

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

JOÃO GILBERTO HOFFMANN
MÁRCIA SANTOS

PROJETO DE TRENA ULTRASSÔNICA

São Leopoldo
2020

JOÃO GILBERTO HOFFMANN
MÁRCIA SANTOS

PROJETO DE TREENA ULTRASSÔNICA

Trabalho apresentado para a disciplina Instrumentação Eletrônica, pelo Curso de Engenharia da Computação da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, ministrada pelo(a) professor(a) Leonel Poltosi.

São Leopoldo
2020

SUMÁRIO

1.	OBJETIVOS	3
2.	ESTADO DA ARTE.....	4
2.1.	Ultrassom	4
2.2.	Realizando Medidas com Ultrassom	5
2.3.	Rede MQTT.....	5
3.	BENCHMARKING	6
4.	ESQUEMA ELÉTRICO	7
4.1.	Circuito emissor TX.....	7
4.2.	Circuito receptor RX.....	9
5.	LISTA DE MATERIAIS (BOM)	11
6.	REDE MQTT	11
6.1.	Broker	11
6.2.	Editor (Publisher)	12
6.3.	Inscrito (Subscriber)	13
7.	FIRMWARE	14
8.	CALIBRAÇÃO DO SISTEMA	14
9.	RESULTADOS	16
10.	CONCLUSÃO	17

1. OBJETIVOS

O objetivo do projeto é desenvolver uma trena digital utilizando dos princípios físicos do ultrassom, assim permitindo medidas sem necessidade de toque e com uma determinada distância. Como objetivos específicos o projeto apresenta o controle das medições utilizando o microcontrolador ESP32 e a demonstração inicial das medições a partir de um display conectado ao microcontrolador. Posteriormente, o projeto tem o objetivo de implementar uma rede MQTT para conexão do medidor a um aplicativo.

2. ESTADO DA ARTE

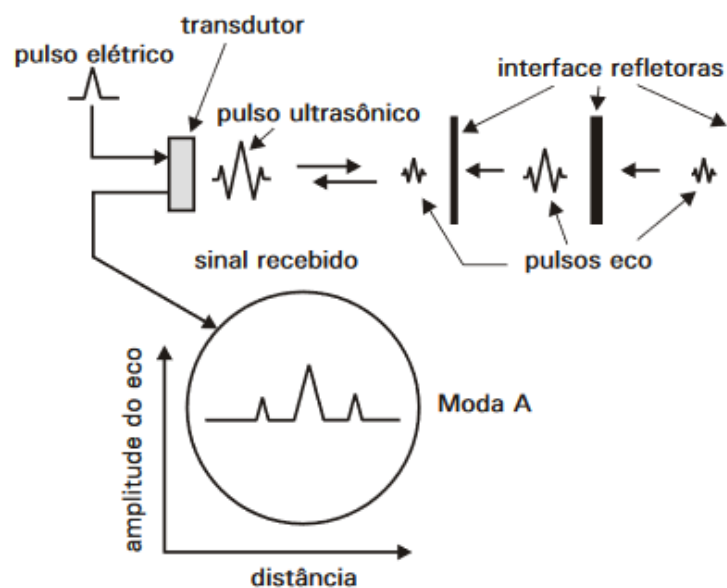
2.1. Ultrassom

Uma onda é uma perturbação oscilante de alguma grandeza física no espaço e periódica no tempo. O ultrassom, portanto, é uma onda sonora(mecânica) com frequência maior ao limite audível pelo ser humano, ou seja, acima de 16KHz.

O ultrassom apresenta diferentes velocidades de propagação para diferentes meios, e com essa propriedade é possível utilizá-lo para aplicações como imagens médicas e medições. Por exemplo, no ar, a sua velocidade de propagação é 330 metros por segundo, e na água a 1500 metros por segundo WELLS, P.N.T.

As ondas ultrassônicas são geradas por transdutores construídos a partir de materiais piezoelétricos, que apresentam esse nome pois são regidos pelo efeito piezoelétrico. A piezeletricidade é a propriedade que alguns materiais apresentam quando respondem a uma tensão aplicada nos eletrodos de sua superfície gerando uma deformação mecânica. Da mesma forma como esse material gera esse sinal mecânica, ele consegue captar um sinal mecânica e transformar em sinal elétrico, assim temos a nossa emissão e recepção de sinal para os sistemas ultrassônicos [2]. Na figura 1 é apresentado um resumo do processo de uso do transdutor piezoelétrico.

Figura 1 - Resumo Funcionamento Transdutores Piezoelétricos



Fonte: BISCEGLI, 2003

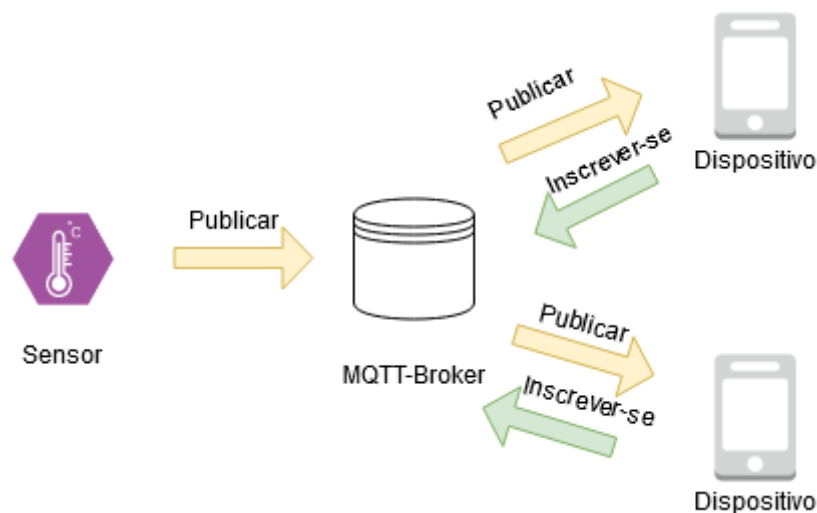
2.2. Realizando Medidas com Ultrassom

Os sensores ultrassônicos possuem um emissor e um receptor de ondas sonoras. Com a emissão da onda, é iniciado uma espécie de relógio de alta precisão que cronometra o tempo entre a emissão e recepção da onda. Uma vez que a velocidade do som no ar é 340 metros por segundo, é possível, através do tempo que o sinal levou para colidir com o obstáculo e retornar, calcular qual a distância percorrida entre sensor e obstáculo.

2.3. Rede MQTT

O MQTT (Message Queue Telemetry Transport) é um protocolo que foi inventado no fim dos anos 90 pela IBM com o objetivo vincular sensores em pipelines de petróleo a satélites. Ele é um protocolo de mensagem com suporte para a comunicação assíncrona entre diversas partes, assim desacoplando o emissor e o receptor da mensagem. Em uma rede que utiliza MQTT o sensor é ativo, sendo ele quem publica as medidas no broker. Os dispositivos, então, se inscrevem no broker, o qual se encarrega de publicas neles conforme período especificado ou solicitação.

Figura 2 – Rede MQTT



Fonte: Desenvolvido pelos autores.

3. BENCHMARKING

A proposta do projeto consiste no projeto de uma trena digital ultrassônica. Além de benchmark de trenas ultrassônicas, podemos considerar também as trenas que utilizam laser para realização das medidas. Na figura 2 é apresentado os benchmarks utilizados para a realização desse projeto.

Figura 3 – Benchmark escolhido.

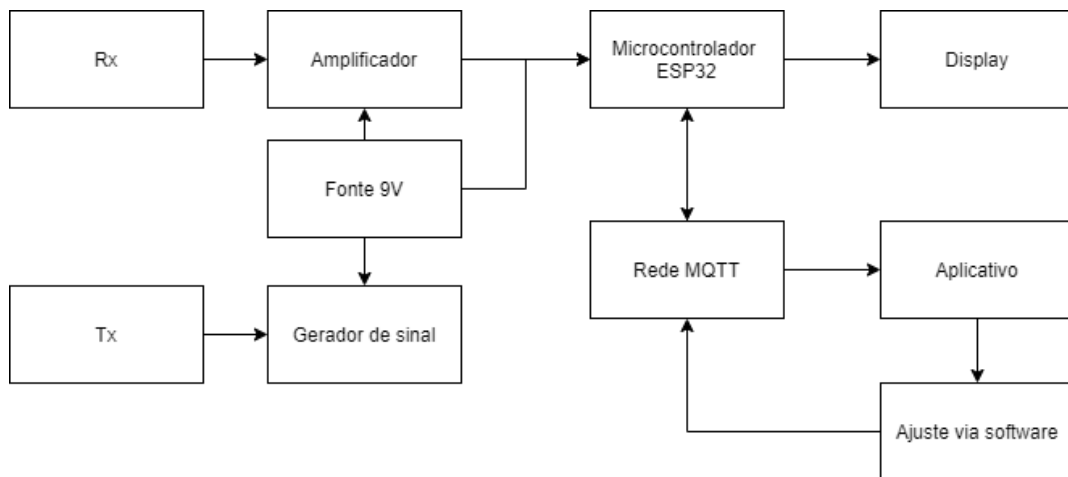
Modelo	TEM-035	CP-3007	AR-851	TR-60	SH-020
Fabricante	Exbom	Magnus Eletrônica	Powerpack	Instruterm	Unisinos
Imagem					N/A
Faixa de medição	0,5 ~ 18 m	0.55 ~ 18.28m	0.9 ~ 10 m	0,5 ~ 50 m	0.02 ~ 4m
Resolução	1mm	1mm	1mm	1mm	N/A
Precisão	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±1%	±3mm
Dimensões	115x75x45mm	155 X 75 X 45mm	16 × 11 × 11.5 mm	150 x 75 x 46mm	N/A
Peso	157g	108g	300g	315g	N/A
Temperatura de operação	0 ~ 43 °C	0 ~ 43 ° C	0 ~ 43 ° C	0 ~ 43 ° C	N/A
Frequência	40kHz	40kHz	40kHz	40kHz	40kHz
Alimentação	9V	9V	9V	9V	9V
Display	LCD 8x1	LCD 8x1	LCD 8x1	LCD 8x1	OLED 128x64

Fonte: Desenvolvido pelos autores.

4. ESQUEMA ELÉTRICO

O esquema elétrico de um sensor ultrassom é dividido em duas partes, uma parte é responsável pelo envio do sinal de 40kHz e a outra parte é deve ser capaz de perceber o sinal emitido.

Figura 4 – Diagrama de Blocos do Sistema

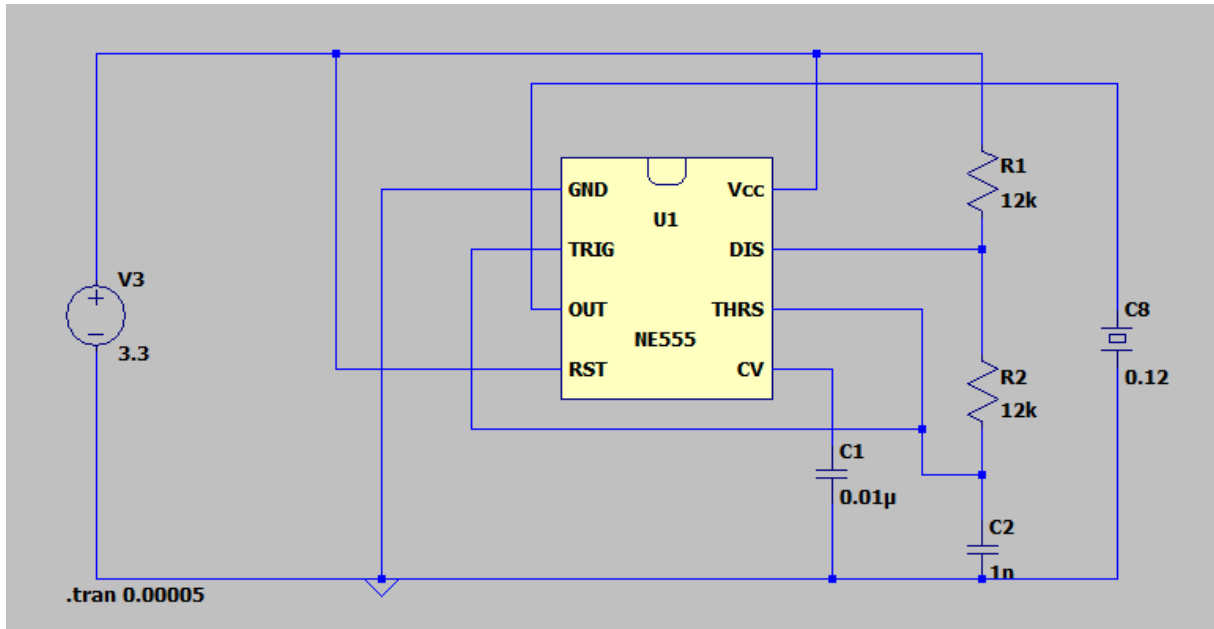


Fonte: Desenvolvido pelos autores.

4.1. Circuito emissor TX

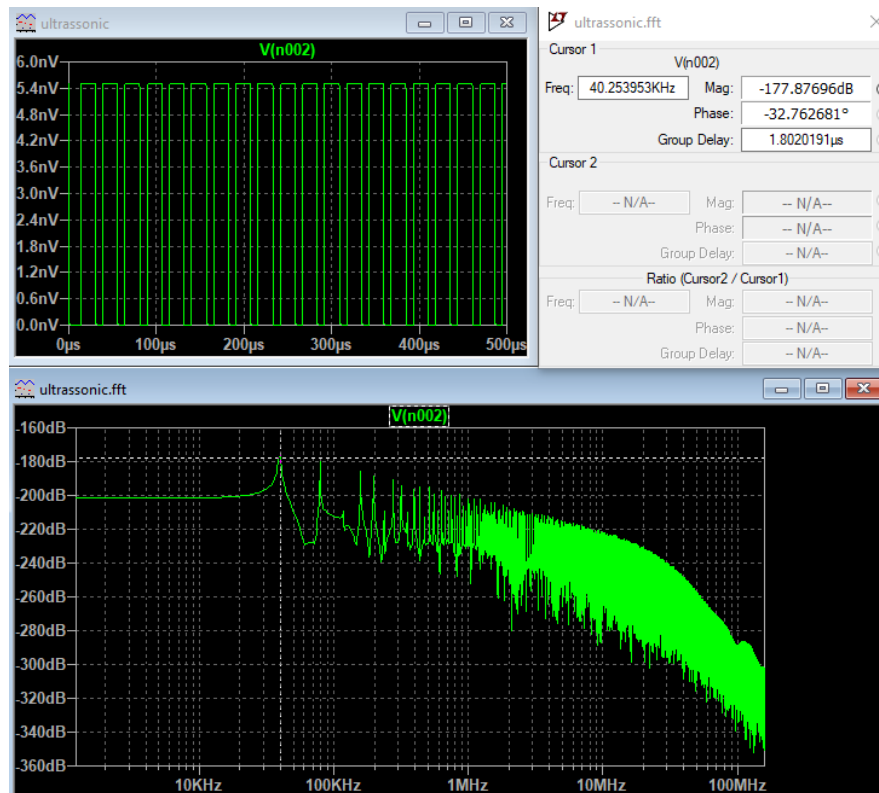
O circuito emissor é composto basicamente de um CI NE555, utilizado como gerador de sinal, com seus resistores e capacitores calculados para gerar uma frequência de 40kHz emitida pelo transdutor, pode ser visto na figura 3. O gerador de sinal é alimentado em 3.3V pois está conectado diretamente ao microcontrolador ESP32.

Figura 5 – Circuito emissor.



Fonte: Desenvolvido pelos autores.

Figura 6 – Sinal emitido pelo circuito TX.



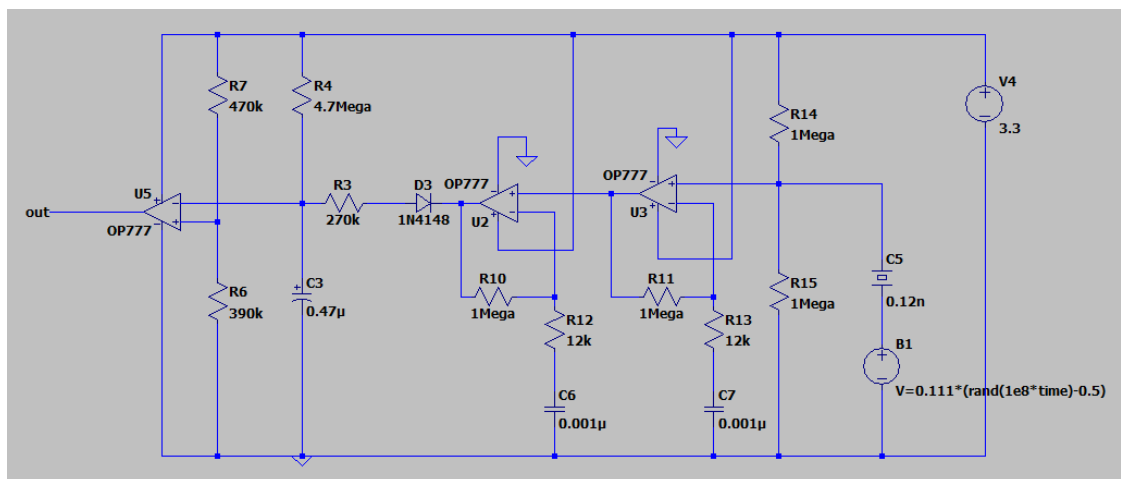
Fonte: Desenvolvido pelos autores.

4.2. Circuito receptor RX

O circuito receptor é bem mais complexo, composto de filtros, um comparador e um retificador de sinal usado como conversor analógico/digital. A função dos filtros é garantir a passagem da faixa de 40kHz. Neste circuito para fim de simulação foi adicionado uma fonte de ruído para simular a excitação do transdutor conforme Figura 8.

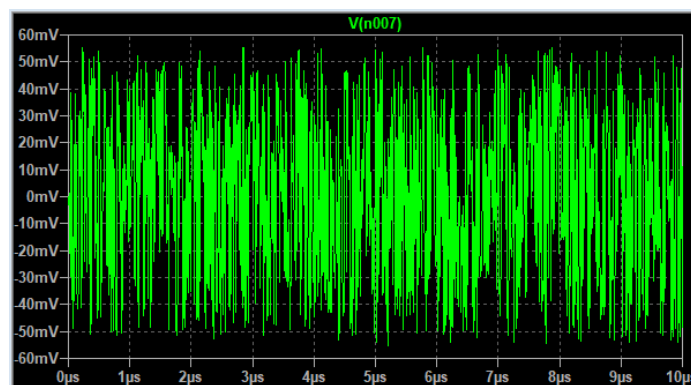
O sinal emitido pelo tradutor passa pelos filtros, caso esteja na faixa adequada ele segue ao retificador para que seja comparado de forma correta com o sinal do microcontrolador, a diferença entre os sinais pode ser vistas nas Figuras 8 e 9. Portanto para que o microcontrolador possa receber um sinal do circuito receptor, o transdutor deve ser excitado pela frequência correta.

Figura 7 – Circuito receptor.



Fonte: Desenvolvido pelos autores.

Figura 8 – Sinal do transdutor simulado.



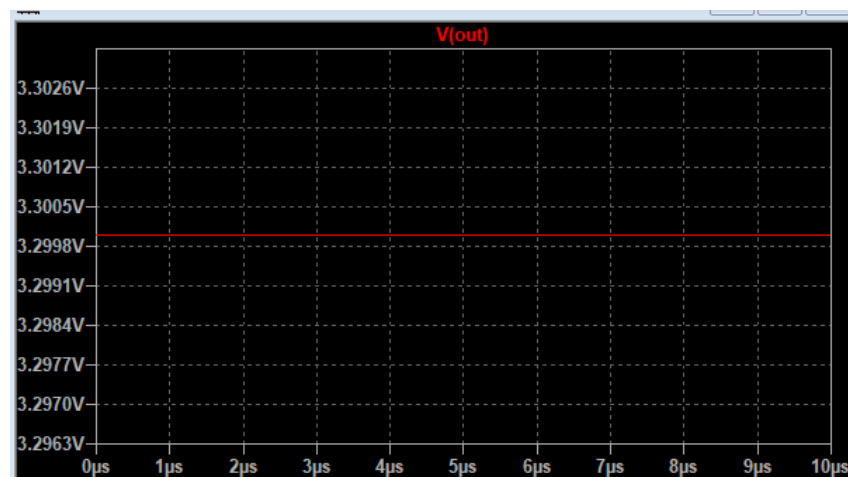
Fonte: Desenvolvido pelos autores.

Figura 9 – Sinal recebido pelo ESP32 sem interferência do transdutor



Fonte: Desenvolvido pelos autores.

Figura 10 - Sinal recebido pelo ESP32 com excitação do transdutor.



Fonte: Desenvolvido pelos autores.

5. LISTA DE MATERIAIS (BOM)

Tabela 1 – Lista de materiais.

Quant.	Componente	Part Number
1	NE555	U1
3	OP777	U2, U3 e U5
4	Resistores 12kOhm	R1, R2, R12 e R13
4	Resistores 1MOhm	R10, R11, R14 e R15
1	Resistor 390kOhm	R6
1	Resistor 470kOhm	R7
1	Resistor 4.7MOhm	R4
2	Capacitores 1nF	C6 e C7
1	Capacitor 0.47uF	C3
1	Capacitor de 10nF	C1
1	Capacitor de 1nF	C2
1	ESP32	
1	Bateria 9V	
1	Display OLED 0,96"	

Fonte: Desenvolvido pelos autores.

6. REDE MQTT

6.1. Broker

O MQTT funciona com base em publicações e inscrições. O elemento broker tem a função de gerenciar tanto as publicações quanto as inscrições dos elementos conectados a rede. Ele é como um mediador, que torna possível a comunicação entre os sensores e os dispositivos. Para o broker foi utilizado o iot.eclipse.org que é uma plataforma open source para IoT. As mensagens enviadas pelo sensor são compostas por um tópico, que seria como uma subdivisão de dados da rede, e pela mensagem.

6.2. Editor (Publisher)

O componente da rede MQTT que é responsável por conectar o sensor a rede é o Publisher. Para esse projeto foi utilizado a placa de desenvolvimento NodeMCU que contém um microcontrolado ESP8266, o qual é composto por Wifi. Através desse microcontrolador é possível se conectar ao broker ao mesmo tempo que é gerenciado as medições da trena. O código utilizado para teste do Publisher foi o seguinte:

```
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
char ssid[] = "NOME-WIFI";
const char* password = "SENHA-WIFI";
const char* mqttServer = "mqtt.eclipse.org";
const int mqttPort = 1883;
const char* mqttUser = "abcdefg";
const char* mqttPassword = "123456";
WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
int contador = 1;
char mensagem[30];
void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
  {
    delay(500);
    Serial.println("Iniciando conexao com a rede WiFi.");
  }
  Serial.println("Conectado na rede WiFi!");
}
void loop()
{
  //Faz a conexao com o broker MQTT
  reconnectbroker();
  char mensagem[] = "Medida: 34,5 cm";
  Serial.print("Mensagem enviada: ");
  Serial.println(mensagem);
  //Envia a mensagem ao broker
  client.publish("InstruUni", mensagem);
  Serial.println("Mensagem enviada com sucesso...");

  //Aguarda 30 segundos para enviar uma nova mensagem
  delay(30000);
}
```

```

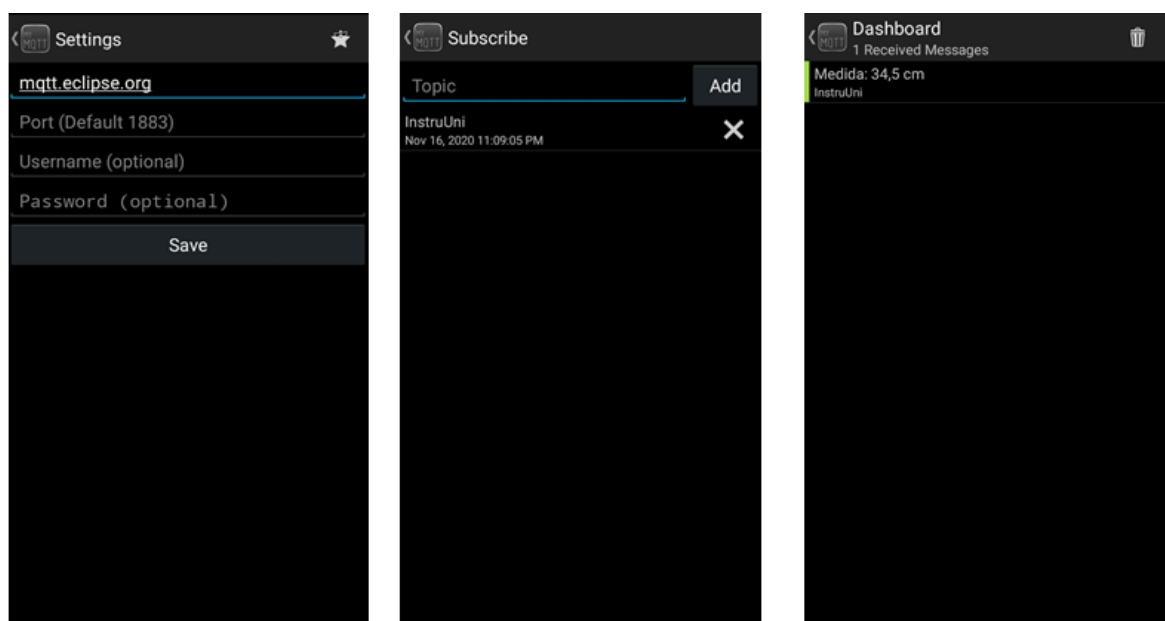
}
void reconnectbroker()
{
  //Conexao ao broker MQTT
  client.setServer(mqttServer, mqttPort);
  while (!client.connected())
  {
    Serial.println("Conectando ao broker MQTT...");
    if (client.connect("ESP32Client", mqttUser, mqttPassword))
    {
      Serial.println("Conectado ao broker!");
    }
    else
    {
      Serial.print("Falha na conexao ao broker - Estado: ");
      Serial.print(client.state());
      delay(2000);
    }
  }
}
}
}

```

6.3. Inscrito (Subscriber)

O dispositivo que receberá os dados do broker, ou seja, o inscrito, se conecta no broker e assinando o tópico desejado e assim passa a receber suas mensagens. Para o inscrito utilizamos o aplicativo MyMQTT.

Figura 11 – Aplicativo MyMQTT com Teste do Código



Fonte: Desenvolvido pelos autores.

7. FIRMWARE

Para completar o circuito de medição com ultrassom é preciso que o microcontrolador consiga realizar os estímulos ao circuito de emissão(TX) de sinal, e receba e processe o sinal de recepção(RX). Para isso, foi adicionado ao código MQTT as seguintes funções:

```
void TX(){
  while(cont < 9){

    digitalWrite(trigger, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigger, HIGH); // ----- Emite 8 pulsos de 10 microsegundos -----
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigger, LOW);
    tempoAtual = millis(); // ----- Guarda o tempo q o ultimo pulso foi enviado -----
    cont++;
  }
}

void RX(){
  if (digitalRead(echo) == HIGH){ // ----- Guardo o tempo que o transdutor recebe a resposta -----
    tempo = (tempoFinal - tempoAtual);
    distancia = ((tempo * 0.001) * 343)/2; // ----- calcula a distancia do objeto -----
  }
}
```

8. CALIBRAÇÃO DO SISTEMA

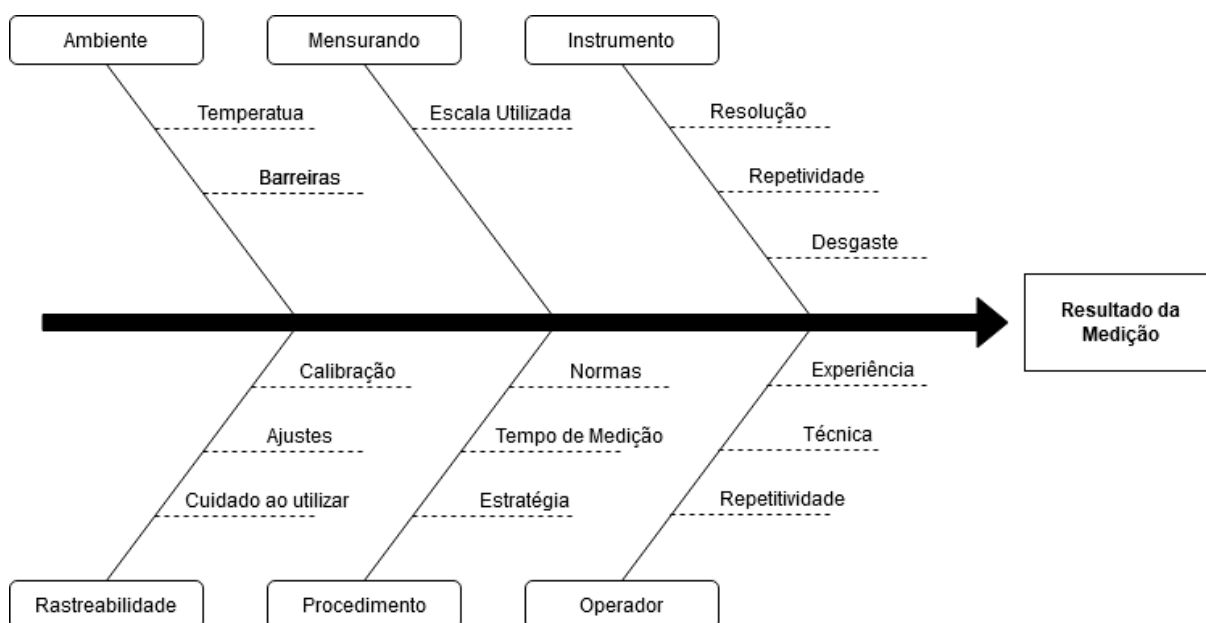
Visto que o trabalho abrangia apenas simulação, e não encontrando uma exata metodologia para calibração coerente durante as simulações digitais, foi definido uma metodologia para realização da calibração quando o circuito for de fato montado e testado em bancada.

Para a criação do roteiro de calibração, foi analisado o processo de medição e a observação dos fenômenos e fatores que influenciam nas medições. Após foi considerado as principais possíveis fontes de incerteza sendo elas as seguintes:

- i. Repetição na medição das amostras apresentadas (R_e), o fato de as indicações não mostrarem sempre o mesmo valor é uma contribuição aleatória;

- ii. Correção obtida diretamente da calibração (cal), contribuem com uma parcela sistemática a ser compensada e a incerteza das calibrações é uma componente aleatória;
- iii. Variação de temperatura entre as condições de uso de calibração (D_{ter}), decorrendo da diferença entre as temperaturas média e de referência, na qual a calibração foi efetuada.
- iv. Variação temporal com uma deriva de 0,00008m com uma diferença de 3 meses.

Figura 12 - Fenômenos associados ao processo



Fonte: Desenvolvido pelos autores.

É importante, também, considerar a incerteza do equipamento referencia. Para essa calibração será utilizado a trena ultrassônica AR-851 da Powerpack que apresenta uma resolução de 1mm e uma precisão de mais ou menos 1%.

Para auxiliar o processo de calibração, utilizaremos uma mesa com marcação de distância, para auxílio no posicionamento do dispositivo desenvolvido nesse projeto e para o medidor padrão. Considerando que o medidor padrão realiza medidas de 0,1m a 4m, será considerado 3 pontos de média: 0,4m, 2m e 3,8m. Para cada ponto de medida, serão realizadas 30 medidas com um espaço de tempo de 10 segundo entre cada uma. Para padronizar a anotações e minimizar erros ao cronometrar o tempo, um vídeo será gravado do display dos dispositivos e a partir dele serão coletadas as 30 medidas.

9. RESULTADOS

Os resultados são apresentados na forma de tabelas de incertezas conforme norma GUM. As tabelas mostram a exatidão e a correção combinada para 10%, 50% e 95% dos valores do fundo de escala.

Tabela 2 - Incertezas de medição para 10% do fundo de escala.

Fonte	Estimativa xi	tipo	distribuição	divisor	incerteza Ui	GL
repetibilidade	0,399926m	A	normal	1	0,001245	29
Temporal	0	B	retangular	V3	0,000086	∞
calibração	0,002m	B	normal	1	0,001000	∞
termica	0	B	retangular	V3	0,002309	∞
resolução	0,01m	B	retangular	V3	0,002886	∞
incerteza combinada					0,004027	
Graus de liberdade Veff					2,599506	
fator de abrangencia K = t student 95%					1,699	
incerteza expandida U=K.Uc					0,006842	
Correção combinada					0,39 ± 0,01m	

Fonte: Desenvolvido pelos autores.

Tabela 3 - Incertezas de medição para 50% do fundo de escala.

Fonte	Estimativa xi	tipo	distribuição	divisor	incerteza Ui	GL
repetibilidade	2,001111m	A	normal	1	0,001627	29
Temporal	0	B	retangular	V3	0,000086	∞
calibração	0,002m	B	normal	1	0,001000	∞
termica	0	B	retangular	V3	0,002309	∞
resolução	0,01m	B	retangular	V3	0,002886	∞
incerteza combinada					0,004161	
Graus de liberdade Veff					2,834187	
fator de abrangencia K = t student 95%					1,699	
incerteza expandida U=K.Uc					0,007071	
Correção combinada					1,99 ± 0,01m	

Fonte: Desenvolvido pelos autores.

Tabela 4 - Incertezas de medição para 95% do fundo de escala.

Fonte	Estimativa xi	tipo	distribuição	divisor	incerteza Ui	GL
repetibilidade	3,802593m	A	normal	1	0,00130016	29
Temporal	0	B	retangular	V3	0,00008660	∞
calibração	0,002m	B	normal	1	0,00100000	∞
termica	0	B	retangular	V3	0,00230940	∞
resolução	0,01m	B	retangular	V3	0,00288600	∞
incerteza combinada					0,004044779	
Graus de liberdade Veff					2,632503031	
fator de abrangencia K = t student 95%					1,699	
incerteza expandida U=K.Uc					0,00687208	
Correção combinada					3,80 ± 0,01m	

Fonte: Desenvolvido pelos autores.

10. CONCLUSÃO

O trabalho em questão teve o objetivo de projetar e simular um dispositivo medidor ultrassônico sem a utilização de um módulo ultrassom. Para este fim, foi desenvolvido dois circuitos um de emissão de sinal e um de recepção, ambos controlados por um microcontrolador ESP8266. Juntamente com o sistema, foi desenvolvido uma rede MQTT para monitoramento de medidas com o celular. Uma parte muito importante do projeto foi a realização da calibração, que foi realizada através do simulador e da geração de 30 valores aleatórios e foi estabelecido um plano de teste para quando o projeto for implementado em bancada. Apesar de não ter sido um trabalho prático ele foi essencial para o entendimento integral do conteúdo abordado na disciplina, dos sensores estudados, aos processos de calibração.

REFERÊNCIAS

- [1] BISCEGLI, C. I. Conceitos da Física do Ultra-som. Embrapa Instrumentação-Documentos (INFOTECA-E), 2003.
- [2] WELLS, P.N.T. Physical Principles of Ultrasonic Diagnosis. London: Academic Press, 1969.
- [3] ALLEN, Mike (Ed.). The SAGE encyclopedia of communication research methods. Sage Publications, 2017.
- [4] BALEN, Tiago R.; LUBASZEWSKI, Marcelo S. Teste e Projeto Visando a Testabilidade de Circuitos e Sistemas Integrados.