudo da viabilidade de uma técnica conhecida como ultrassom, agregada a qualidade da manutenção automotiva para tentar somar algum valor para as pessoas dentro deste contexto.

O foco está em como o ultrassom pode mostrar informações sobre a manutenção automotiva quanto ao tipo de material utilizado e espessura da restauração, quesitos importantes na qualidade da manutenção automotiva, principalmente a funilaria e a pintura.

Sabemos que o som muda de direção de propagação pelo fato de passar de um meio material para outro, assim, analisaremos algumas características, como a velocidade de propagação de um tipo de onda sonora, o ultrassom, assim como a sua frequência, o comprimento da onda incidente e como a persistência acústica afeta o meio estudado.

- **Objetivo**

Estudar a viabilidade de um sistema capaz de detectar diversas espessuras e composição de materiais diversos que constituem a estamparia de um veículo por meio de ultrassom como técnica para a verificação da qualidade na manutenção automotiva.

- **Estruturação**

O documento está dividido em sete capítulos.

No primeiro capítulo apresenta-se a justificativa para desenvolvimento do projeto e uma introdução ao projeto, expondo uma contextualização e apresentando a problemática conhecida, assim como o objetivo.

No segundo capítulo é realizado um estudo geral sobre os fundamentos teóricos que embasam o nosso projeto.

No terceiro capítulo apresenta-se os materiais utilizados para a realização desse trabalho

No quarto capítulo encontra-se a metodologia empregada na confecção deste



trabalho.

No quinto capítulo mostra a parte experimental desse trabalho e seus resultados ao longo dos testes realizados

No sexto capítulo se encontra as considerações finais que se chegou ao fim desse trabalho.

Fechando o trabalho, tem-se as referências bibliográficas necessárias para a realização desse experimento.

## 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Vamos inicialmente discorrer sobre a teoria envolvida na formação do ultrassom, que resulta no estudo da viabilidade deste trabalho.

### 2.1 A História do Ultrassom

A história do ultrassom inicia-se em tempos primórdios, onde na natureza encontramos animais que utilizam de técnicas avançadas do som para se locomover ou para a sua própria sobrevivência, como por exemplo, os morcegos e golfinhos que utilizam os sons que emitem como um tipo de sonar para se localizarem, caçarem e fugirem, garantindo a sua sobrevivência.

Voltando ao fato de quem propriamente dito conseguiu fazer um estudo mais detalhado com o tema de “*Teoria do Som*” publicado em 1877, foi o cientista inglês *John William Strutt*, como vemos na Figura 1 que praticamente inaugurou a física acústica moderna [1,2].

Figura 1 – Foto de John William Strutt.



Fonte: Fanáticos pela Ciência, 2017.

Com o conhecimento adquirido referente das técnicas que esses animais utilizam, juntamente com os estudos de John William Strutt, em torno da Primeira Guerra Mundial, esses estudos foram amplamente desenvolvidos e aplicados até os dias de hoje, podemos citar o sonar, utilizado pela marinha, por exemplo, utilizado durante o período da guerra para detectar submarinos inimigos e mapear altitudes ou profundidades para a localização topográfica da região, assim ajudando na localização das tropas em terreno desconhecido.

Temos o ultrassom como uma faixa de som inaudível pelos ouvidos humanos, pois trabalham em uma faixa muito elevada para a decodificação humana dessa frequência, esta que varia acima de 20 kHz, lembrando que ainda existe o infrassom, que são ondas de frequência muito baixa e grave, trabalhando abaixo de 20 Hz, tendo como característica a sua longa propagação sofrendo muito pouco com a variação durante o tempo, assim tendo como intermédio a frequência dos seres humanos, por exemplo [11,12].

Ainda sobre o som podemos dizer que o mesmo possui uma forma de onda longitudinal, onde se aplica somente em meios materiais, pois o som precisa de meio material, pois, é a vibração dos átomos que constituem a matéria. Por exemplo, no ar ocorrem áreas de compressão e descompressão, ondinhas de ar mais comprimido intercalado por ar menos comprimido, sendo ela sólida líquida ou gasosa, assim se propagando na existência da matéria, puxando desta forma outro conceito, onde lembramos que o som não se propaga no vácuo, pois lá não existe matéria para que o som passe a se propagar.

Com esses estudos avançando ao longo do tempo, os irmãos Curie, por volta dos anos 1880, como vemos na Figura 2, descobriu o efeito piezoelétrico sendo esse o efeito de uma pressão mecânica sobre a superfície de certos cristais que são capazes de gerar um potencial elétrico entre superfícies opostas, assim o som que pressiona o piezoelétrico produzindo eletricidade numa frequência superior a 20 kHz esse sendo conhecido como ultrassom [16].

Figura 2 – Foto dos irmãos Pierre e Jacques Curie



Fonte: APS – Physics, 2017.

Os irmãos cientistas também perceberam que a aplicação do ultrassom nos cristais resultava na conversão de energia mecânica em eletricidade e também quando um pulso de ultrassom é direcionado a uma substância, uma parte deste som é refletida de volta a sua fonte com informações sobre o tipo de estrutura que penetrou.

Com o desenvolvimento dos estudos sobre o ultrassom e com a chegada da Segunda Guerra Mundial, foi iniciado então estudos para fins militares que utilizavam a técnica desenvolvida pelos irmãos Curie, como por exemplo, o SONAR (Sound Navigation and Ranging) onde utilizava o som para determinar distâncias na água, e o RADAR (Radio Detection and Ranging) onde se detectava a distâncias através de ondas de rádio utilizando o eco de ondas de rádio para a determinação de distâncias e localização de objetos no ar [11,12,13].

Neste período também se iniciou o desenvolvimento do ultrassom para fins não militares, principalmente na metalurgia que foram considerados precursores dos aparelhos de ultrassonografia utilizados em medicina.

O físico soviético Sergei Sokolov sugeriu o uso do ultrassom para fins industriais, incluindo a detecção de falhas em metais, através da emissão de um pulso ultrassônico que, chegando a um objeto, retorna como um eco, cujas características possibilitam determinar a localização, tamanho, velocidade e textura deste objeto.

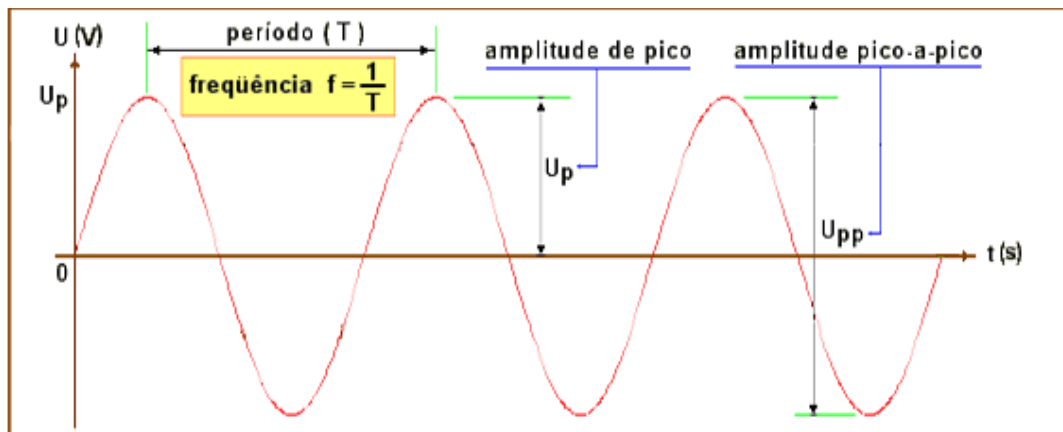
## 2.2 Definição de som

Podemos entender que o som é a propagação da vibração das moléculas por

um meio, seja ele sólido, líquido ou gasoso, para essa propagação podemos denotá-la como sendo uma onda mecânica.

O som seria uma combinação de sinais, onde podemos representar esse resultado dos sinais por uma senoide, onde temos algumas variáveis como a amplitude medida em decibéis e uma frequência que medimos em hertz (HZ), a seguir vêm uma forma de onda senoidal, como podemos ver na Figura 3 [7,8,9].

Figura 3 – Exemplo de onda senoidal.



Fonte: Feira de ciências, 2017.

O som se propaga em frequências diferentes, podemos citar o exemplo do aparelho auditivo dos seres humanos, onde somente uma faixa de frequência é compreendida, esta se encontra entre 20 hertz á 20000 hertz, fora desse intervalo classificamos essas ondas sonoras entre infrassom e ultrassom, respectivamente, lembrando que, fora da faixa citada acima no aparelho auditivo dos seres humanos, essas frequências não provocam nenhuma sensação auditiva, portanto, não ouvimos esses sons [8,9,10].

Os infrassons são frequências menores de 20 hertz, portanto, são sons muito graves, podendo ser propagadas por maiores distâncias, pois não sofrem interferências ou perturbações tais como os ultrassons [2,11].

Já os ultrassons são frequências maiores de 20000 hertz, mesmo sendo frequências altas, os seres humanos não podem identificá-las, porém, ela é amplamente usada, para ensaios não destrutivos como é o exemplo desse trabalho, medir distâncias, identificar topografias, etc [12].

Também podemos citar que os ultrassons são usados por alguns animais para se locomoverem ou se proteger, é o caso dos morcegos e golfinhos, no caso o

morcego e golfinho eles utilizam o efeito eco que será tratado mais a seguir, para se guiarem e caçarem no seu habitat natural [2].

Na Figura 4 temos uma linha comparativa dentre infrassom, som e ultrassom:

Figura 4 – Infrassom, som e ultrassom.



Fonte: Física Atual, 2017.

### 2.3 Reflexão do som

Por definição temos que a reflexão do som seria a propagação de uma onda, depois dela encontrar uma forma de obstáculo onde há o encontro das duas, retornando para o seu ponto de origem de emissão [8,9,15].

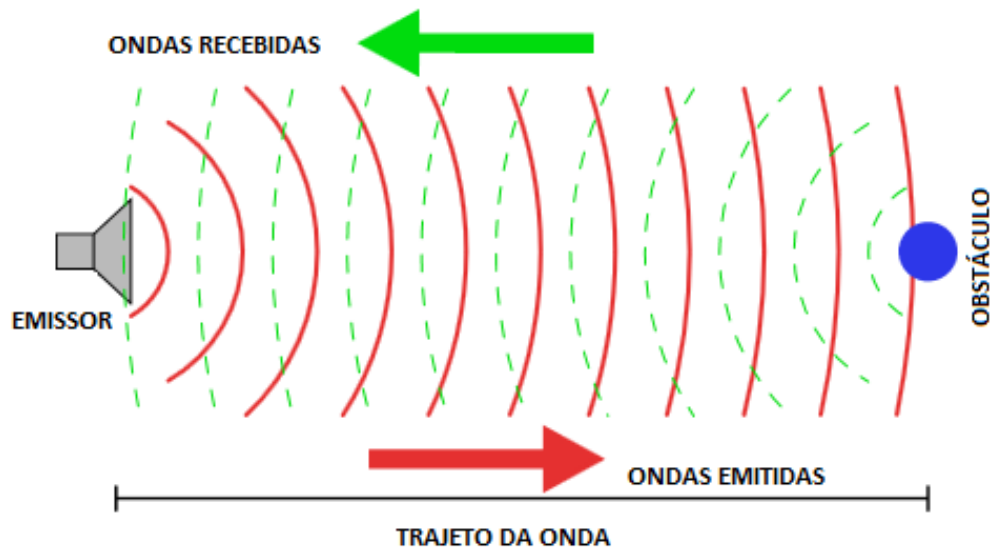
Com um parecer sobre o som e algumas de suas características podemos explanar um pouco sobre os fenômenos sonoros que iremos utilizar na obtenção dos resultados desse trabalho.

Por o som produzir uma onda longitudinal por natureza, devemos observar alguns fenômenos de propagação já que o som não sofre polarização, sofrendo o efeito de reflexão, refração, difração e de interferência, como podemos ver na Figura 5 [4,13,14,15].

Na reflexão podemos dizer que seria o caso de uma onda sonora que quando encontra um obstáculo durante a sua propagação e não podendo contorná-la, essa onda retornará ao encontro ao seu ponto de origem, é importante dizer que esse fenômeno se dá em superfícies de grandes dimensões, isso comparando com a propagação da onda em questão [15].

A partir disso podemos dizer que, como resultado da reflexão surge outros fenômenos sonoros, conhecidos por reforço, reverberação e eco. Isso acontece porque o ouvido humano, por exemplo, só tem a capacidade de interpretar duas ondas breves e sucessivas, se o intervalo em questão for maior que 0,1 de segundo, ocorrendo a persistência auditiva [13,15].

Figura 5 – Exemplo de reflexão do som.



Fonte: Wikipédia, 2017

Podemos ter mais três fenômenos físicos em ação, sendo o reforço, a reverberação e o efeito eco.

#### 2.4 Reforço

Quando temos um som breve e ele atinge o seu objetivo em questão, isso quando ele atinge algo que o excite, por exemplo, no caso do aparelho auditivo dos seres humanos, podemos citar o tímpano, que excitado dentro do intervalo de 0,1s, o som refletido acaba por produzir o fenômeno do reforço, pois o som refletido reforça a excitação que acontece no tímpano e conseqüentemente reforça o som direto que é recebido, assim caracterizando o fenômeno do reforço. Concluímos que o fenômeno do reforço se dá quando o som refletido é recebido no mesmo momento que o som emitido [2,5].

#### 2.5 Reverberação

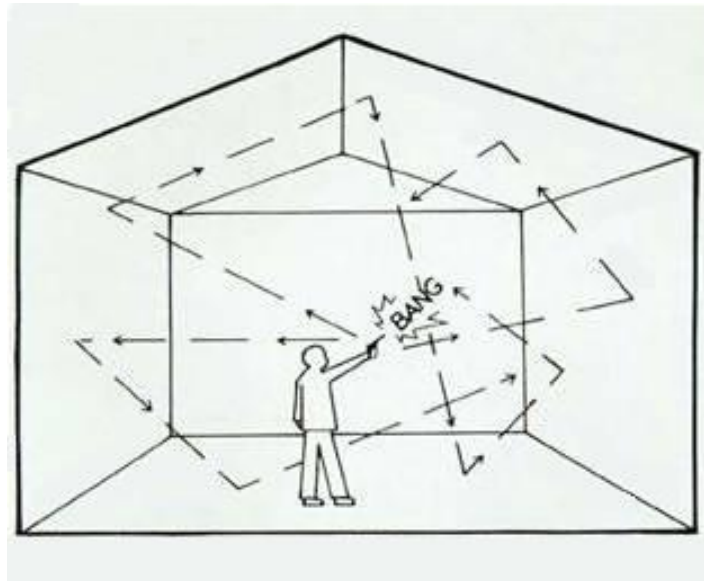
Já no fenômeno da reverberação, podemos dizer que ele acontece quando temos um obstáculo um pouco mais longe do emissor, assim fazendo com que o som emitido juntamente com o som refletido demore um pouco mais que 0,1 de segundo como já foi explicado anteriormente no caso do ouvido humano, assim caracterizamos o fenômeno da reverberação, como podemos ver na Figura 6 [14].

Ainda utilizando o exemplo no aparelho auditivo dos seres humanos, esse efeito pode proporcionar a sensação de perturbação, pois ele gera uma sensação de

confusão, pois o tímpano interpreta que existe um som presente ainda. Explanando para auditórios, esse fenômeno é importante para garantir ao ouvinte a nitidez do que o publico ouviu [13,14].

Esse fenômeno, no trabalho em questão, pode interferir no sinal recebido, porém com a constante inovação tecnológica de hardware e software podemos recriar um ambiente com uma excelência de som se assim for preciso para obtenção dos resultados esperados.

Figura 6 – Exemplo de Reverberação



Fonte: Catarina Niny's Blog –CFQ.

## 2.6 Eco

Esse efeito se caracteriza quando ocorre a absorção do conteúdo de duas ondas sonoras de forma distinta, sendo uma delas a emitida pelo emissor e a outra de origem da reflexão da mesma onda sonora, ocasionada pelos obstáculos que essa onda encontrou pelo caminho [2,19].

Conseguimos isso através da diferença entre duas ondas, ainda aproveitando o exemplo do aparelho auditivo dos seres humanos, se o tempo for maior que 0,1 de segundo temos assim,  $t > 0,1$ .

Para calcularmos o tempo ou a distância do eco de forma matemática, podemos utilizar uma fórmula, que interpreta o tempo entre o obstáculo e o emissor da onda sonora, assim temos:

$$\Delta t = \frac{2d}{v}$$

Na qual:

- $\Delta t$  Representa a unidade de tempo
- $2d$  Representa a distancia de ida e volta da propagação da onda sonora
- $v$  Representa a velocidade da propagação.

## 2.7 Refração

Esse efeito se dá quando temos uma onda sonora passando por outro meio, nesse caso podemos citar água ou o ar, onde sua direção é alterada. Nesse fenômeno as frequências das ondas sonoras não sofrem alteração, porém a sua velocidade e comprimento se modifica, podemos tomar como exemplo desse efeito, o arco-íris [15].

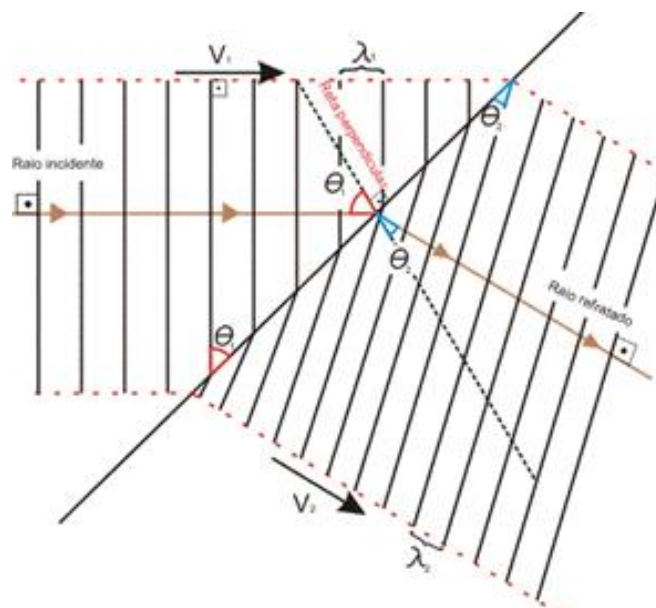
O efeito de refração é baseado em duas leis, são elas:

- **1ª Lei da Refração:** O raio incidente, a reta perpendicular à fronteira no ponto de incidência e o raio refratado estão contidos no mesmo plano.
- **Lei de Snell:** Esta lei relaciona os ângulos, as velocidades e os comprimentos de onda de incidência de refração, sendo matematicamente expressa por:

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

A partir disso podemos entender a refração como visto na Figura 7:

Figura 7 – Efeito de Refração



Fonte: SOFISICA, 2017



Na Figura 7 temos:

$\theta_1$  = ângulo do raio incidente à reta perpendicular

$\theta_2$  = ângulo do raio refratado à reta perpendicular

$v_1$  = velocidade da onda incidente

$v_2$  = velocidade da onda refratada

$\lambda_1$  = comprimento da onda incidente

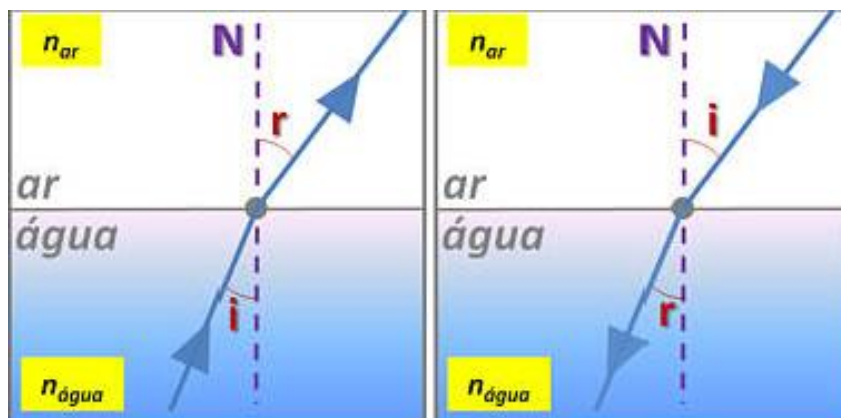
$\lambda_2$  = comprimento da onda refratada

Como dito anteriormente, o som é representado por uma onda mecânica e só transfere energia mecânica por um meio. Para uma onda sonora se deslocar em um meio gasoso, no caso o ar, a onda precisa ter a capacidade de fazer com que as partículas do ar consigam vibrar, isso vale para qualquer outro meio de propagação. Porém todo meio oferece uma resistência à propagação de uma onda sonora, que recebe o nome de impedância, de forma simples ela representa a oposição do meio à passagem da onda sonora, isso pela sua velocidade e frequência que é medida em hertz, onde veremos a seguir.

A seguir veremos que a refração pode mudar a direção de uma onda sonora, mas não tem a capacidade de mudar o seu sentido, a refração ocorre em um meio, podendo ocorrer mais de uma vez em um meio, podemos citar como exemplo o ar, onde nele como sendo o meio de propagação encontra diversas camadas de ar, tendo diferentes temperaturas, conseqüentemente diversas impedâncias ocasionando também, diversas refrações a cada camada que vem de choque com a onda sonora [14,15,20,21].

Podemos exemplificar o fenômeno da refração, usando a refração do ar na água para exemplificar a definição acima.

Figura 8 – Exemplo de refração em meios diferentes



Fonte: FISICAMODERNA, 2017.

Na figura 8 podemos notar outro fenômeno que acontece quando a onda sonora passa por um meio gasoso ou líquido em questão, percebemos que a onda sonora tenta se horizontalizar, isso porque ela tende a se afastar da sua normal, isso dado pelo ângulo que a onda tem em relação ao meio de propagação, pois se o ângulo não for suficiente para a onda sonora penetrar no meio, ela acaba se refletindo, assim concluindo, que a falta de ângulo impede a refração e ocasiona a reflexão [14,15,20,21].

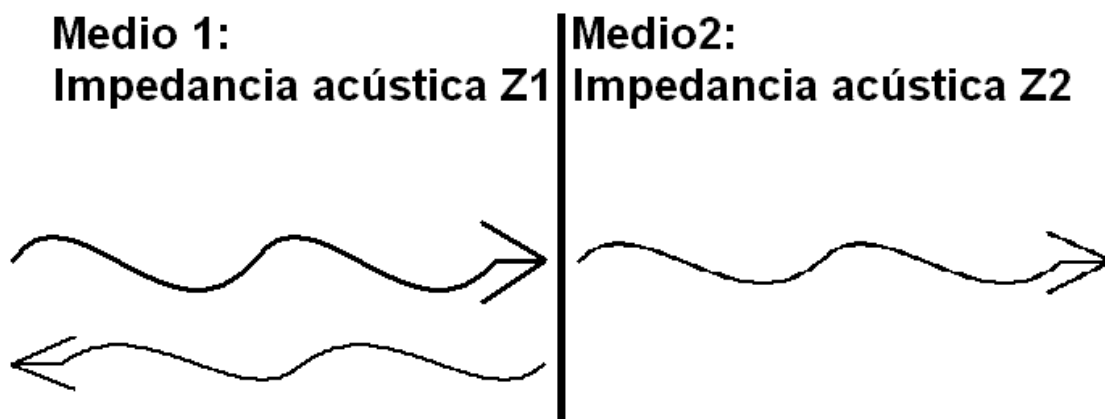
## 2.8 Impedância Acústica

A impedância acústica, simbolizada por **Z**, caracteriza a passagem do som por um meio material, ou seja, indica a resistência que o som sofre ao atravessar o material.

. Podemos mencionar a impedância acústica no caso da água e do ar, pois nesses meios há diferenças nos valores encontrados na densidade e velocidade do som. Esse fenômeno relaciona a força aplicada, pelo som, na área da superfície com o fluxo de som que passa através desta superfície, sendo a impedância mensurada na grandeza de ohms [18].

Podemos concluir que a impedância acústica seria a soma da resistência com a reatância. A seguir vemos um exemplo do fenômeno citado, onde temos uma onda emitida sendo refletida, e, nesse caso, temos uma parte da energia se propagando, como vemos na Figura 9.

Figura 9 – Exemplo de Impedância Acústica.



Fonte: Ipi, 2017

A impedância apresenta outra característica, sendo essa chamada de resistência, e a mesma não sofre interferência da frequência, já a reatância é

relacionada com a frequência, pois a onda se propaga gerando um resultado do movimento, onde esse movimento é dado pela massa e elasticidade do meio de propagação [6].

Se por um lado encontramos a impedância acústica que seria a oposição por um meio, temos também a parte que facilita a passagem da onda sonora, esse denominada de admitância, e essa expressa em mho, onde temos uma inversão proporcional de materiais ou características, pois quando temos uma impedância alta encontramos um valor de admitância baixo, e assim inversamente [13].

Quando temos ondas sonoras atravessando dois materiais diferentes, temos a possibilidade de elas possuírem a mesma impedância acústica, caso isso aconteça, não ocorre o fenômeno da reflexão e a onda é transmitida ao segundo material. Se existir alguma diferença entre as impedâncias acústicas de cada material, esta diferença faz com que ocorra uma maior ou menor reflexão dessas ondas sonoras.

A impedância acústica pode ser interpretada como uma resistência acústica, onde temos interpretações a chamando de reatância acústica, pois se assemelha com a frequência do movimento. Podendo ser interpretada como uma oposição da passagem de uma onda sonora através de um meio.

Assim podemos concluir que a impedância acústica seria a soma da resistência juntamente com a reatância que o meio oferece para a passagem da onda sonora [18].

Podemos expressar a impedância acústica através do quociente que temos entre a pressão sonora e o produto da velocidade do som nesse material ( $v$ ) pela superfície ( $S$ ) através que o som se propaga.

$$Z = p / v.S$$

Como o produto da velocidade pela superfície ( $v.S$ ) tem as dimensões de um volume por segundo, temos a unidade **velocidade volume**. Assim a impedância acústica é dada através da função da frequência. A unidade que designa a impedância acústica é chamada de **Rayl**. Refira-se que tem a mesma designação no sistema MKS, no sistema CGS e no sistema internacional de unidades (SI), embora não tenha o mesmo valor:

$$1 \text{ rayl (CGS)} = 10 \text{ rayl (MKS)} = 10 \text{ rayl (SI)}$$

$$1 \text{ rayl (MKS)} = 1 \text{ rayl (SI)}$$

Sabendo disso, temos a seguir uma tabela que informa a impedância acústica de diferentes materiais, isso dado através de sua densidade. A tabela 1 informa alguns materiais que serão usados no experimento.

Tabela 1 – Impedância dos Materiais.

Material	Densidade g/cm <sup>3</sup>	Impedância acústica, Z (Mrayl) (* ) × 10 <sup>5</sup> g/cm <sup>2</sup> .s
Acetato de vinilo etileno (EVA)	0,94	1,69
Aço (em geral)	7,67 – 8,03	45,4 – 51,0
Aço inoxidável	7,89	45,4
Aço macio	7,80	46,0
Alumínio	2,70	17,33
Ar	1,293	0,0004286
Borracha	0,97	1,56
Borracha	1,00	1,55
Borracha macia	0,95	1,00
Cobre	8,93	41,6 – 44,6
Ebonite	1,11	2,64
Ferro	7,69	25,3 – 46,4
Ferro fundido	7,22 – 7,8	33,2 – 37,4
Isobutileno isopreno (IIR)	1,11	2,0
Madeira Olmo	0,554 – 0,658	0,798
Madeira Sobreiro	0,657 – 0,977	3,6
Policloropreno (CR)	1,31	2,1
Poliuretano (PU)	1,04 – 1,30	1,38 – 2,36
Silicone (RTV)	1,02 – 2,83	0,99 – 1,89
Vidro	2,2 – 3,6	10,1 – 18,9

Fonte: ctborracha.com 2018.

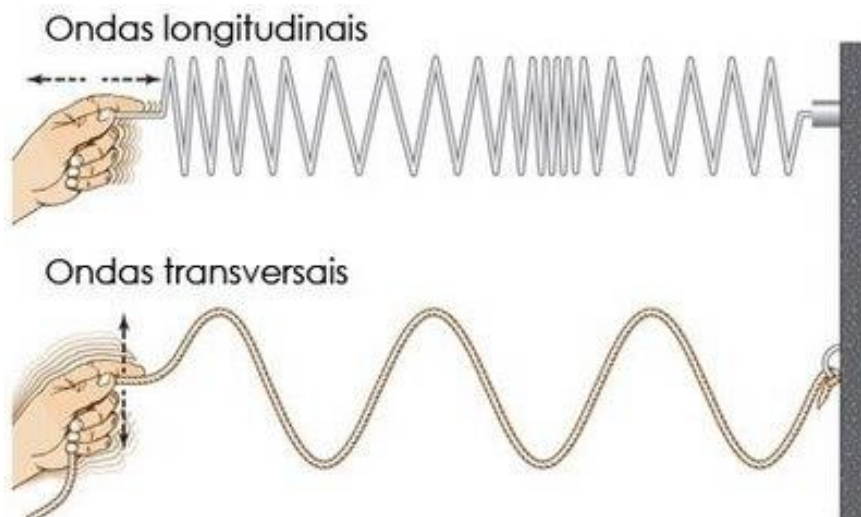
## 2.9 Característica da onda sonora

Por definição temos que uma onda sonora nada mais é que uma perturbação que oscila, sendo que ela é dada por alguma grandeza física no espaço e se reproduz com intervalos de tempos iguais. Essa oscilação se caracteriza pelo o comprimento da onda, assim temos o período da onda que seria o tempo de oscilação de uma forma completa de onda, sendo inverso da frequência [20,21,22].

Em relação as ondas sonoras, dizemos que são ondas mecânicas, como vemos na Figura 10, e podemos classificá-las como sendo:

- **Ondas longitudinais** - são aquelas em que a vibração ocorre na mesma direção do movimento; um exemplo são as ondas sonoras. Na figura ao lado podemos observar que a vibração provocada pela mão, tem a mesma direção da onda (São ambas horizontais).
- **Ondas transversais** - são aquelas em que a vibração é perpendicular à direção de propagação da onda; exemplos incluem ondas numa corda e ondas eletromagnéticas. Na figura ao lado observamos um exemplo onde a vibração provocada é na direção vertical (para cima e para baixo) e a corda desloca-se na horizontal (da esquerda para a direita).(EXPLICATORORIUM, 2017).

Figura 10 – Exemplo de Ondas Longitudinal e Transversal.



Fonte: EXPLICATORORIUM, 2017.

Devemos analisar as ondas sonoras por algumas características que as distingue, essas características são:

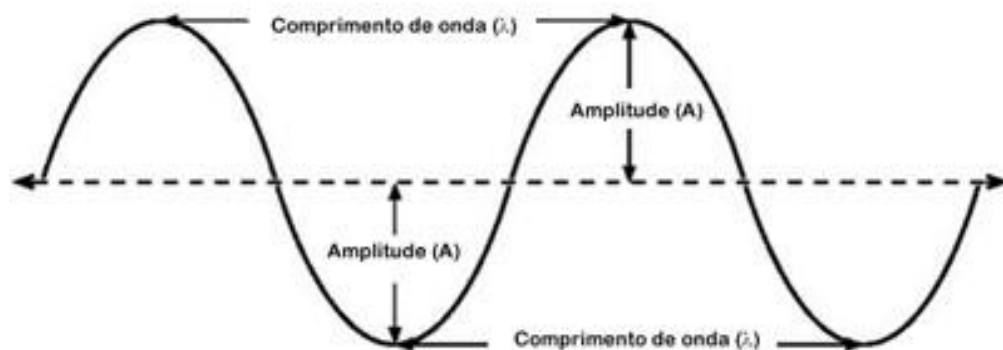
- Comprimento de onda;

- Frequência;
- Amplitude;
- Período;
- Velocidade de propagação.

## 2.10 Comprimento de uma onda

Como definição, temos que o comprimento de uma onda, seja ela sonora ou não, como a distância entre dois pontos, em que eles se repetem, ou seja, formam um ciclo e geralmente é representado pela letra grega  $\lambda$  (lambda). Na figura 11, podemos observar essa característica, onde vemos o ponto mais elevado da onda, que representa o valor de pico e o ponto mais baixo da onda, onde forma o valor total de pico a pico da onda [20,21,22].

Figura 11 - Comprimento de onda e amplitude



Fonte: EXPLICATORORIUM, 2017.

## 2.11 Amplitudes de uma onda

Na figura 11 podemos observar a amplitude representada por (A), onde ela representa o valor de máximo e mínimo da onda, tendo como relação o eixo de equilíbrio, geralmente expressa em decibéis (dB).

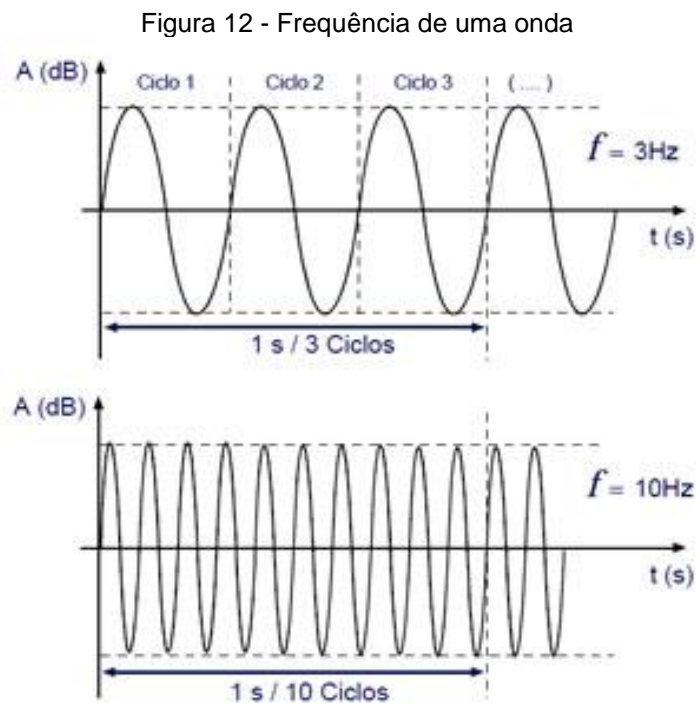
Temos que observar o instante em que a onda é registrada, pois a sua propagação por diversos meios sofre um amortecimento, por causa da transferência de energia utilizada pelo meio [6,7,8,9,22,23].

## 2.12 Frequências de uma onda

Como definições voltadas à física têm que a frequência é o número de ciclos, voltas ou rotações durante um intervalo de tempo. Da frequência de uma onda

podemos medir o período de uma onda, de modo que a frequência é o inverso do período [7,8,9].

Na figura 12 temos dois exemplos de ciclos, onde na onda de cima observamos três ciclos, isso quer dizer que a onda se repete três vezes, isso durante um tempo, nesse caso em um segundo, portanto, a sua frequência é de 3 Hz (Hertz), logo na segunda onda temos uma frequência referente de 10 Hz (Hertz), pois varia 10 vezes em um segundo.



Fonte: EXPLICATORORIUM, 2017.

### 2.13 Período de uma onda

Temos como período o intervalo de tempo necessário para que se tenha uma oscilação completa ou ciclo, tendo como sua medida internacional (SI), o segundo (s). Na figura acima, observamos que a onda tem um tempo para completar o seu ciclo, que no caso seria  $1/3$  s, pois como foi dito antes ela tem 3 ciclos em cada segundo [22,23,24].

Podemos calcular o período através da frequência, demonstrado na Figura 13, utilizando a fórmula:

Figura 13 – Fórmula de Frequência e Período

$$f = \frac{1}{T} \qquad T = \frac{1}{f}$$

$f$  - **Frequência** da onda (Hz)

$T$  - **Período** da onda (s)

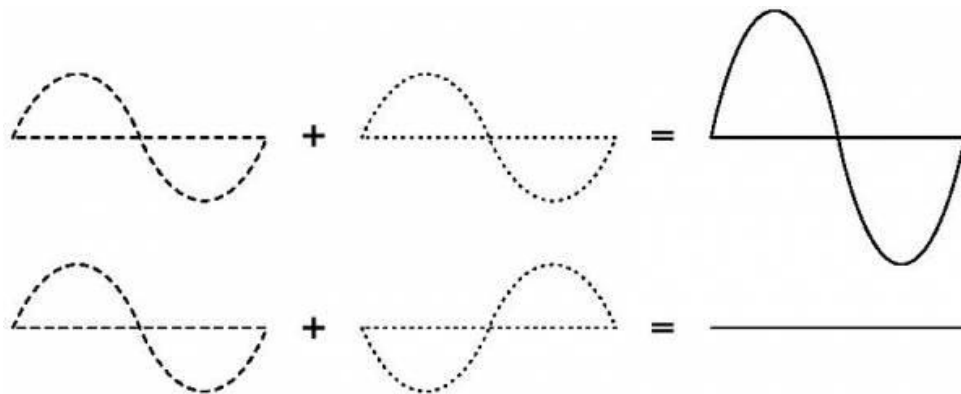
Fonte: Yduka, 2017.

## 2.14 Interferência

Esse fenômeno se caracteriza pela superposição de ondas sonoras, isso se dá quando duas ondas sonoras ao mesmo tempo e no mesmo ponto produzem ondas coincidentes tendo como resultado a soma de seus efeitos, como visto na Figura 14 [21,22,25].

Porém se seu efeito está em discordância, isto é, se uma das ondas exerce uma compressão em um ponto e a outra onda tem como efeito uma rarefação, isso acaba por neutralizar a combinação dos seus efeitos, e como consequência dessa neutralização as duas ondas acabam por provocar um silêncio que seria a anulação desse efeito.

Figura 14 – Exemplo de onda com interferência e em discordância.



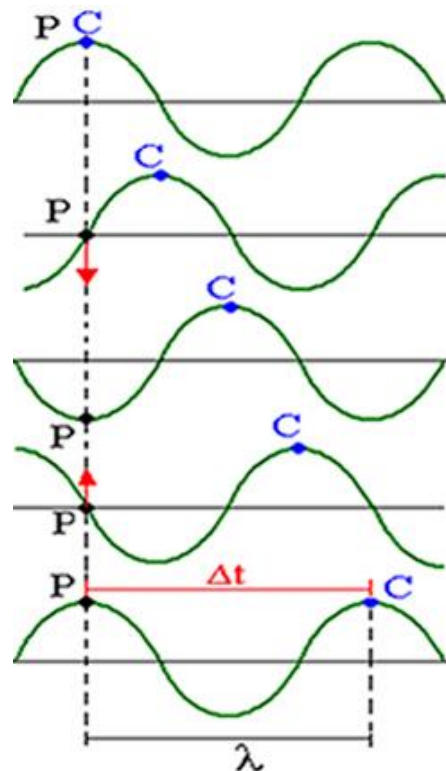
Fonte: EDUCACHILE, 2017.

## 2.15 Velocidade de propagação da onda

Entendemos como sendo a velocidade de propagação de uma onda, como sendo o quanto ela é rápida para se propagar em um determinado meio. Como a velocidade não interfere na quantidade de matéria que transporta, pois não transportam matéria, podemos dizer que a sua velocidade é contínua [25,26].



Figura 15 - Exemplo de Velocidade de propagação



Fonte: MUNDOEDUCAÇÃO, 2017.

A velocidade de propagação depende de duas variáveis, são elas a distância percorrida pela onda e o seu intervalo, isso determinado pelo tempo que a onda vai demorar para percorrer essa distância, como demonstrado na Figura 15 [13,22,25].

Para podermos calcular a velocidade de propagação, utilizamos a seguinte fórmula:

$$c = \lambda v$$

$c$  = velocidade de propagação (m/s)

$\lambda$  = comprimento de onda (m)

$v$  = frequência (Hz)

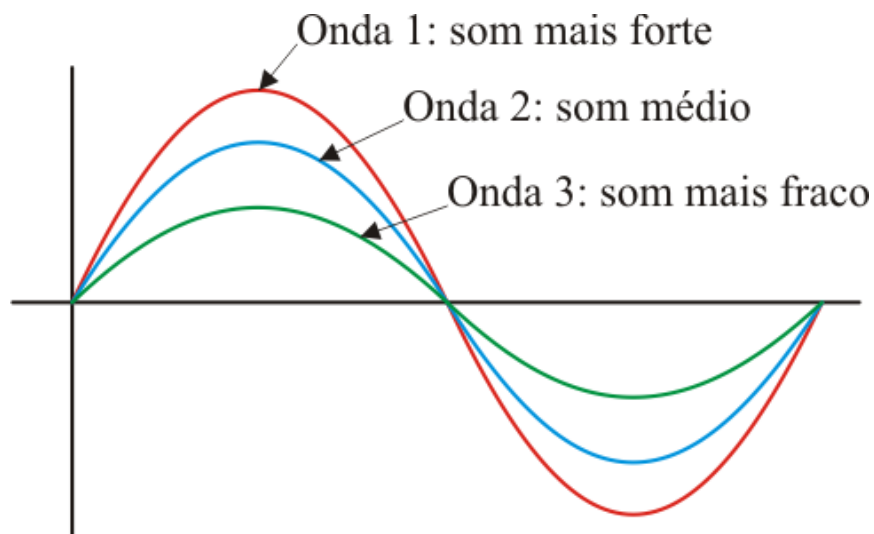
## 2.16 Intensidade de uma onda sonora

Podemos dizer que a intensidade de uma onda é a definida por ela ser denominada forte ou fraca, isso em variação da sua amplitude de vibração, isso quer

dizer que quanto maior a amplitude, mais forte será a onda e inversamente com uma amplitude menor [24,25].

A seguir, na figura 16, vamos ver um exemplo de três ondas, sendo a onda um a que contém o som mais forte, pois tem amplitude maior, até a onda três que possui a menor amplitude.

Figura 16 – Intensidade de uma onda



Fonte: O BARICENTRO DA VIDA, 2017.

Sabemos que as ondas sonoras carregam energia através de um meio, e quanto mais energia por tempo essa onda carrega maior será a intensidade desse som.

Geralmente não se usa unidades de intensidade sonora, pois sua grandeza é o bel, tendo o seu submúltiplo de decibel (dB), sendo assim ela possui um nível de intensidade sonora [13].

Temos que saber que a intensidade de uma onda diminui conforme o som se propaga isso quer dizer que, quanto mais longe da fonte, menor será a intensidade desse som e assim vice e versa.

## 2.17 Ensaio Não Destrutivo e Caracterização de Materiais

Os ensaios não destrutivos são utilizados para verificar a integridade estrutural em teste de materiais e em equipamentos, sendo uma técnica utilizada com frequência, pois consegue analisar diversas características como o controle da

qualidade, monitorar diversas degradações, como equipamentos, componentes e estruturas, como trincas, mudança de microestruturas ou tensões residuais.

O ensaio não destrutivo pode variar conforme a falha que se deseja monitorar e do material que é utilizado, onde são empregados métodos de amplitude, fase e frequência, podendo se aplicar algoritmos específicos para se obtenha os parâmetros desejados para a detecção de falhas [2,3].

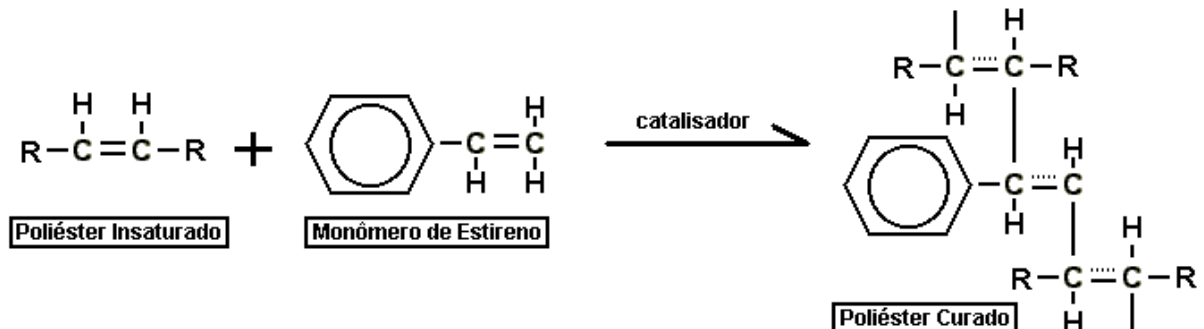
### 2.17.1 Tipos de Materiais para Ensaio

#### Poliéster

O poliéster pode ser considerado como uma resina, que possui uma resistência para diferentes agentes químicos e humanos, o que permite que ele seja utilizado de forma abrangente.

O poliéster pertence a uma categoria dos polímeros que é constituído de éster na sua cadeia principal, como podemos ver na Figura 17:.

Figura 17 – Estrutura Molecular do Poliéster



Fonte: silaex.com.br, 2018.

A partir da sua estrutura química, poliéster pode adquirir duas possibilidades, o poliéster pode ser um termoplástico, um polímero artificial, como se fosse um plástico, que a partir de certa temperatura, tem alta viscosidade, podendo ser moldado e conformado, ou pode ser termoendurecido que também são plásticos, sendo um polímero artificial, onde sua rigidez não muda conforme a temperatura.

Os poliésteres podem existir em produtos químicos ou encontrados na natureza, sendo poliésteres naturais, esses poliésteres e alguns sintéticos são biodegradáveis, porém a maioria dos poliésteres químicos não é.

Como é o caso do verniz, que é utilizado em acabamento em madeiras de alta qualidade, como em instrumentos musicais, barcos e em veículos automotores. Depois de secar, esses vernizes a base de poliéster podem ser lixados e polidos, sendo utilizado devido á suas propriedades mecânicas e pela sua resistividade a elevadas temperaturas.

Alguns tipos de fibras de poliéster apresentam um alto índice de energia que podem absorver antes de se quebrar e um alto nível de rigidez, além de uma baixa taxa de absorção tanto de humidade e de encolhimento, por isso apresenta um alto valor de usabilidade.

Assim temos a apresentação dos poliésteres insaturados, que são definidos como:

*“Os poliésteres insaturados são ésteres complexos formados pela reação de um diálcool (glicol) e um anidrido ou ácido dibásico (diácido) com liberação de uma molécula de água”. Em virtude de a reação ocorrer nas duas extremidades da cadeia, é possível ter moléculas muito compridas e obter-se uma multiplicidade de grupos éster.*

*O poliéster insaturado é produzido quando qualquer dos reagentes contém insaturações. A denominação insaturada é proveniente da presença de duplas ligações presentes na sua cadeia molecular. A insaturação do poliéster é fornecida, geralmente, pelo ácido ou anidrido maleico, assim como pelos seus isômeros, ácido fumárico.”.*

Os poliésteres insaturados são resinas que sofrem processo químico de termoendurecíveis. Elas são usadas como materiais para fundição, resinas de fibra de vidro e betumes de enchimento para automóveis.

Tendo seu estado inicial como líquido, e podendo se transformar em estado sólido através de reagentes, onde se torna um material altamente rígido e podendo substituir até materiais rígidos como o aço e o concreto.

O poliéster apresenta algumas desvantagens e cuidados ao manuseá-lo entre esses podemos citar:

- Inflamável;
- Provoca queimaduras;
- Risco aos olhos: causando vermelhidão, inchaço e ardência;
- Inalação: causa irritação ao sistema respiratório.

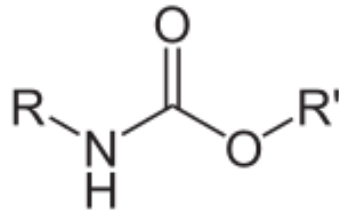
## Poliuretano

Os Poliuretanos são representados pela sigla PU, e eles são pertencentes ao grupo dos polímeros, sendo uma cadeia de unidades orgânicas unidas por ligações químicas de uretanos.

O poliuretano, ou simplesmente uretano, são diferentes dos outros tipos de borrachas pela sua estrutura e pela sua processabilidade e são usados em espumas rígidas e flexíveis, em adesivos de alto desempenho, em selantes, em fibras, vedações, carpetes, peças de plástico rígido e tintas.

Os poliuretanos tem este nome porque são formados por unidades de uretano, ou carbamidato, como demonstrado na figura 18.

Figura 18 - Esqueleto do poliuretano.



Fonte: Wikipédia, 2018.

O químico alemão Otto Bayer foi responsável pela criação dos poliuretanos, pois descobriu a reação de isocianatos e pólios. Esse material foi desenvolvido para substituir a borracha, isso por volta do início da Segunda Guerra Mundial.

Os poliuretanos possuem uma variedade de densidade e durezas, e mudam de acordo com o tipo do composto que é constituído de moléculas capazes de se combinarem entre elas ou com outras para se formar os polímeros.

Os compostos de poliuretanos como todo material químico apresentam algumas desvantagens, em relação á algumas características como:

- Altas temperaturas;
- Ambientes úmidos e quentes;
- Alguns ambientes químicos;

Existe uma variedade de poliuretanos. Cada material tem suas qualidades e deficiências, temos diferentes tipos de poliuretanos, com diferentes resistências, propriedades físicas e aplicações.

Entre elas os compostos químicos de poliuretano podem ser usados para

diversos tipos de aplicações, como:

- Poliuretanos Fundidos;
- Adesivos;
- Espumas;
- Rígidas e Flexíveis;
- Termoplásticos;
- Revestimentos Superficiais (Sprays);

Os poliuretanos apresentam algumas vantagens também, entre elas podemos apresentar:

- Menor peso;
- Menos ruído;
- Melhor ajuste;
- Menor custo de fabricação;
- Resistência à corrosão;

### **Poliestireno**

O poliestireno, mais conhecido como isopor, é um plástico celular, rígido com variedade de formas e aplicações, sendo comparado como uma espuma moldada constituída por um aglomerado de grânulos.

Suas principais características são:

- Fácil processamento por moldagem a quente;
- Fácil coloração;
- Baixo custo;
- Baixa densidade e absorção de umidade;
- Baixa resistência a solventes orgânicos, calor e intempéries;
- Reciclável;

## 2.18 Monitoramento Não Invasivo de Processos Industriais

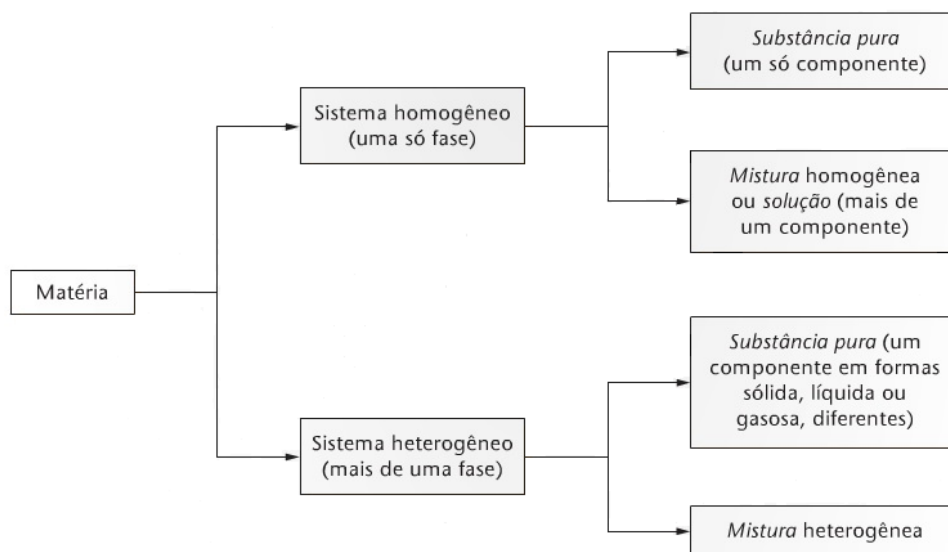
Com a constante implementação de recursos que aferem a qualidade e padrões específicos, fica evidente que a monitorização de parâmetros se torna necessária em processos industriais. Citamos entre esses parâmetros a pressão, a temperatura, o nível e o seu fluxo [2,3].

Os sensores de ultrassom além de serem de baixo consumo de potência, terem uma resposta rápida, contribuem para a medição desses parâmetros, garantindo a confiabilidade, reprodução e condições especificam na medição de métodos não invasivos e de alta pressão [33,35].

Porém, os sinais ultrassônicos apresentam uma análise de difícil interpretação, isso principalmente em meios de propagação heterogêneos ou anisotrópicos.

Na Figura 19, vemos um sistema, onde conseguimos classificar os sistemas em homogêneo e heterogêneo.

Figura 19 - Sistema homogêneo e heterogêneo



Fonte: CURSINHODEQUIMICAGRATUITO, 2017.

Temos que um material anisotrópico quando suas propriedades não são simétricas em relação a um plano ou eixo, isso é tendo direções diferentes.

Levando em conta que com o avanço da eletrônica nos permite utilizar processadores digitais de sinais (DSP), onde eles permitem transformar e relacionar os dados adquiridos. Para obtermos parâmetros desse processo precisamos utilizar transdutores e uma configuração própria. Tendo como parâmetro a amplitude,

frequência e fase onde se modificam através da interação com o seu meio de propagação, no entanto, outros parâmetros são adquiridos através de características simultâneas, de modo que serão necessários algoritmos individuais para esses processos [30,31].

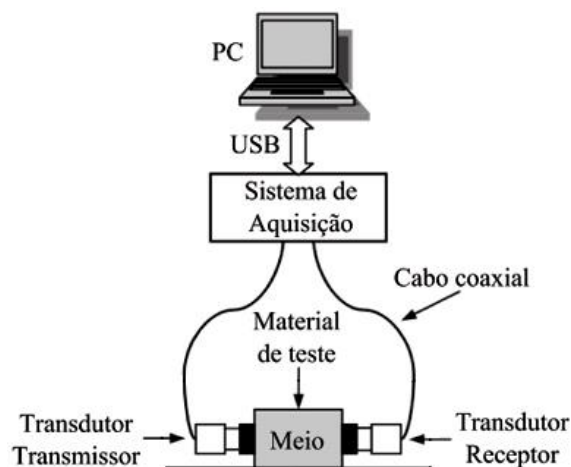
Os fluxos de informações obtidas são feitos de forma simultânea pela técnica de transmissão e reflexão. No caso da transmissão e reflexão temos dois transdutores alinhados, onde calculamos o tempo que o ultrassom demora em se propagar, onde temos uma precisão de picos segundos.

## 2.19 Ensaio Ultrassônico

Os sistemas ultrassônicos digitais são formados por um gerador de pulso, um transdutor que emite a onda sonora, um objeto de teste onde nele será aplicada a onda ultrassônica, um receptor, um circuito amplificador, um conversor ADC (conversor digital analógico) e finalmente por uma unidade de processamento de sinais [30].

Onde nesse sistema temos o emissor, ele irá receber um pulso elétrico, que irá ser transformado em um pulso de ordem mecânica de alta frequência. Depois que essa onda age com o meio, seja ele qual for como já foi mencionado anteriormente, o receptor detecta as ondas de baixa amplitude e as converte novamente em sinal de tensão, que seria o resultado da corrente que por ele passa, onde ele é amplificado e digitalizado, um exemplo é visto na Figura 20 [3,11,12].

Figura 20 – Exemplo de Ensaio Ultrassônico



Fonte: SCIELO, 2017.

As maneiras mais frequentes de um ensaio ultrassônico são: pulso-eco,



transmissão-recepção e por transmissão-reflexão, onde cada um depende dos parâmetros que temos para chegarmos aos resultados esperados e assim concluirmos objetivos.

Com a interação das ondas ultrassônicas através do meio de propagação podemos determinar algumas propriedades dessa onda como a velocidade de propagação, a sua densidade, amplitude e frequência [23,24,25].

### **2.19.1 Método Transmissão-Recepção**

O ensaio ultrassônico realizado por transmissão-recepção utiliza dois transdutores distintos, um para transmitir e outro para receber as ondas sonoras. Obtendo desse modo um pulso elétrico que é proveniente do transmissor, onde ele gera uma onda ultrassônica que se propaga por um meio chegando até o receptor.

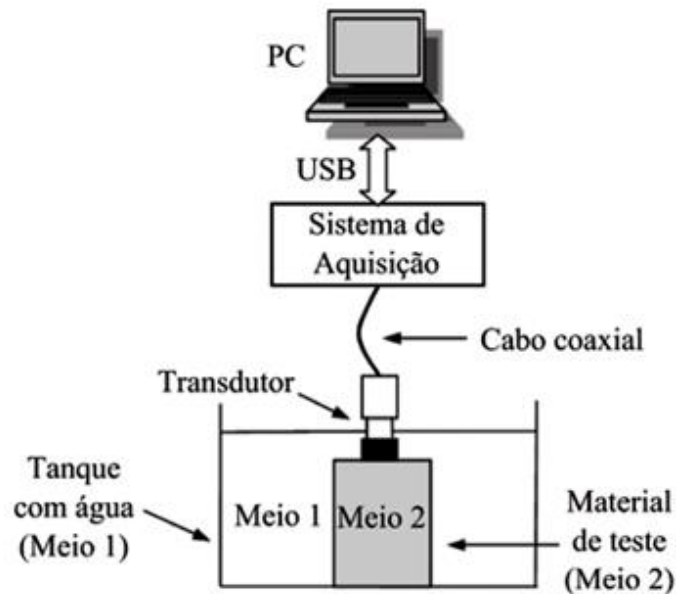
### **2.19.2 Método Pulso-Eco**

No ensaio ultrassônico realizado por pulso eco é observado que o transdutor age como transmissor e receptor das ondas sonoras ultrassônicas. Assim temos que o pulso elétrico quando colocado ao transdutor gera uma onda sonora ultrassônica e essa onda sonora se propaga por um meio, onde uma parte dessa onda é refletida e outra parte continua se propagando pelo meio [20,21].

O transdutor quando capturam as ondas sonoras refletidas, ele interpreta informações como a distância ou a velocidade de propagação, podendo desse modo ter informações sobre as ondas ecos recebidas. Sabendo a velocidade da onda sonora pelo meio de propagação, podemos obter a distância que as ondas sonoras percorreram pelo tempo que levou a excitação do transdutor e o momento que as ondas sonoras foram refletidas e captadas [22].

Na figura 21 podemos observar um exemplo do método pulso eco, onde temos dois meios de propagação, onde um meio seria a água e o outro meio de propagação seria o material do experimento, onde temos o transdutor que envia as ondas captadas para a CPU.

Figura 21 – Exemplo de Método Pulso-Eco



Fonte: SCIELO, 2017.

## 2.20 Sistema de Aquisição

O sistema de aquisição de dados, como o nome sugere, são produtos ou processos que são utilizados para coletar informações para informar ou analisar um fenômeno [38,39].

A aquisição de dados funciona como um ponto central de um sistema, juntando uma variedade de componentes para se formar um sistema, como sensores e atuadores que indicam como, por exemplo, temperatura, fluxo, nível ou pressão. Alguns termos comuns de aquisição de dados são mostrados como:

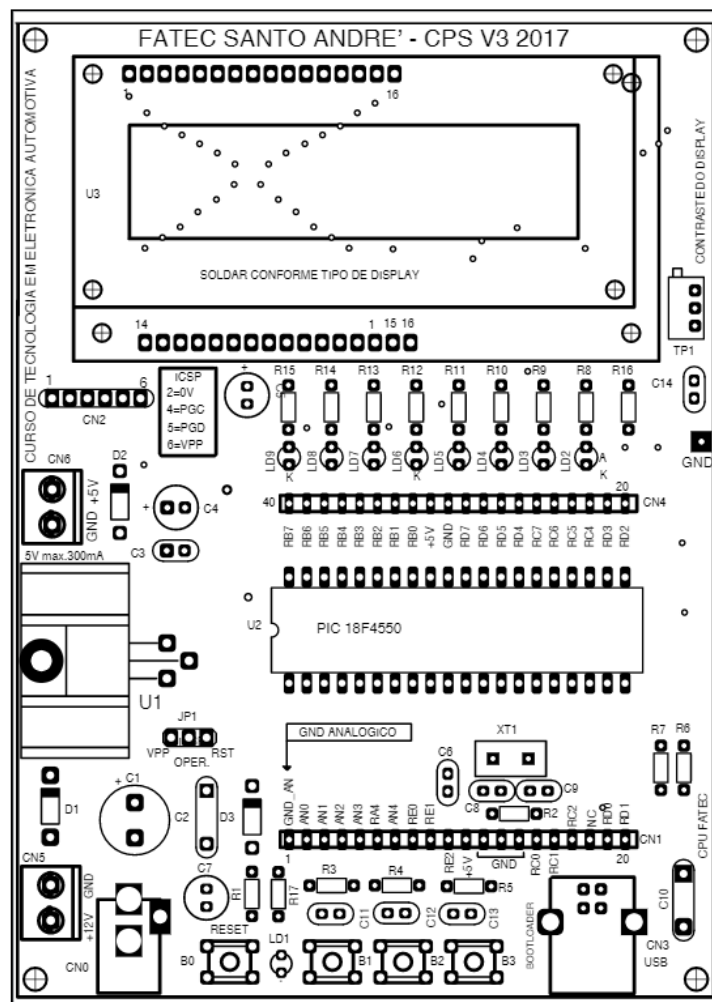
- Conversor analógico-digital (ADC);
- Conversor digital-analógico (D/A);
- Entrada/saída digital (DIO);
- Entrada Diferencial;
- Intervalo da Amostra;

## 2.21 Placa ECU ACADÊMICA

A ECU acadêmica utiliza uma fonte de tensão contínua de 12 v, que ao alimentar a fonte reguladora de tensão diminui para 5v, fornecendo a tensão de trabalho para o circuito. Através de condicionadores de sinais e um programa, o microcontrolador 18F4550 recebe as informações enviadas pelo sensor ultrassônico HC-SR04 e faz a leitura e informa no display a informação [32,33,46,47].

O layout da Placa Acadêmica tem a seguinte disposição com vemos na Figura 22:

Figura 22 – Layout da placa ECU acadêmica



Fonte: Prof. Dr. Edson Kitani, 2016.

Na Figura 23 vemos como a Placa ECU Acadêmica fica pronta depois da sua montagem, com a colocação de seus componentes [32,33,46,47].

Figura 23 – Placa ECU acadêmica

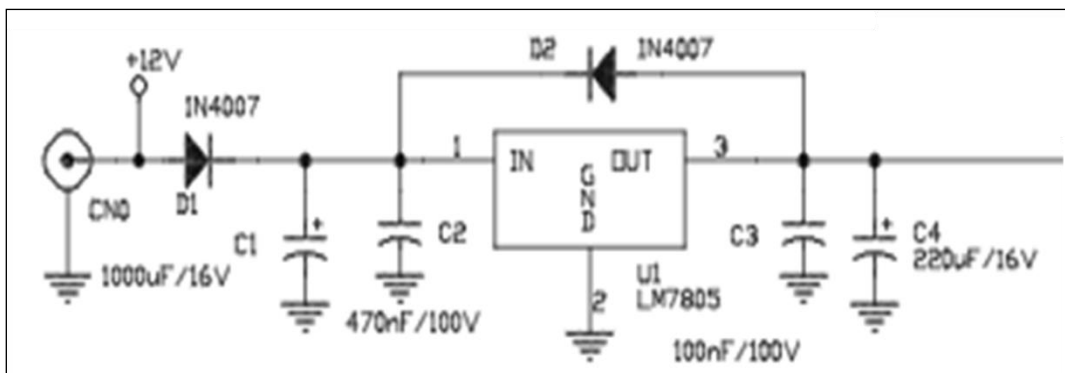


Fonte: Própria do Autor, 2018.

### 2.21.1 Fonte Reguladora de Tensão

A fonte reguladora de tensão (Figura 24) tem sua tensão de entrada em 12 v, a mesma é diminuída através do circuito GND para 5 v, assim teremos uma alimentação correta do circuito.

Figura 24 – Circuito de uma fonte reguladora de tensão.



Fonte: usinainfo, 2018.

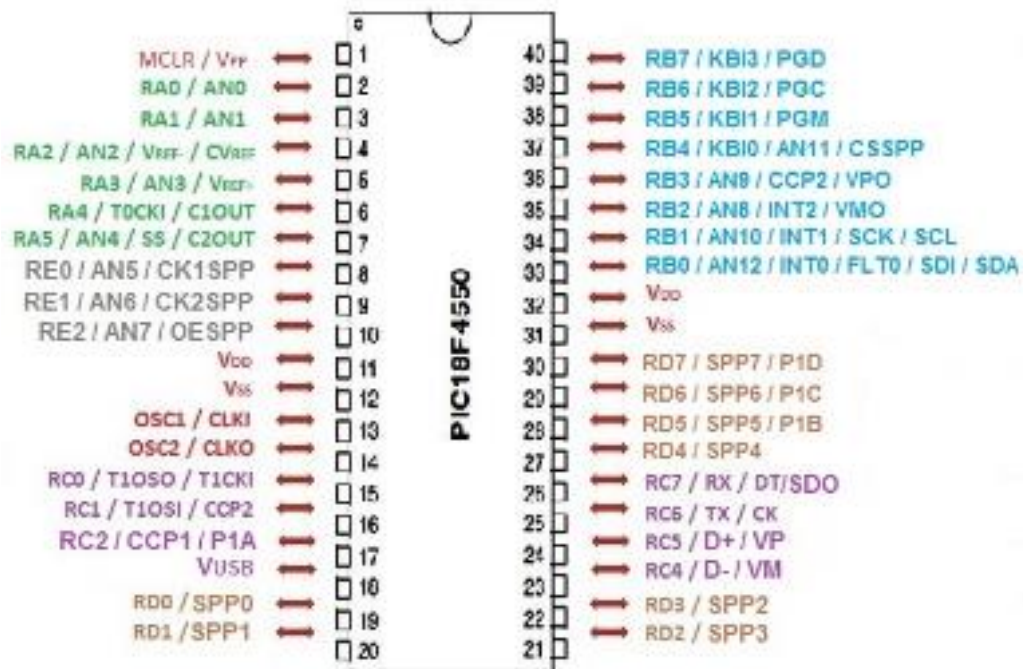
### 2.21.2 Microcontrolador

O microcontrolador recebe sinais enviados externamente, efetua o processamento dos dados através de algoritmo programado e realizar as ações de saída conforme determinado [26,27,28,29] .

O microcontrolador utilizado para o experimento foi o PIC18F4550, onde possui em sua construção uma série de recursos e periféricos que são

programáveis, e que podemos utilizar isso para controlar processos, pois o mesmo atende todas as necessidades para realização da experiência a ser realizada em laboratório como: Conversão de sinais analógicos em digitais (ADC), entradas e saídas para o LCD entre outros, como vemos na Figura 25; [30,31,40].

Figura 25 – PIC 18F4455 / 18F4550.



Fonte: adaptado de theengineeringprojects, 2017.

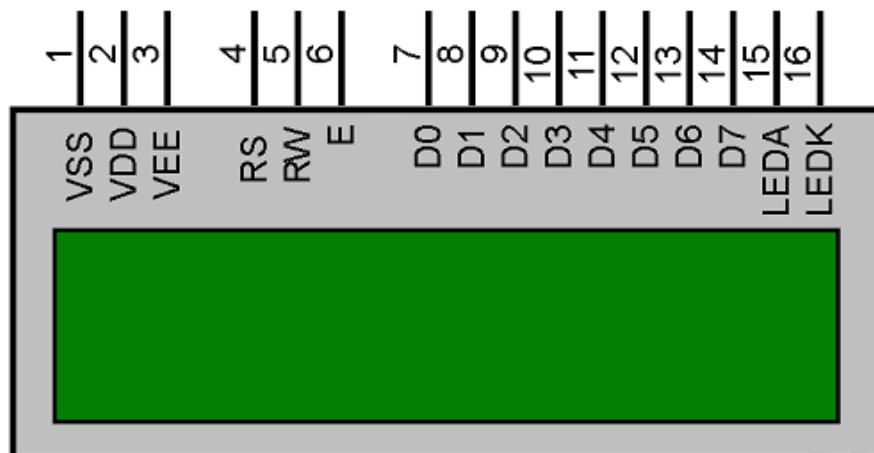
Para fazermos a interface com qualquer circuito externo ao do PIC18f4550 temos que entender que essa relação é feita através dos pinos pre determinados no PIC18f4550, onde eles são agrupados e denominados por PORTs. Os PORTs são agrupados em ate 8 Bits e são chamados de PORTA, PORTB, PORTC, PORTD e PORTE, isso claro dependendo da quantidade dos pinos do microcontrolador.

Onde temos os pinos 2 ao 7 relacionados ao PORT A, os pinos 8 ao 10 relacionados ao PORT E, os pinos 15 ao 18 e os pinos 23 ao 26 relacionados ao PORT C, os pinos 19 ao 22 e os pinos 27 ao 30 relacionados ao PORT D, os pinos 33 ao 40 relacionados ao PORT B.

### 2.21.3 Display de LCD 16X2

O display de LCD 16X2 foi o escolhido para ser utilizado em nosso projeto, o mesmo possui duas linhas para escrita com 16 caracteres cada uma e sua iluminação é na tonalidade azul. Seus pinos são relacionados conforme a Figura 26:

Figura 26 – Display LCD 16x2



Fonte: adaptado de fazedores.com, 2017.

Os pinos 1 e 2 (VSS e VDD) são relativos à tensão de alimentação do display e devem ser ligados a uma tensão de alimentação de 5VDC.

O pino 3 (V0) é utilizado para o controle de contraste do display e é ligado ao centro do potenciômetro de 10k e suas extremidades aos pinos 1 e 2 (VSS e VDD).

O pino 4 (RS) é utilizado para definirmos o tipo de informação passada através da comunicação paralela. (0 = comando ou instrução / 1 = a informação é um dado).

O pino 5 (R/W) muda o estado do LCD (0 = operação escrita / 1 = operação de leitura).

O pino 6 (E) é utilizado para efetivar a leitura da informação escrita no barramento de dados. Essa leitura é efetuada na borda de descida deste sinal.

Os pinos 11, 12, 13 e 14 (DB4 ao DB7), equivalem ao barramento de dados paralelos. Os pinos 7, 8, 9 e 10 ficam desligados devido o display poder operar com apenas quatro vias.

O pino 15 (A) é o anodo utilizado na alimentação backlight. O pino 16 (K) é o catodo utilizado como terra da iluminação.

## 2.22 Materiais piezoelétricos para equipamentos ultrassônicos

Os cristais piezoelétrico tem uma característica particular deles, em que eles geram uma diferença de potencial (DDP) quando aplicado uma tensão que os comprimem na face do seu corpo eles podem variar entre se contrair ou expandir, de modo que possibilita a geração de ultrassons [16,17].

### 2.23 Sensor Ultrassônico.

O sensor utilizado no experimento foi o HC-SR04, um módulo eletrônico utilizado em diversas plataformas de desenvolvimento, como no Arduino, que seria o caso mais usual, porém fazendo algumas modificações ele foi usual para o experimento em questão.

Esse sensor possibilita usar sinais ultrassônicos para informar a distância entre o sensor e um obstáculo, e entre outras coisas como veremos na conclusão desse experimento. Ele pode medir distâncias, com certa precisão e possui um ângulo de detecção que seria de aproximadamente 15 graus, segundo informações do datasheet do sensor [32,34,41,43,44,45].

Figura 27 – Sensor Ultrassônico HC-SR04



Fonte: makerfabs.com, 2018.

O módulo eletrônico do sensor ultrassônico HC-SR04 é característico por possuir 4 pinos, onde eles representam:

- Vcc (alimentação 5 V);
- Trigger (gatilho);
- Echo (sinal);
- GND (terra);

Esse módulo eletrônico acaba sendo bastante eficaz quando se trata de projetos compactos e de pequeno porte, pois possui uma corrente de consumo de apenas 15 mA, apresentando uma eficiência elevada quando usado com placas que utilizam microcontroladores, sendo essas a placa didática utilizada no projeto como

em placas comuns do mercado como o Arduino, Raspberry e PIC [32,34,41,43,44].

### 2.23.1 Especificações Técnicas do Sensor Ultrassônico HC – SR04.

O módulo ultrassônico HC-SR04 apresenta algumas condições de funcionamento, e para podermos utilizado em conjunto com a placa didática apresentada durante o curso, temos que aferir se ela seria compatível com a utilização de microcontroladores, para isso segue algumas especificações que garantem a sua usualidade: [32,34,39,41,43,44].

- Tensão de Alimentação: 5 VDC;
- Corrente de Operação: < 2 m A;
- Corrente em funcionamento: 15 m A;
- Ângulo de medida: < 15°;
- Distância de detecção: de 2 cm a 400 cm;
- Precisão: 3 mm;
- Dimensões: 45 mm x 20 mm x 15 mm;
- Frequência ultrassônica: 40 kHz;

### 2.23.2 Funcionalidade do Sensor HC-SR04.

O funcionamento do módulo eletrônico HC-SR04 consiste em enviar um sinal que funcionaria como um gatilho que, ao atingir um objeto, volta para o sensor e a partir da base de tempo calculada entre o envio e recebimento desse sinal é mostrada a distância entre o sensor e o objeto, isso através do emissor e receptor como visto na Figura 28 [32,33,34,41,43,44].

Figura 28 – Sensor Ultrassônico.



Fonte: futurlec.com, 2018.

Etapas de funcionamento:

1. Envio de um sinal com duração de 10 us (micro segundos) ao pino trigger,

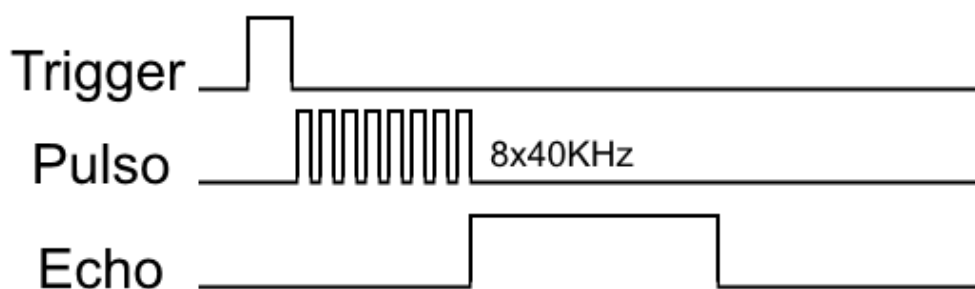


indicando que a medição terá início, que seria o gatilho para o módulo entrar em funcionamento.

2. De forma automática, o módulo ultrassônico envia 8 pulsos de 40 KHz e aguarda o retorno do sinal pelo receptor, que seria lido pelo pino Echo.
3. Se existir uma resposta de sinal (em nível HIGH), é determinado à distância entre o sensor e o obstáculo.

Como podemos ver na Figura 29:

Figura 29 – Funcionamento do Sensor Ultrassônico.



Fonte: autocorerobotica.com, 2018.

Com a configuração padrão do sensor ultrassônico HC-SR04, quando temos essa resposta em nível lógico alto, é determinada a distância entre o sensor e o obstáculo, a partir da seguinte fórmula:

$$\text{Distância} = [\text{Tempo ECHO em nível alto} * \text{Velocidade do Som}] / 2$$

Onde temos:

- Distância = distância percorrida entre o sensor e o obstáculo
- Velocidade = velocidade do som no ar é igual a 340 m/s.
- Tempo (ECHO) = tempo percorrido entre a emissão do sinal sonoro e o seu retorno (tempo medido pelo sensor ultrassônico).

A velocidade do som é considerada igual a 340 m/s nesse caso. Na fórmula, temos a divisão por 2 (dois) pelo fato de que a onda é enviada e rebatida, ou seja, ela percorre 2 vezes a distância medida [42].

## 2.24 Linguagem de Programação.

Uma linguagem de programação nada mais é do que um programa que um

computador utiliza como um conjunto de instruções que de certa forma representam um aglomerado de regras e procedimentos lógicos de forma definida que apontam para solução de um problema em um número finito de cada fase ou período de um processo [26,27,28,29,36,38,40].

Este conjunto de informações possui regras de estruturação lógica e sintática própria. Assim podemos dizer que essa junção de símbolos e informações constitui uma linguagem de programação.

### **2.24.1 Exemplos de linguagens**

Existem muitas linguagens que podem ser usadas para se formar um programa. Assim podemos fazer um algoritmo, que seria um conjunto de símbolos e informações para resolvermos um problema por intermédio de qualquer linguagem, seja ela C, C++, Fortran, Pascal, Cobol, Python ou etc, nesse trabalho utilizaremos a linguagem C, pois foi abordada durante o curso em questão [40].

### **2.24.2 Tipos de linguagem**

Existem alguns tipos de linguagem, mas de forma genérica, podemos dividir essas linguagens de programação em dois grupos: as linguagens de baixo nível e as de alto nível:

**Linguagens de baixo nível:** É um tipo de linguagem mais utilizada para uma máquina, isto quer dizer, que são elaboradas utilizando as instruções do microprocessador do computador. São genericamente chamadas de linguagens de programação Assembly.

Esse tipo de linguagem apresentam algumas vantagens como a sua velocidade de processamento na sua execução e também podemos dizer que esse tipo de programa ocupa menos espaço em sua memória.

Mas também possuem algumas desvantagens, entre elas podemos citar a sua portabilidade, isso no caso de uma linguagem de programação do tipo Assembly, isso se dá por o código ser gerado para somente um tipo de processador, assim, não servindo para outro, podemos citar também que os códigos de programação do tipo Assembly não são estruturados, assim se tornando um tipo de programação mais difícil.

E temos as **Linguagens de alto nível** que temos definidas como:

*”Linguagens de alto nível: São linguagens voltadas para o ser humano”. Em geral utilizam sintaxe estruturada tornando seu código mais legível.*

*Necessitam de compiladores ou interpretadores para gerar instruções do microprocessador. Interpretadores fazem a interpretação de cada instrução do programa fonte executando-a dentro de um ambiente de programação, Compiladores fazem a tradução de todas as instruções do programa fonte gerando um programa executável. As linguagens de alto nível podem se distinguir quanto a sua aplicação em genéricas como **C**, **Pascal** e **Basic** ou específicas como **Fortran**, **GPSS** (simulação), **LISP** (inteligência artificial) ou **CLIPPER** (banco de dados).”*

As linguagens de alto nível possuem algumas vantagens como a sua portabilidade, por serem compiladas, elas podem ser aproveitadas em diversas plataformas sofrendo poucas modificações, lembrando que a programação pode ser fácil ou difícil dependendo do seu número de instruções usadas.

Porém possuem algumas desvantagens como sendo linguagens de programação mais lentas, ocupando mais memórias, isso por serem programas mais genéricos e aplicados em linguagem de máquina.

### 2.24.3 Linguagem C

A linguagem de programação em C é uma linguagem de comunicação de alto nível, de forma simples e genérica. Por ter sido uma linguagem desenvolvida por programadores para programadores tem como suas principais características a sua flexibilidade e a sua portabilidade. A linguagem em C é uma linguagem que foi criada em paralelo com a criação da teoria de linguagem estruturada e do computador pessoal. Desse modo se tornou de forma rápida uma linguagem comum entre os programadores. A linguagem de programação em C foi uma linguagem de programação utilizada para se desenvolver o sistema operacional UNIX, e nos dias de hoje está se tornando muito usada para se desenvolver novas linguagens de programação, entre elas a linguagem C++ e Java [27,28,29,36,40].

A linguagem c é uma linguagem estrutura e compilada. Uma linguagem é estruturada quando é formada por uma sequência lógica de comandos, como se

fosse uma receita de bolo, um passo a passo, e compilada significa transformar um código fonte que é escrito pelo programador em um código que o hardware do computador entenda os 0 (zero) e 1 (um) isso de forma binária. Esse processo de compilação também gera um arquivo executável chamando a sua extensão de HEX.

### **Características da Linguagem C**

A linguagem de programação em C apresenta algumas características como sendo um tipo de linguagem de alto nível, sendo bem estruturada e flexível, possibilitando a programação bastante simples e fácil.

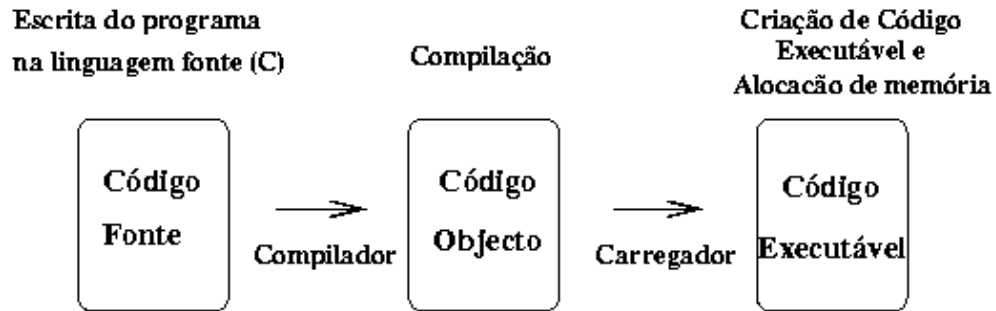
A linguagem em C possui uma estrutura simples e portátil, podendo ser utilizada em várias plataformas. O compilador dessa linguagem permite códigos mais reduzidos e velozes em relação á outras linguagens de programação.

Mesmo possuindo uma estrutura simples, contendo poucas funções intrínsecas, a linguagem de programação em C não perde a sua funcionalidade, permitindo ao usuário uma ampla possibilidade de criação utilizando as suas rotinas de implementação, isso dado aos fabricantes que disponibilizam bibliotecas pré-compiladas. Assim, a linguagem de programação em C possui programas compilados possibilitando programas executáveis.

A linguagem de programação em C permite uma compartilhização de recursos de baixo quanto de alto nível, pois tem o acesso e programação direta do seu microprocessador [27,36,40].

#### **2.24.4 Compilador**

Para utilizarmos o programa elaborado para o experimento, temos que utilizar um compilador, um compilador é um tipo de tradutor que lê um programa escrito numa linguagem, que é chamada de linguagem fonte, e transforma em outro programa equivalente escrito em outra linguagem, a linguagem objeto, que é específica para um processador e sistema operacional, como vemos na Figura 30:



Fonte: cristianoliveira7.wordpress.com, 2018.

### 3 MATERIAIS UTILIZADOS

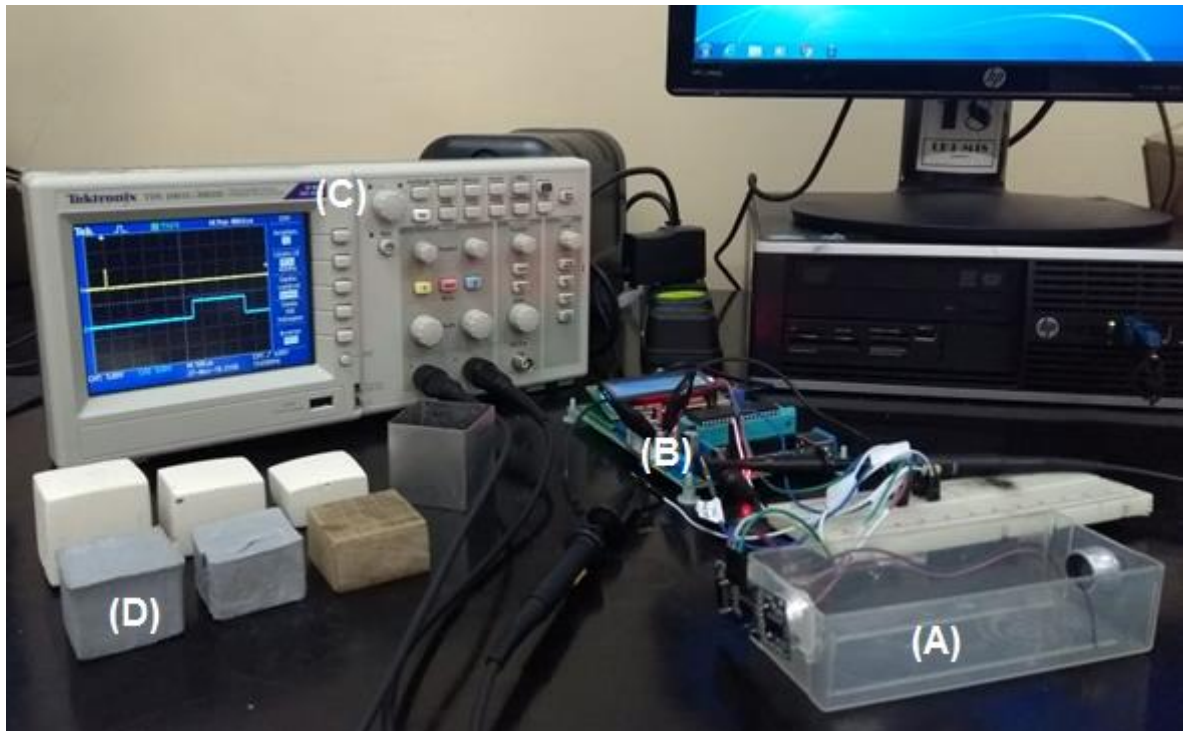
Os materiais utilizados neste trabalho são:

- Placa ECU Acadêmica;
- Sensor HC-SR04 (modificado): OSEPP Eletronics;
- Osciloscópio: Tektronix (TDS-1001C-30EDU);
- Protoboard 830 pontos: Minipa 830A;
- Fonte de Alimentação: Fonte 12 V 1ª, fabricante: Genérico;
- Jumpers;
- Multímetro (digital): Minipa (CATII 600);
- Forma Vazada (para confecção do corpo de prova);
- Canaleta acrílica (alocação do corpo de prova);
- Corpos de prova de 3 tipos de materiais:
  - Poliéster: Sherwin-Williams, M3500;
  - Poliuretano: Duxone, DX194;
  - Isopor: modelo genérico.

## 4 METODOLOGIA

Para realização do experimento foi desenvolvido um sistema de sensoriamento utilizando ultrassom, conforme pode ser visto na Figura 31.

Figura 31 – Sistema de Sensoriamento



Fonte: Própria do Autor, 2018.

A parte experimental desse trabalho consiste em analisar certos materiais, sobre o efeito incidente de uma onda ultrassônica sobre esses materiais, a fim de se compreender e entender o seu comportamento em relação á algumas variações, seja ela de um material, espessuras e combinações de diferentes materiais e espessuras.

Os materiais utilizados nesse experimento são constituídos de materiais de Poliéster e materiais de Poliuretano, como veremos a seguir, obtendo a sua definição, vantagens, desvantagens e aplicações.

Através da utilização do ultrassom como método de verificação, e através de alguns corpos de prova vamos aferir como o ultrassom reage através de diferentes meios. Com isso, temos como resultado esperado, uma variação de amplitude do sinal fornecido pelo sensor HC-SR04 [43,44].

### **(A) Modificação do Sensor HC-SR04**

No experimento não usaremos a configuração padrão do sensor descrito no item 2.23 [41].

Foi realizada uma modificação na disposição do emissor e receptor, sendo feito um desmembramento de um dos altos falantes do módulo ultrassônico, posicionando-os um na frente do outro, dispendo-os numa canaleta de acrílico, conforme pode ser visto na Figura 32.

Figura 32 – Canaleta Acrílica.



Fonte: Própria do Autor, 2018.

Utilizaremos o módulo HC-SR04 para verificar a espessura de um objeto que se encontra entre o emissor e o receptor, como será explicado mais adiante.

### **(B) Placa de Aquisição**

Uma Placa de Aquisição serve para se adquirir dados que, são provenientes de diversas informações. As maiores partes dessas informações que precisamos medir são de caráter analógico. Isto é, a medição pode fornecer uma variedade de valores contínuos. As quantidades físicas que encontramos são: Luz; Temperatura; Pressão; Força; Som.

Todas essas grandezas possuem energia. Deste modo, torna-se necessário para sua medição, à utilização de dispositivos capazes de receber esta energia e converte-la numa forma de energia manipulável pelos circuitos eletrônicos, isso através de programação e circuitos lógicos [40,46,47].

Neste trabalho, foi utilizada uma placa didática, desenvolvida para o curso de

Eletrônica Automotiva da Fatec Santo André, com um microcontrolador PIC 18F4550 e software desenvolvido especificamente para o caso que se encontra no Apêndice A.

### **(C) Osciloscópio**

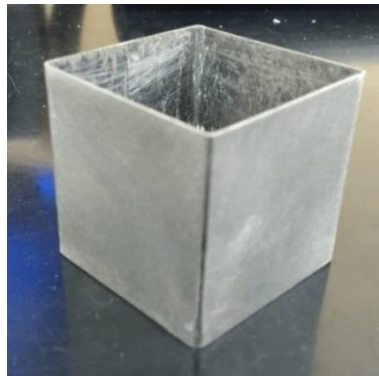
O osciloscópio é um aparelho eletrônico que permite a visualização e análise, de sinais de tensão na forma de gráfico em função do tempo. O osciloscópio pode ser do tipo digital ou analógico [37].

Este trabalho oferece a possibilidade de se aferir diversos sinais ao longo do tempo, isso dado, pela mudança de material e seu tempo de análise, conforme desejado para a experiência em determinado momento, como será abordado na sequência.

### **(D) Corpos de Prova**

Para a elaboração dos corpos de provas utilizados para a realização desse experimento, foi utilizada uma forma vazada quadricular de alumínio, tendo as dimensões de 4 cm x 4 cm, como vemos na Figura 33, pois essa medida se adequava dentro da forma plástica onde foram instalados o transmissor e o receptor do sensor HC-SR04.

Figura 33 – Forma vazada quadricular de alumínio



Fonte: Própria do autor, 2018.

Os corpos de provas obtidos através da forma citada anteriormente serão classificados por tipo de material utilizado e espessura adotada. Onde foram construídos 3 (três) amostras de cada material, para se poder comparar suas peculiares características.

Os materiais utilizados nesse experimento foram os seguintes:



- Massa poliéster (Sherwin-Williams);
- Primer PU (Duxone);
- Isopor;

Foram escolhidos esses materiais, pois encontramos os mesmos em oficinas de manutenção automotiva, onde se encontra o foco desse trabalho.

Assim obtemos os corpos de prova do primeiro material, que corresponde à massa poliéster, podemos ver pela Figura 34, que temos 3 corpos de prova distintos, do mesmo material, porém com espessuras distintas, para assim podermos analisar como cada material reage com a onda ultrassônica emitida pelo senso HC-SR04.

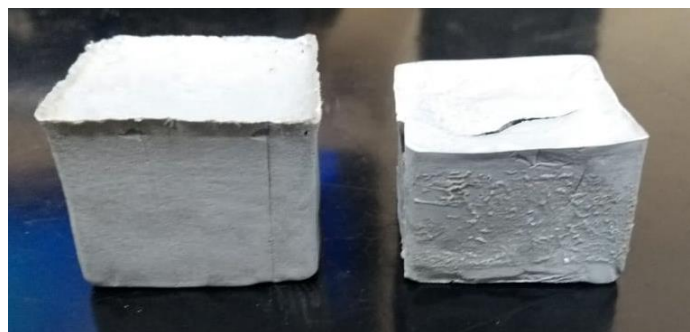
Figura 34 – Corpos de Prova de Poliéster.



Fonte: Própria do autor, 2018.

Agora podemos observar os corpos de provas do segundo material, correspondente ao material de Poliuretano, na Figura 35.

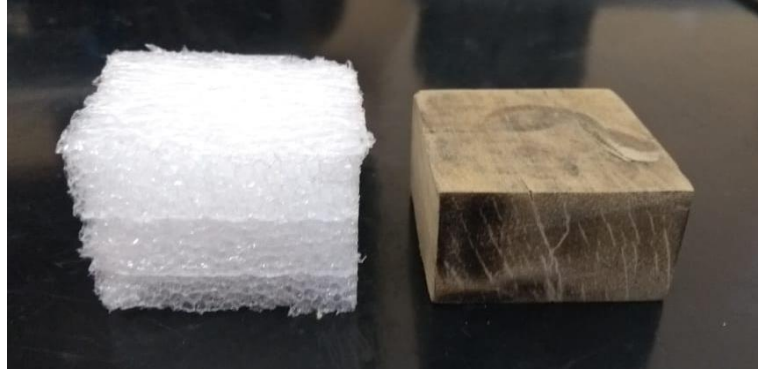
Figura 35– Corpos de Prova de Poliuretano.



Fonte: Própria do autor, 2018.

E por final os corpos de prova do terceiro material, sendo este de Poliestireno, lembrando que cada corpo de prova tem sua respectiva espessura, como vemos na Figura 36.

Figura 36 – Corpos de Prova de Poliestireno.



Fonte: Própria do autor, 2018.

Para grau de compreensão e diferenciação foi criado um gráfico, com uma legenda para cada material com suas respectivas espessuras.

Podemos notar que o material poliéster assume a cor azul, o material Poliuretano assume cor vermelha e o material poliestireno assume cor verde na legenda do gráfico, também notamos que cada material possui 3 (três) amostra sendo ela classificada como A,B e C, onde cada corpo de prova assume uma espessura, se diferenciando uma da outra. Mais precisamente cada espessura assume um valor, como vemos na Tabela 2:

Tabela 2 – Espessura dos Corpos de Prova.

<b>Poliéster</b>	<b>Poliuretano</b>	<b>Poliestireno</b>	<b>Corpo de prova</b>
3,9 cm	3,9 cm	3,9 cm	<b>Primeiro</b>
2,5 cm	2,5 cm	2,5 cm	<b>Segundo</b>
2 cm	2 cm	2 cm	<b>Terceiro</b>

Fonte: Própria do Autor, 2018.

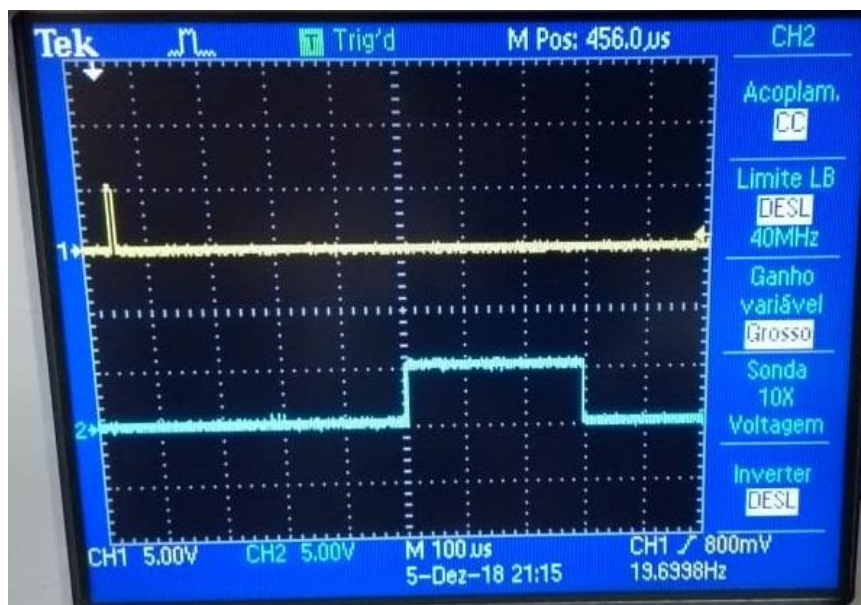
## 5. RESULTADOS OBTIDOS

Ainda para a realização do experimento, temos que fazer alguns ajustes para podermos analisar as formas de ondas, em primeiro momento, tem que se ajustar o osciloscópio para podermos visualizar as formas de ondas desejadas com as seguintes configurações de setup:

- Amplitude do sinal – 5 V / divisão
- Base de tempo do sinal – 100 us / divisão
- Posicionar o trigger do osciloscópio até estabilizar o sinal

Agora se pode fazer a aferição do sinal fornecido pelo sensor ultrassônico HC-SR04 (modificado) através do osciloscópio, onde podemos notar que seu funcionamento se dá através da figura 37, onde podemos ver o funcionamento do sensor HC-SR04, como já explicado anteriormente.

Figura 37 – Formas de Onda fornecida pelo HC-SR04



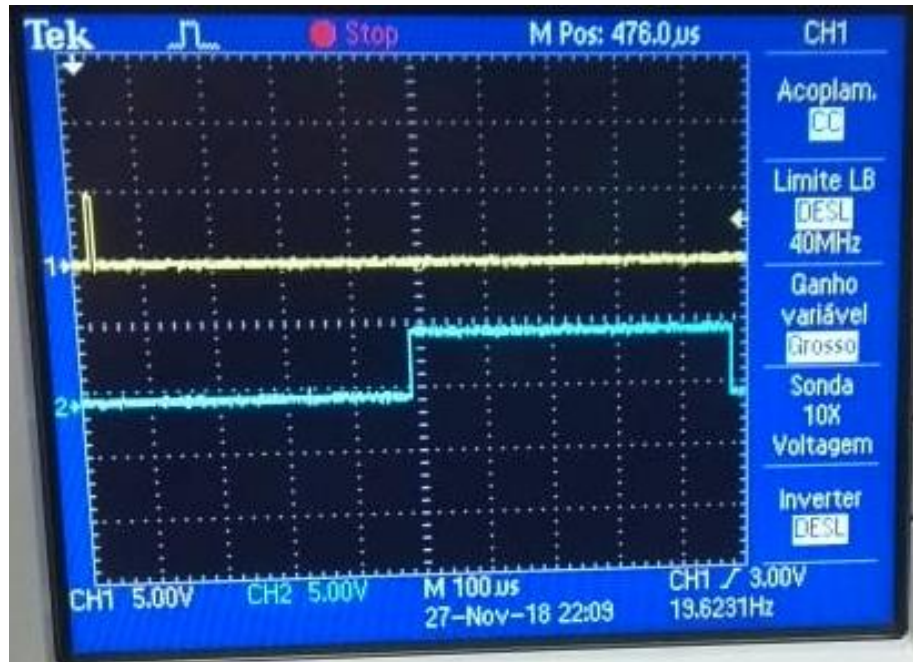
Fonte: Própria do autor, 2018.

Sabendo como funciona o sensor ultrassônico e qual a forma de onda que o sensor nos fornece, podemos aplicar os corpos de prova para analisarmos como será a resposta do sensor HC-SR04 modificado através deles.

### Teste com o Poliéster

Com isso aplicaremos o primeiro corpo de prova, referente ao material de poliéster como descrito anteriormente e através do osciloscópio obtemos a forma de onda, como podemos ver na Figura 38.

Figura 38 – Formas de Onda do Primeiro Corpo de Prova.



Fonte: Própria do autor, 2018.

Podemos ver na figura 38, que o sensor HC-SR04 apresenta uma variação da forma de onda, temos uma amplitude de sinal maior em relação ao sinal de verificação do sensor sem o corpo de prova.

Com isso podemos ver que o ultrassom sofre uma variação, isso acontece porque o meio de propagação, que nesse caso é o corpo de prova, altera o tempo de resposta do sinal ultrassônico.

Assim diferentes meios materiais, como, por exemplo, ar, vidro, água, tijolo, se apresentam de forma diferente ao serem atravessados pelo feixe de ultrassom, ou até mesmo impedem a propagação do som através de seu interior.

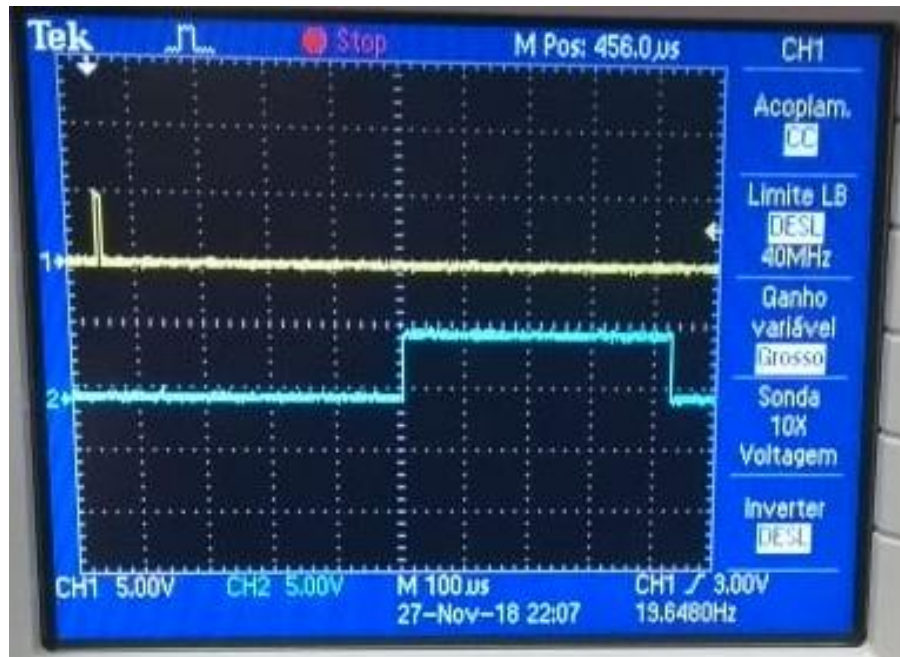
O primeiro corpo de prova do material de Poliéster apresentou uma amplitude da sua forma de onda de 500 us aproximadamente, lembrando que sua espessura é de 39 mm.

A fim de se aferir tal proposta acima, executamos varias medições com vários corpos de prova, como poderemos conferir nas figuras a seguir.

Com isso, vamos analisar o comportamento do sensor HC-SR04, com o segundo corpo de prova, onde o mesmo apresenta uma espessura maior, em relação ao que o primeiro corpo de prova, como se vê na Figura 39.

Isso foi feito com a finalidade de se perceber como o feixe ultrassônico se comporta através de um meio com espessura maior, fazendo referência com a sua massa, densidade e volume.

Figura 39 – Formas de Onda do Segundo Corpo de Prova.



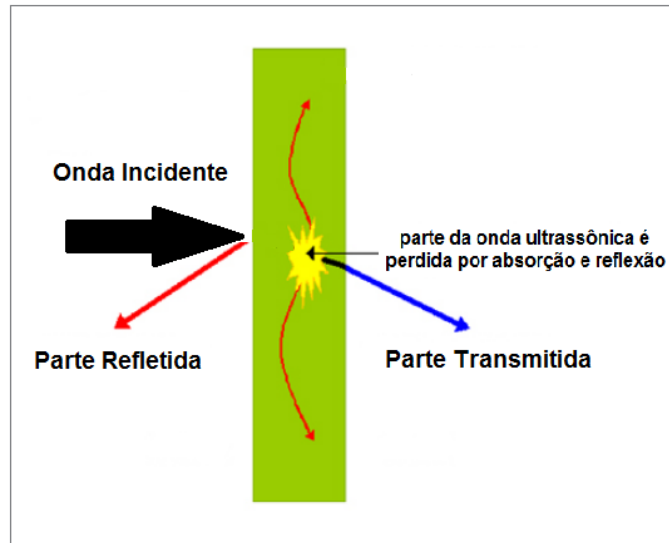
Fonte: Própria do autor, 2018.

Com o resultado fornecido pelo sensor HC-SR04, nota – se que a forma de onda é menor em relação ao primeiro corpo de prova, assim vale ressaltar que quanto maior a espessura do corpo de prova referente á esse material, maior será a forma de onda, isso dado á resistência que o sensor apresenta ao emitir e receber o sinal ultrassônico através do corpo de prova.

O segundo corpo de prova desse material apresentou uma amplitude na sua forma de onda de 420 us aproximadamente, com sua espessura de 25 mm.

Isso acontece através de fenômenos físicos, por exemplo, como a refração e absorção, isso dado desse material que é feito o corpo de prova, onde apresenta certo grau de absorção e reflexão, como temos como exemplo a Figura 40:

Figura 40 – Representação de Reflexão e Absorção.

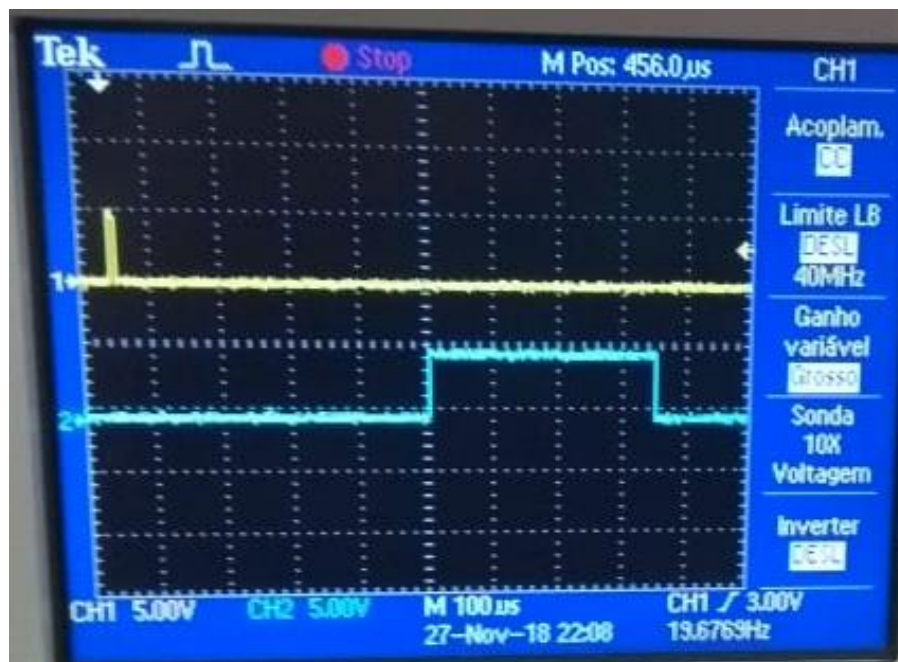


Fonte: adaptado de [www.ctborracha.com](http://www.ctborracha.com), 2018.

E para finalizar a experiência com esse corpo de prova do material Poliéster, sem interferência de mais nenhum material, foi feito mais um teste, dessa vez com o corpo de prova com maior espessura, e o resultado foi similar com os anteriores, à amplitude de onda aumenta conforme a resistência que o feixe de ultrassom encontra em seu caminho.

Na Figura 41, podemos analisar a forma de onda encontrada no osciloscópio para o terceiro corpo de prova, onde notamos o que foi explicado anteriormente.

Figura 41 – Formas de Onda do Terceiro Corpo de Prova.



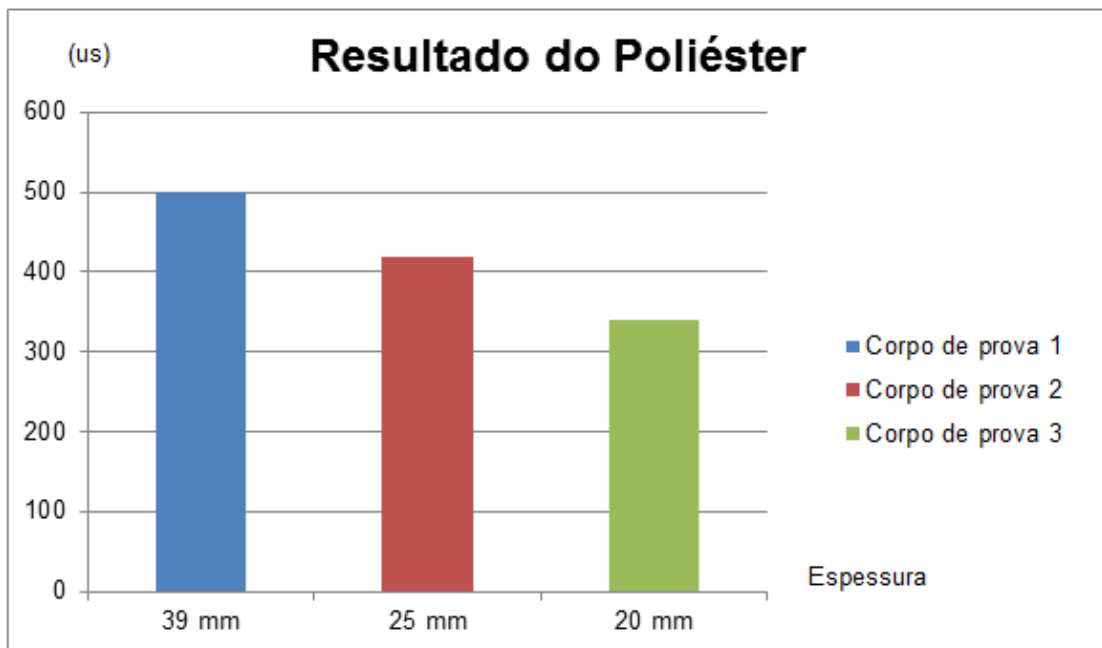
Fonte: Própria do autor, 2018.

O terceiro corpo de prova desse material apresentou uma amplitude na sua forma de onda de 340 us aproximadamente, com sua espessura de 20 mm.

Para esse material encontramos uma forma mais clara e comparativa de analisarmos os resultados obtidos, e através do Gráfico 1, podemos observar como cada espessura se comportou, tendo como fator fixo o feixe ultrassônico e o tempo de amostragem dado pelo sensor HCC-SR04, assim proporcionando um resultado de fácil compreensão.

Para melhor compreensão vale lembrar que cada divisão do osciloscópio corresponde a 100 us (micro segundos), onde foi aferido que cada corpo de prova correspondeu a uma determinada quantidade de divisão, por cada corpo de prova ter sua específica espessura, massa, volume e densidade, como mostra o Gráfico 1, onde CP, em sua legenda significa Corpo de Prova, lembrando que temos 3 corpos de prova distintos para o material Poliéster.

Gráfico 1 – Análise das Formas de Onda do Primeiro Material através dos Corpos de Prova.



Fonte: Própria do autor, 2018.

Para o material do primeiro corpo de prova referente ao material de poliéster praticamente se formou um gráfico de uma constante crescente, onde conforme vai se aumentando a quantidade de material entre posição do receptor e transmissor do sensor HC-SR04, maior será a amplitude do sinal gerado pelo osciloscópio.

Agora tendo a base de como um corpo de prova reage ao feixe ultrassônico

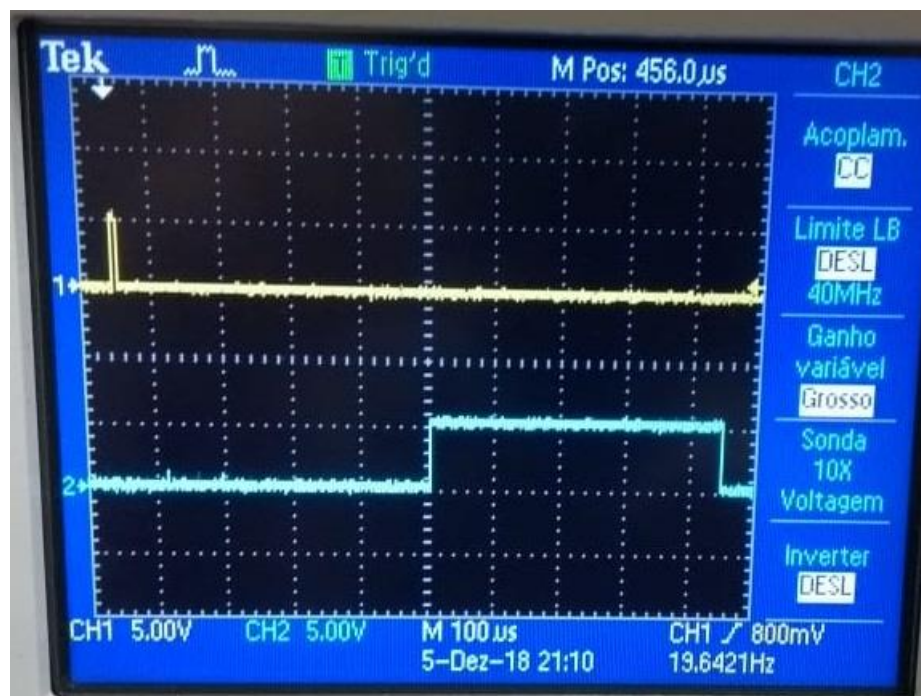
do sensor HC-SR04 modificado, se parte para a verificação do segundo corpo de prova, para comparar os resultados e chegar á uma conclusão mais específica do comportamento do ultrassom através de meios diferentes.

### Teste com o Poliuretano

Para o segundo material, o poliuretano, seguimos o mesmo padrão de aferição dos materiais anteriores, sendo 3 (três) corpos de prova com espessuras distintas um da outra, porem, cada corpo de prova do segundo material (poliuretano) se assemelha na espessura do corpo de prova do primeiro material (poliéster), como visto na Tabela 2.

O segundo material, o Poliuretano, também sofre efeito do feixe ultrassônico, mudando a forma de onda encontrada quando colocado entre o emissor e receptor do sensor Ultrassônico HC-SR04 (modificado), como vemos na Figura 42.

Figura 42 – Formas de Onda do Primeiro Corpo de Prova do Segundo material.



Fonte: Própria do autor, 2018.

Na Figura 42, vemos como o primeiro corpo de prova do material de poliuretano (Tabela 2), se comporta com a aplicação do feixe ultrassônico, a largura da onda encontrada se assemelha em comparação do primeiro corpo de prova do primeiro material, tendo uma largura de 440 us, assim o poliéster, apresenta características próprias, como será mostrado adiante.



No segundo corpo de prova referente ao material do Poliuretano, encontramos uma forma de onda distinta, quando se comparado com o primeiro corpo de prova do mesmo material, isso se dá pela espessura encontrada em cada corpo de prova, que é a primeira característica em que distamos cada corpo de prova.

Na Figura 43 vemos como o segundo corpo de prova reage ao feixe ultrassônico, nessa parte do experimento, esperamos encontrar uma forma de onda semelhante ao corpo de prova anterior, mudando apenas a sua largura, onde ela refere-se à espessura do corpo de prova (Tabela 2), tentando traçar um linear entre as espessuras dos corpos de provas e a forma de onda encontrada.

Figura 43 – Formas de Onda do Segundo Corpo de Prova do Segundo material.



Fonte: Própria do autor, 2018.

A forma de onda encontrada na Figura 43 representa a espessura do corpo de prova aferido, como dito na Tabela 2, na Figura 43 vemos que a largura da onda encontrada é de 360  $\mu$ s, com isso podemos ter uma ideia que o Sistema de Sensoriamento, identifica qual material esta sendo testado, isso através da largura da onda, de cada corpo de prova.

O Sistema de Sensoriamento criado para essa experiência nos dá uma ideia de qual material esta sendo aferido, pois cada material até o momento apresenta uma forma de onda única, com largura variada, através da espessura de cada corpo

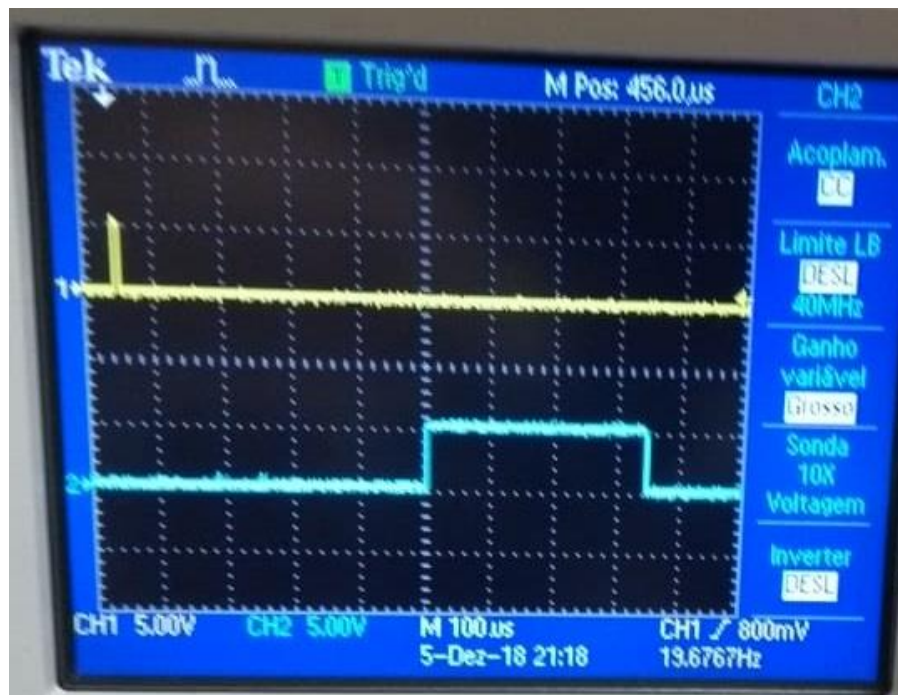
de prova apresenta assim o Sistema de Sensoriamento nos permite analisar e identificar 2 (duas) características, são elas:

- Material;
- Espessura;

Através de mais alguns testes se busca confirmar estas informações, para validar a eficiência do Sistema de Sensoriamento.

A seguir iremos fazer a aferição do terceiro corpo de prova (Tabela 2), do segundo material (Poliuretano), com o intuito de continuar aferindo as diferenças de cada corpo de prova do material estipulado. Na Figura 44 vemos a forma de onda do Terceiro Corpo de Prova do segundo material.

Figura 44 – Formas de Onda do Terceiro Corpo de Prova do Segundo material.

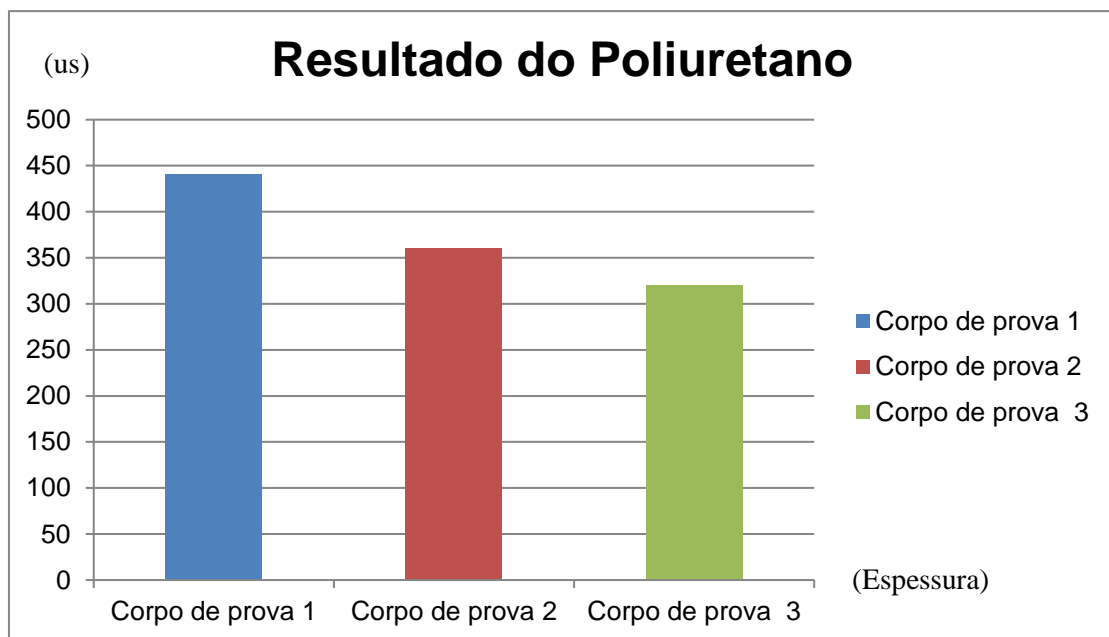


Fonte: Própria do autor, 2018.

A Figura 44 nos permite identificar a forma de onda do terceiro corpo de prova, seguindo os padrões adotados anteriormente, percebemos que a Figura 44 apresenta uma forma de onda única, comparada com as outras amostras até o momento. A forma de onda apresentada na Figura 44 apresenta uma largura de onda de 320 us, com a sua amplitude fixa em 5,00 V, como nas outras amostras aferidas anteriormente, possibilitando a sua diferenciação de forma de onda das demais formas de onda já aferidas.

Os corpos de provas referentes ao segundo material, no caso o Poliuretano, apresentaram larguras distintas uma das outras, e forma únicas se comparando os dois materiais até o momento, podendo chegar a uma conclusão, o feixe ultrassônico emitido pelo sensor HC-SR04 modificado, age de forma distinta em cada material, como podemos ver no Gráfico 2, um comparativo entre os resultados obtidos do segundo material, o poliuretano.

Gráfico 2 – Análise das Formas de Onda do Segundo Material através dos Corpos de Prova.



Fonte: Própria do autor, 2018.

Para grau de definição, temos que o meio pelo qual a onda de som mecânica atravessa, interfere na resposta desejada, assim podemos dizer que o Sistema de Sensoriamento criado para o experimento, identifica esses dois materiais, pois capta formas de onda distintas para diferentes materiais, onde temos a mesma espessura, tendo essa referência, partimos para o ultimo material desse experimento, a fim de se concluir os resultados obtidos até o momento.

### **Teste com o Poliestireno**

Agora com o ultimo material do experimento o Poliestireno, iremos fazer a mesma coisa que já foi feita até o momento, iremos utilizar 3 (três) corpos de prova com espessuras distintas uma da outra, porém com as espessuras estipuladas conforme Tabela 2.

A forma de onda esperada para o primeiro corpo de prova desse material,

seria parecida com a forma de onda dos materiais com essa espessura, porém se destoando na largura de sua forma, podemos conferir como a sua forma de onda se apresenta na Figura 45, isso dado pelo tipo de material testado, onde temos a sua composição molecular mais próxima ou longe, se comparada ao dos outros materiais desse experimento.

Figura 45 – Formas de Onda do Primeiro Corpo de Prova do Terceiro material.



Fonte: Própria do autor, 2018.

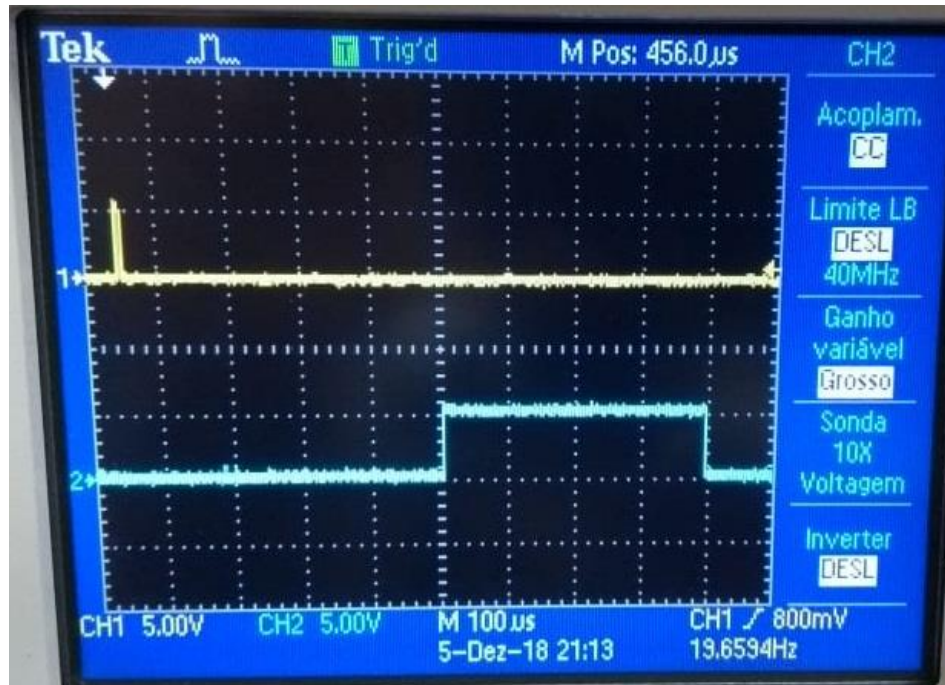
A Figura 45 nos permite identificar a forma de onda do primeiro corpo de prova deste material, a forma de onda apresentada mostra uma largura de onda de 460  $\mu\text{s}$ , com a sua amplitude fixo em 5,00 V, como já mostrado anteriormente, a sua forma de onda também se assemelha com as demais com essa espessura, porém é distinta dos outros materiais, comprovando que sistema de sensoriamento identifica cada material com essa espessura, conforme a Tabela 2, a partir da sua forma de onda.

Agora iremos conferir a forma de onda para o segundo corpo de prova, referente á este material, conforme a Figura 46, pelos testes aferidos até o momento se espera uma forma de onda parecida com as dos outros materiais, também se espera uma forma de onda única e distinta das demais até o momento.

Isso se dá pela forma que o corpo de prova reage ao feixe ultrassônico, isso quer dizer que, para diferentes materiais á diferentes resposta de sinais para esse

sistema de sensoriamento, isso com os materiais dessa espessura, com a Figura 46 busca-se confirmar isso com uma espessura um pouco maior, afim de, se testar o sistema de sensoriamento deste trabalho.

Figura 46 – Formas de Onda do Terceiro Corpo de Prova do Terceiro material.



Fonte: Própria do autor, 2018.

Como esperado a forma de onda da Figura 46 nos mostra um resultado parecido com as demais formas de onda com os materiais dessa espessura, essa forma de onda apresenta uma largura de 390 us aproximadamente, onde notamos que essa forma de onda representa um material e uma espessura única, confirmando que o sistema de sensoriamento criado funciona para essa espessura também.

E para finalizar essa parte do experimento iremos conferir como o terceiro corpo de prova reage ao feixe ultrassônico emitido pelo sensor HC-SR04 modificado, a Figura 47 mostra como é sua forma de onda, como esperado, desejamos encontrar uma forma de onda única para esse material, afim de, comprovar o funcionamento do sistema de sensoriamento implementado nessa experiência.

Buscamos comprovar o funcionamento do sistema para uma espessura maior, conforme Tabela 2, já que para os outros materiais funcionou, vamos testar também para esse material, o Poliestireno, onde sua estrutura aparenta ser mais leve e menos sólida comparada com os demais corpos de provas desse trabalho.

Figura 47 – Formas de Onda do Terceiro Corpo de Prova do Terceiro material.



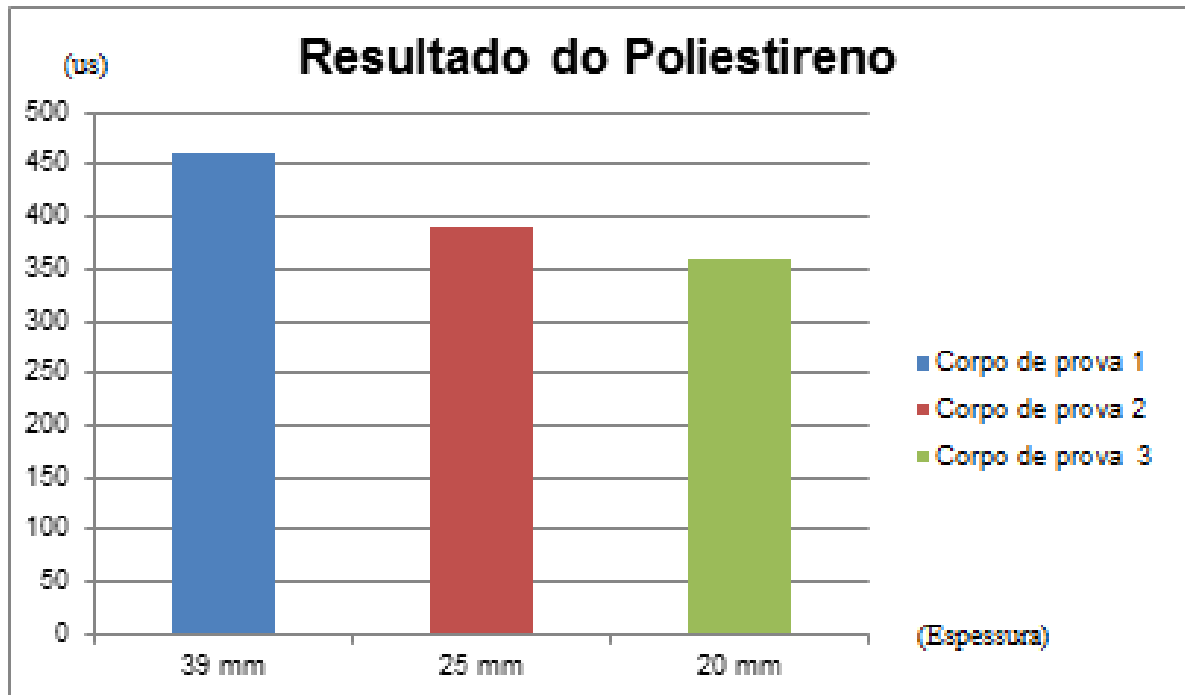
Fonte: Própria do autor, 2018.

Como esperado a forma de onda da Figura 47 mostra um resultado parecido com as demais formas de onda com os materiais dessa espessura, conforme Tabela 2 essa forma de onda apresenta uma largura de 360  $\mu\text{s}$  aproximadamente, onde nota-se que essa forma de onda representa um material e uma espessura única, confirmando que o sistema de sensoriamento criado funciona para essa espessura.

Os corpos de provas referentes ao terceiro material, no caso o Poliestireno, apresentaram larguras distintas uma das outras, e forma únicas se comparando os outros materiais desse trabalho, podendo chegar a uma conclusão, o feixe ultrassônico emitido pelo sensor HC-SR04 modificado, se comporta de forma distinta em cada corpo de prova, como podemos ver no Gráfico 3 (três), onde temos um comparativo entre os resultados obtidos desse material.

O esperado para esse material é o mesmo que foi apresentado para os outros tipos de materiais, formas de ondas variando a sua largura de pulso quando se alterna a espessura do corpo de prova, isso se apresenta como sendo o comportamento do feixe ultrassônico através de um meio de propagação, esse meio se altera mudando-se a quantidade de material pelo qual o feixe ultrassônico consegue atravessar.

Gráfico 3 – Análise das Formas de Onda do Terceiro Material através dos Corpos de Prova.



Fonte: Própria do autor, 2018.

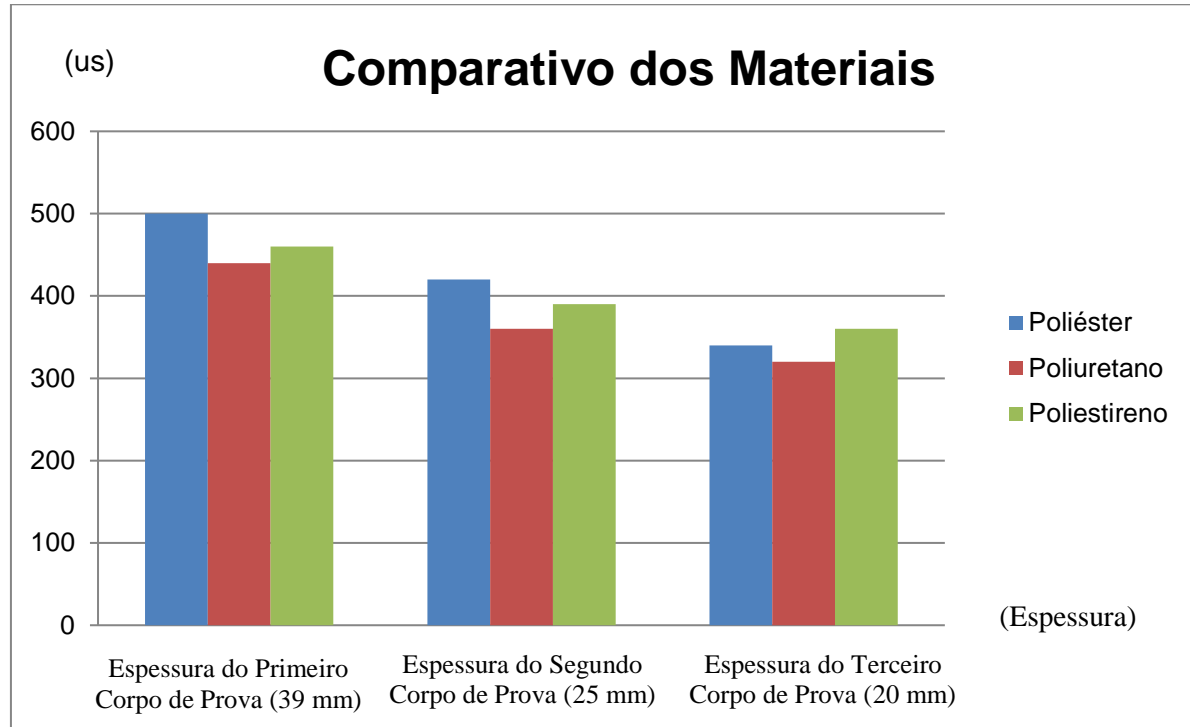
Com os testes realizados chegamos à conclusão que o sistema de sensoriamento implementado para esse experimento funciona, este consegue interpretar o material em teste, dado pelas suas formas de ondas encontradas para cada material e suas respectivas espessuras.

O feixe ultrassônico emitido pelo sensor HC-SR04 modificado reage de forma variada, isso quer dizer que, para cada corpo de prova desse experimento o sensor nos permitiu encontrar uma forma de onda única, sendo que conseguiu diferenciar tanto material quanto a sua espessura, pois o ultrassom é uma propagação de uma massa por um meio, seja ele sólido líquido ou gasoso, no caso desse experimento foram os corpos de provas de poliéster, poliuretano e poliestireno, onde temos o feixe ultrassônico como uma perturbação por um meio, também temos um local de origem e um mecanismo físico que excite as partículas desse meio.

O ultrassom seria uma combinação de sinais, como visto anteriormente, onde podemos representar esse resultado dos sinais por uma senóide, esta apresentada por meio do osciloscópio, onde encontramos as formas de onda para cada

respectivo corpo de prova, onde podemos analisar todos os resultados das formas de onda pelo Gráfico 4 (quatro), onde encontramos todas as larguras de onda de cada corpo de prova e do seu respectivo material.

Gráfico 4 – Comparativo das Formas de Onda do Todos os Corpos Materiais.



Fonte: Própria do autor, 2018.

Podemos notar pelo gráfico 4 que cada forma de onda encontrada no osciloscópio gerou um resultado único, chegando a conclusão que o sensor HC-SR04 modificado definitivamente consegue interpretar cada material e também consegue identificar a espessura de cada corpo de prova, sendo eficaz para o objetivo do trabalho.

Nota-se que o material de Poliéster apresentou uma média mais acentuada em relação à largura de onda encontrada, depois foi o material de Poliestireno e por último foi o Poliuretano, podemos cruzar essas informações pela constituição de cada corpo de prova, pois o material de poliéster é mais rígido do que os outros materiais, tendo que ser catalisado para seu endurecimento, já o poliuretano também precisa de um agente catalisador para seu endurecimento, o que em tese o tornaria o segundo material mais rígido, porém, ele tem a base feita de água, o que permite que ele seja mais leve e menos denso do que o material de Poliestireno, que



aparentemente é mais leve, mas sua constituição apresenta mais dificuldade à passagem do feixe ultrassônico, pois é constituído de material isolante, o ar.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com a análise desse trabalho, pode-se concluir que é possível criar um sistema de sensoriamento para classificar materiais e identificar as suas respectivas espessuras, isto através de uma modificação sensorial e criação de um programa, contribuindo para a realização do experimento.

Isto é possível através de um sensor ultrassônico modificado, que faz a interpretação de informações de caráter analógico, isto é, a medição fornece uma variedade de valores contínuos. O sistema de sensoriamento criado permite identificar os 3 (três) tipos de materiais utilizados juntamente com as variações dos seus corpos de prova, mostrando que o objetivo do trabalho é possível de se alcançar utilizando o ultrassom para isso.

No início desse trabalho não conhecia tal técnica de se utilizar o ultrassom para a aferição dessas características citadas anteriormente, isso foi um empecilho pela falta de informações, atrapalhando a realização desse trabalho, juntamente com a dificuldade em programação por muitas vezes me geraram dúvidas sobre a realização desse experimento.

Porém, nota-se que cada forma de onda encontrada no osciloscópio gerou um resultado único, o que se faz entender que o método utilizado de transmitir o ultrassom através do corpo de prova, utilizando um receptor e um transmissor ultrassônico separados, é eficiente para tais aferições,

Este trabalho permitiu uma contribuição na área estudada ao longo do curso de Eletrônica Automotiva, pois passou por diversas matérias até chegar a sua realização, como eletrônica básica, eletrônica digital, eletrônica analógica, física, linguagem de programação, microcontroladores, metrologia, sensores e atuadores. O que permitiu um método novo para se aferir a qualidade da manutenção automotiva como planejado no início desse trabalho.

Uma melhoria para esse trabalho acadêmico seria de se estender esse trabalho para diversos materiais e áreas de atuação, podendo até se aprimorar a técnica utilizada para tal experimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010317592009000200003&script=sci\\_ar text](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010317592009000200003&script=sci_ar text). Acesso em: 01.Abr.2017
- [2] PILLING, Sergio. **Ondas, som e introdução a bioacústica**. Disponível em: <[http://www1.univap.br/spilling/BIOF/BIOF\\_04\\_Ondas,%20som%20e%20bioacustica.pdf](http://www1.univap.br/spilling/BIOF/BIOF_04_Ondas,%20som%20e%20bioacustica.pdf)> Acesso em: 03 Mai. 2017
- [3] BATALHA, Gilmar; Neudecker, Thomas. **Medição IN-SITU por ultrassom da área real de contato em processo de conformação de metais**. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/app/webroot/anais/cobem/1999/pdf/aaagad.pdf>> Acesso em 03 Mai. 2017
- [4] SCHMITZ, Claudio. **Desenvolvimento de dispositivo para amplificação e pré-amplificação de sinais, para utilização em um sistema de comunicação por ultrassom através de paredes metálicas**. 2013. 79f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/130853/324631.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em 07 Mai. 2017
- [5] [http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/6234910/connepi2010igorribeiro\\_pdseia\\_.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1492224892&Signature=lg51Sv%2F78k42FJTyGy7WT7MyWJg%3D&responsecontentdisposition=inline%3B%20filename%3DPROCESSAMENTO\\_DIGITAL\\_DE\\_SINAIIS\\_E\\_INTELI.pdf](http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/6234910/connepi2010igorribeiro_pdseia_.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1492224892&Signature=lg51Sv%2F78k42FJTyGy7WT7MyWJg%3D&responsecontentdisposition=inline%3B%20filename%3DPROCESSAMENTO_DIGITAL_DE_SINAIIS_E_INTELI.pdf)
- [6] PORTAL DE BUSCA WIKIPEDIA. **Onda**. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Onda#Meios\\_de\\_propaga.C3.A7.C3.A3o](https://pt.wikipedia.org/wiki/Onda#Meios_de_propaga.C3.A7.C3.A3o)> Acesso em 10 Mai. 2017
- [7] PORTAL DE BUSCA WIKIPEDIA. **Som**. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Som>> Acesso em 10 Mai. 2017
- [8] SANTOS, Marco. **O que é som?** Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/o-que-som.htm>> Acesso em 11 Mai. 2017
- [9] PORTAL EXPLICATORIUM. **Sabes o que é som?** Disponível em: <<http://www.explicatorium.com/cfq-8/producao-propagacao-som.html>> Acesso em 11 Mai 2017
- [10] PORTAL DE BUSCA WIKIPEDIA. **Onda mecânica**. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Onda\\_mec%C3%A2nica](https://pt.wikipedia.org/wiki/Onda_mec%C3%A2nica)> Acesso em 11 Mai 2017
- [11] PORTAL DE BUSCA WIKIPEDIA. **Infrassom**. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Infrassom>> Acesso em 11 Mai. 2017
- [12] PORTAL DE BUSCA WIKIPEDIA. **Ultrassom**. Disponível em:

<<https://pt.wikipedia.org/wiki/Ultrassom>> Aceso em 11 Mai. 2017

[13] NETTO, Luiz. **Sinais elétricos e suas formas de onda**. Disponível em: <[http://www.feiradeciencias.com.br/sala15/15\\_07.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala15/15_07.asp)> Acesso em 12 Mai. 2017

[14] CARVALHO, Thomas. **Reverberação**. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/fisica/reverberacao/>> Acesso em 13 Mai.2017

[15] PORTAL SÓ FÍSICA. **Refração de Ondas**. Disponível em: <<http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Ondas/refracao.php>> Acesso em 13 Mai. 2017

[16] VOSS, David. **March 1880: The Curie Brothers Discover Piezoelectricity**. Disponível em: <<https://www.aps.org/publications/apsnews/201403/physicshistory.cfm>> Acesso em 17 Mai. 2017

[17] PORTAL FANÁTICOS PELA CIÊNCIA. Disponível em: < [http://liceefmnsa-charlenia.blogspot.com.br/2011\\_11\\_01\\_archive.html](http://liceefmnsa-charlenia.blogspot.com.br/2011_11_01_archive.html)> Acesso em 17 Mai 2017

[18] MONTEIRO, Amadeu. **Dicionário Reactância**. Disponível em: <<http://www.dicionarioinformal.com.br/react%C3%A2ncia/>> Acesso em 17 Mai 2017

[19] PORTAL El **ecógrafo**. Disponível em: <[https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing\\_ond\\_1/trabajos\\_05\\_06/io1/public\\_html/ecografo.html](https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_05_06/io1/public_html/ecografo.html)> Acesso em 18 Mai. 2017

[20] JUNIOR, Dulcideo. **Física sem trauma**. Disponível em: <[http://fisicamoderna.blog.uol.com.br/arch2010-08-01\\_2010-08-07.html](http://fisicamoderna.blog.uol.com.br/arch2010-08-01_2010-08-07.html)> Acesso em 20 Mai 2017

[21] PORTAL EDUCARCHILE. Disponível em: <<http://www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?id=136147>> Acesso em 20 Mai. 2017

[22] PORTAL EXPLICATORIUM. **O que são ondas?** Disponível em: <<http://www.explicatorium.com/cfq-8/caracteristicas-das-ondas.html>> Acesso em 20 Mai. 2017

[23] PORTAL DE BUSCA WIKIPEDIA. **Amplitude**. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Amplitude>> Acesso em 20 Mai. 2017

[24] ROSÁRIO, Cassiano. **Período e frequência de uma onda**. Disponível em: <<http://yduka.com/sumarios-e-licoes-8/item/caracteristicas-ondas>> Acesso em 20 Mai. 2017

[25] KILHIAN, Kleber. **Qualidades do som**. Disponível em: <<http://obaricentrodamente.blogspot.com.br/2014/02/qualidades-do-som.html>> Acesso em 10 Jun. 2017

[26] BRAGA, Newton. **Conversores de dados: Arquiteturas – (II)**. Disponível

em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/eletronica/52-artigos-diversos/12059-conversores-de-dados-arquiteturas-ii-art1404>> Acesso em 10 Jun. 2017

[27] PORTAL DE BUSCA WIKIPEDIA. **Sistema de processamento distribuído**. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_processamento\\_distribu%C3%ADdo](https://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_processamento_distribu%C3%ADdo)> Acesso em 11 Jun. 2017

[28] CARDOSO, Clara. **Processamento de Sinal para Array Circular de Microfones**. Disponível em: <<https://apeaencontro13.files.wordpress.com/2013/01/clara-cardoso.pdf>> Acesso em 11 Jun. 2017

[29] MANDU, Frede. **Definição: Processador (Microprocessador)**. Disponível em: <<http://www.2be-geek.com/artigos/hardware/definicao-de-processador/>> Acesso em 12 Jun. 2017

[30] BRAGA, Newton. **Conversor DC-CD Positivo para Negativo**. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/eletronica/57-artigos-e-projetos/6877-conversor-dc-dc-positivo-para-negativo-at855g>> Acesso em 12 Jun. 2017.

[31] BRAGA, Newton. **Como funcionam os LDOs**. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/6102-art767>> Acesso em 12 Jun.2017

[32] Electrodragon. **Sensor Ultrassônico HC-SR04**. Disponível em: < [https://www.electrodragon.com/w/HC-SR04\\_Ultrasonic\\_sensor](https://www.electrodragon.com/w/HC-SR04_Ultrasonic_sensor) > Acesso em 10 de Nov. 2018.

[33] ROBOCORE. **Primeiros Passos com Sensor Ultrassônico**. Disponível em: <<http://www.robocore.net/tutoriais/primeiros-passos-com-sensor-ultrassonico.html> > Acesso em 10 Nov.2018

[34] Makerfabs. **Modulo de medição de faixa ultrassônica HC-SR04**. Disponível em: <[http://makerfabs.com/Electricity?product\\_id=72](http://makerfabs.com/Electricity?product_id=72)> Acesso em 12 Nov.2018.

[35] PORTAL DE BUSCA FUTURLEC. **Sensor ultrassônico básico**. Disponível em: <[https://www.futurlec.com/Ultrasonic\\_Sensors.shtml](https://www.futurlec.com/Ultrasonic_Sensors.shtml)> Acesso em 02 de Dez. 2018.

[36] Wordpress, mundo da informática. **Processo de Compilação**. Disponível em: <<https://cristianoliveira7.wordpress.com/2014/09/19/processo-de-compilacao>> Acesso em 04 Dez. 2018.

[37] FEUP, MSIN. **Osciloscópio**. Disponível em: <<https://paginas.fe.up.pt/~ee00264/equipamentos/osciloscopio.html>> Acesso em 05 Dez. 2018.

[38] Omega, Company. **Aquisição de Dados**. Disponível em:

<<http://br.omega.com/prodinfo/aquisicao-de-dados.html>> Acesso em 05 Dez. 2018.

[39] PORTAL DE BUSCA WIKIPEDIA. **Onda**. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Onda#Meios\\_de\\_propaga.C3.A7.C3.A3o](https://pt.wikipedia.org/wiki/Onda#Meios_de_propaga.C3.A7.C3.A3o)> Acesso em 10 Mai. 2017

[40] Blogpost, Tecnologia de Computadoers. **História das linguagens de Programação**. Disponível em: < <http://ademir-ds.blogspot.com/2010/05/evolucao-das-linguagens-de-programacao.html> > Acesso em 05 Out. 2018.

[41] HARDWARE. **Sensor HC-SR04**. Disponível em: < [www.hardware.com.br](http://www.hardware.com.br)> Acesso em 05 Out. 2018

[42] PORTAL EXPLICATORIUM. **Sabes o que é som?** Disponível em: <<http://www.explicatorium.com/cfq-8/producao-propagacao-som.html>> Acesso em 11 Mai 2017

[43] AUTOCORE, blog. **Aprenda a utilizar o Sensor de Distância Ultrassônico HC-SR04 com Arduino**. Disponível em: <<https://autocorerobotica.blog.br/aprenda-utilizar-o-sensor-de-distancia-ultrassonico-hc-sr04-com-arduino/>> Acesso em 08 Out. 2018.

[44] Wordpress, Builbot. **Como utilizar o sensor ultrassonico HC-SR04**. Disponível em: <<https://autocorerobotica.blog.br/aprenda-utilizar-o-sensor-de-distancia-ultrassonico-hc-sr04-com-arduino/>> Acesso em 08 Out. 2018.

[45] Wordpress,HC-SR04. **Detecção de proximidade usando sensores ultrassônicos**. Disponível em: <<https://shaiwininger.wordpress.com/tag/hc-sr04/>> Acesso em 08 de Nov.2018.

[46] GARAGE, Engineers “**Data Sheet**”, Disponível em: <<http://www.engineersgarage.com/electronic-components/16x2-lcd-module-datasheet>>. Acesso em 10 jun.2018

[47] Notas de aula (Unidades de Gerenciamento eletrônico) e esquemas elétricos do projeto ECU fornecidos pelo Prof. Dr. Edson Kitani. Acesso em 15 jun.2018

## APÊNDICE A – SOFTWARE DEDICADO PARA ANÁLISE DO SINAL PROVENIENTE DO SENSOR DE ULTRASSOM

```

#include <18f4550.h>
#DEVICE ADC = 10;
#include "Base_lib.h"
#include "usb_bootloader.h"

#define LED_VERDE          PIN_D0
#define BUTTON             PIN_A4
#define TRIGGER            PIN_E0
#define ECHO               PIN_E1

int16 g_contagem_echo = 0;
int16 g_finalizou_contagem = 0;
int16 g_inicio = 0;
float g_distancia_objeto = 0.0;

#INT_TIMER1
void interrupcao_timer()
{
    set_timer1(0);

    if(input_state(ECHO))
    {
        g_inicio = 1;
        if(g_contagem_echo < 800)    //800 = 4m -> se for menor que
4m, continua contando
        {
            g_contagem_echo++;
        }
        else    //se passou os 4m e o estado é high, entao nao
encontrou nenhum objeto
        {
            g_contagem_echo = 801;
            disable_interrupts(INT_TIMER1);
            g_finalizou_contagem = 1;
        }
    }
    else
    {
        if(g_inicio == 1)
        {
            disable_interrupts(INT_TIMER1);
            g_finalizou_contagem = 1;
        }
    }

    set_timer1(65480);    // interrupção de 29us -> corresponde a
0,5cm
}

```

```

void main(void) {

    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    setup_adc_ports(AN0);
    set_adc_channel(0);

    //SETUP TIMER1
    setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_2); //setup interrupts
    enable_interrupts(INT_TIMER1); //set timer
    enable_interrupts(GLOBAL); //set timer
    set_timer1(0);
    g_finalizou_contagem = 1;

while(TRUE)
{
    output_high(LED_VERDE);
    delay_ms(100);
    output_low(LED_VERDE);
    delay_ms(100);

    if(g_finalizou_contagem == 1)
    {

        delay_ms(100);

        g_finalizou_contagem = 0;
        g_inicio = 0;
        g_contagem_echo = 0;
        set_timer1(65480);
        enable_interrupts(INT_TIMER1); //set

timer

        output_high(TRIGGER);
        delay_us(10);
        output_low(TRIGGER);

    }

}
}

```