

Um Protótipo de Detector da Direção de Sons Altos para Pessoas com Deficiência Auditiva

Julio Leite Tavares Neto



CENTRO DE INFORMÁTICA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

João Pessoa - PB
Maio de 2024

Julio Leite Tavares Neto

Um Protótipo de Detector da Direção de Sons Altos para Pessoas com Deficiência Auditiva

Relatório Técnico apresentado ao curso
Engenharia de Computação do Centro de
Informática, da Universidade Federal da Paraíba,
como requisito para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Lincoln David Nery e Silva

João Pessoa - PB
Maio de 2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

T231p Tavares Neto, Julio Leite.

Um protótipo de detector da direção de sons altos
para pessoas com deficiência auditiva / Julio Leite
Tavares Neto. - João Pessoa, 2024.

88 f. : il.

Orientação: Lincoln Silva.

TCC (Graduação) - UFPB/Informática.

1. Sensores. 2. Acessibilidade. 3. Detecção. 4.
Segurança. I. Silva, Lincoln. II. Título.

UFPB/CI

CDU 004:615.851.4



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE INFORMÁTICA

ATA DE DEFESA PÚBLICA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos **08** dias do mês de **Maio** de **2024**, às **9:00** horas, em sessão pública, na presença da banca examinadora presidida pelo professor orientador **Lincoln David Nery e Silva (DI/CI/UFPB)**, **Thaís Gaudencio do Rêgo (DI/CI/UFPB)**, e por **Carlos Eduardo Coelho Freire Batista (DI/CI/UFPB)**, o aluno **Julio Leite Tavares Neto** apresentou o trabalho de conclusão de curso intitulado: **Um protótipo de detector de sons altos para surdos**, como requisito curricular indispensável para a integralização do Curso de **Engenharia da Computação**.

Após a exposição oral, o candidato foi arguido pelos componentes da banca que reuniram-se reservadamente, e decidiram pela **APROVAÇÃO** da monografia, com nota **9,0 (nove)**. Divulgando o resultado formalmente ao aluno e demais presentes, eu, na qualidade de Presidente da Banca, lavrei a presente ata que será assinada por mim, pelos demais examinadores e pelo aluno.

João Pessoa, 08 de Maio de 2024

Documento assinado digitalmente
gov.br LINCOLN DAVID NERY E SILVA
Data: 14/05/2024 11:02:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Lincoln David Nery e Silva

Documento assinado digitalmente
gov.br THAIS GAUDENCIO DO REGO
Data: 15/05/2024 10:16:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Thaís Gaudencio do Rêgo

Documento assinado digitalmente
gov.br CARLOS EDUARDO COELHO FREIRE BATISTA
Data: 15/05/2024 10:27:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Carlos Eduardo Coelho Freire Batista

Centro de Informática, Universidade Federal da Paraíba

Rua dos Escoteiros, Mangabeira VII, João Pessoa, Paraíba, Brasil CEP: 58058-600 Fone: +55 (83) 3216 7093 / Fax:
+55 (83) 3216 7117

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todas as pessoas que estiveram ao meu lado durante esta jornada desafiadora. A minha família que sempre me deu forças e ao meu estimado orientador, Lincoln David, pelo apoio incondicional, orientação e sabedoria compartilhada ao longo deste caminho.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todas as pessoas que tornaram possível a realização deste trabalho.

Primeiramente, agradeço ao meu orientador, Lincoln David, pela sua orientação perspicaz, paciência e apoio constante ao longo deste processo. Suas contribuições foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho e para o meu crescimento como profissional.

À minha família, meu pai Elieser Tavares, minha mãe Maria Socorro Tavares e meu irmão Everton e a todos meus outros irmãos, meu profundo agradecimento por todo o amor, incentivo e apoio incondicional que me proporcionaram ao longo dos anos. Vocês são minha fonte de força e inspiração, assim como vocês são a força que me levanta sempre que caio em desespero ou desesperança.

Agradeço também aos professores e colegas de curso que compartilharam seus conhecimentos e experiências, enriquecendo minha jornada acadêmica.

Às amigas que fiz ao longo desta trajetória, obrigado por estarem ao meu lado nos momentos de desafio e celebração.

Por fim, expresso minha gratidão a todos os que de alguma forma contribuíram para este trabalho, direta ou indiretamente.

Este trabalho é resultado não apenas do meu esforço, mas também do apoio e colaboração de todos vocês. Muito obrigado.

RESUMO

Pessoas com problemas auditivos, especialmente em casos graves, enfrentam riscos aumentados de acidentes, devido à incapacidade de reagir a estímulos sonoros de aviso. Para mitigar esses riscos, propôs-se um dispositivo que detecta sons potencialmente perigosos e orienta o usuário sobre a direção do perigo. A pesquisa envolveu a seleção de materiais, microcontroladores e sensores adequados, bem como o desenvolvimento de algoritmos para calcular a direção do som e a interface com o usuário. Sete testes foram conduzidos, quatro avaliando a precisão do sistema em diferentes situações, enquanto os demais focaram na calibração, sensibilidade e controle do dispositivo. Os resultados dos testes foram satisfatórios, demonstrando uma tendência de desempenho esperada em termos de acertos e erros. Este trabalho representa um esforço para melhorar a segurança e a autonomia das pessoas com deficiência auditiva em suas atividades diárias.

Palavras-chave: sensores, acessibilidade, detecção, segurança

ABSTRACT

People with hearing impairments, especially those with severe cases, are often at risk of accidents, due to their inability to react to auditory warnings. To address these risks, a solution was proposed: a device that detects potentially dangerous sounds and alerts the user to the direction of the danger. Research involved selecting suitable materials, microcontrollers, and sensors, as well as developing algorithms to calculate sound direction and interface with the user. Seven tests were conducted, four assessing the system's accuracy in different situations, while the others focused on calibration, sensitivity, and control of the device. Test results were satisfactory, showing an expected performance trend in terms of accuracy and errors. This work represents an effort to enhance the safety and autonomy of individuals with hearing impairments in their daily activities.

Key-words: sensors, accessibility, detection, security

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Módulo Sensor Detector de Som/Ruído KY-038.....	23
Figura 2: Módulo Bluetooth HC-05 Mestre.....	25
Figura 3: Módulo Bluetooth HC-05 Mestre esquema de pinos.....	26
Figura 4: Tela de desenvolvimento de aplicativo do Kodular.....	27
Figura 5: Arduino Uno.....	29
Figura 6: Rosa-dos-ventos sob a perspectiva do usuário da solução vista de cima..	31
Figura 7: Rosa-dos-ventos, a linha verde representa os possíveis locais da origem do som.....	34
Figura 8: Rosa-dos-ventos, a linha verde representa os possíveis locais da origem do som.....	36
Figura 9: Rosa-dos-ventos com cada direção com sua angulação.....	39
Figura 10: Rosa-dos-ventos alterada com a noção de direção e sentido do algoritmo. Assim como os valores para cada região.....	41
Figura 11: Tela inicial do aplicativo.....	43
Figura 12: A imagem da esquerda (a) mostra uma rosa-dos-ventos, o local que está pintado de vermelho mostra a direção. A imagem à direita (b) mostra o menu do aplicativo.....	45
Figura 13: A tela de configurações.....	46
Figura 15: Como os sensores estão distribuídos.....	51
Figura 16: A imagem a direita (a) mostra o usuário da solução usando o aplicativo e a imagem (b) indo em direção ao som captado.....	52
Figura 17: A sequência de imagens mostra o usuário da solução usando o aplicativo e mostrando como o cinto fica no usuário.....	52
Figura 18: Mostra a tela Monitor Serial do Arduino IDE.....	53
Figura 19: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.....	54
Figura 20: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.....	55
Figura 21: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.....	57
Figura 22: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.....	58
Figura 23: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.....	59
Figura 24: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas	

[illegible]

Figura 38: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.....	76
Figura 39: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.....	77
Figura 40: Mostra os logs do Arduino no Monitor Serial do Arduino IDE.....	78
Figura 41: Mostra os logs do Arduino no Monitor Serial do Arduino IDE.....	79
Figura 42: Mostra a tela de configurações do aplicativo, na imagem da direita (a) mostra o Grau de Sensibilidade em um valor e na imagem da esquerda (b) mostra este valor ajustado.....	80
Figura 43: Mostra a tela de configurações do aplicativo, na imagem da direita (a) mostra a opção Desligar/Ligar na opção Ligado e na imagem da esquerda (b) mostra a opção para Desligado.....	81
Figura 44: Mostra os logs do Arduino no Monitor Serial no Arduino IDE.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela com os valores dos sensores, média calculada e a subtração.....	39
Tabela 2: Tabela exemplificando os dados da estrutura do array.....	40
Tabela 3: Tabela exemplificando a estrutura do array ordenada.....	40
Tabela 4: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, as médias calculadas e o resultado obtido.....	54
Tabela 5: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, as médias calculadas e o resultado obtido.....	55
Tabela 6: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e o resultado obtido.....	56
Tabela 7: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e resultados obtidos.....	57
Tabela 8: Tabela mostrando os valores das subtrações entre os Valores dos Sensores e as Médias calculadas para cada eixo.....	57
Tabela 9: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e os resultados obtidos.....	58
Tabela 10: Quantidade de acertos, acertos moderados e inconsistências nos resultados dos testes.....	59
Tabela 11: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, suas médias calculadas e os resultados obtidos.....	60
Tabela 12: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e os resultados obtidos.....	61
Tabela 13: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e os resultados obtidos.....	62
Tabela 14: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e os resultados obtidos.....	63
Tabela 15: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e resultados obtidos.....	64
Tabela 16: Quantidade de acertos, acertos moderados e inconsistências nos resultados dos testes com a sensibilidade em 20.....	65
Tabela 17: Quantidade de acertos, acertos moderados e inconsistências nos resultados dos testes com a sensibilidade em 10.....	65
Tabela 18: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e resultados obtidos.....	67
Tabela 19: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e resultados obtidos.....	68
Tabela 20: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e resultados obtidos.....	69
Tabela 21: Tabela mostrando os valores da subtração entre o Valor do Sensor e a Média calculada dos sensores.....	69
Tabela 22: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e resultados obtidos.....	70
Tabela 23: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias	

calculadas e resultados obtidos.....	71
Tabela 24: Quantidade de acertos, acertos moderados e inconsistências nos resultados dos testes.....	72
Tabela 25: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e resultados obtidos.....	73
Tabela 26: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e resultados obtidos.....	74
Tabela 27: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e resultados obtidos.....	75
Tabela 28: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e resultados obtidos.....	76
Tabela 29: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e resultados obtidos.....	77
Tabela 30: Quantidade de acertos, acertos moderados e inconsistências.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS

IBGE	–	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PNS	–	Pesquisa Nacional de Saúde

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABELAS.....	12
LISTA DE ABREVIATURAS.....	14
SUMÁRIO.....	15
1. Introdução.....	17
1.1. Tema.....	17
1.2. Problema.....	18
1.1.1. Objetivo geral.....	18
1.1.2. Objetivos específicos.....	19
2. Conceitos Gerais.....	20
2.1. Computação Vestível.....	20
2.2. Arduino.....	21
2.3. Sensores de Áudio KY-038.....	21
2.4. Filtro de som.....	23
2.5. Bluetooth.....	24
2.6. Kodular App Creator.....	26
2.7. Android.....	27
3. Metodologia e Desenvolvimento.....	28
3.1. Componentes Usados.....	28
3.2. O Microcontrolador Arduino.....	28
3.3. Os Sensores de Som KY-038.....	29
3.3.1. Detecção da direção do som.....	30
3.3.2. Calibrando o sistema.....	31
3.4. Desenvolvimento do algoritmo de detecção.....	32
3.4.1. Ordenação por Quicksort.....	34
3.4.2. A divisão entre as direções.....	35
3.4.3. Calculando os ângulos.....	37
3.5. Módulo de interface com o usuário.....	42
3.6. O Aplicativo.....	43
3.6.1. A Tela Inicial.....	43
3.6.2. Tela Principal e Menu.....	44
3.6.3. Tela de Configurações.....	45
3.7. Plano de Testes.....	46
3.7.1. Plano de teste 1.....	47
3.7.2. Plano de teste 2.....	47
3.7.3. Plano de teste 3.....	47
3.7.4. Plano de teste 4.....	48
3.7.5. Plano de teste 5.....	48
3.7.6. Plano de teste 6.....	48

3.7.7 Plano de teste 7.....	48
4. Apresentação e Análise dos Resultados.....	49
4.1. Problemas encontrados.....	49
4.1.1. Sensores mal calibrados.....	49
4.1.2. Fios com mau contato.....	49
4.1.3. Ecos.....	50
4.2. Realização dos testes e análises dos resultados.....	50
4.2.1. Caso de Testes 1.....	53
4.2.2. Casos de testes 2.....	60
4.2.3. Casos de testes 3.....	66
4.2.4. Casos de testes 4.....	72
4.2.5. Casos de testes 5.....	78
4.2.6. Casos de testes 6.....	78
4.2.7. Casos de testes 7.....	81
4.3. Discussão dos Resultados.....	83
5. Conclusões e Trabalhos Futuros.....	85
6. Referências.....	87

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saúde (PNS) realizada pelo IBGE em 2019, constatou-se que 2,3 milhões de pessoas, o que representa 1,1% da população brasileira acima de dois anos de idade naquele período, apresentavam algum grau de deficiência auditiva, tanto leve quanto grave. Esse número tende a aumentar quando consideramos o contexto global [3].

É importante ressaltar que os problemas relacionados à audição não se limitam apenas a condições presentes desde o nascimento. Doenças, acidentes e até mesmo determinadas condições de trabalho podem levar à surdez ao longo do tempo. Um subconjunto dessas pessoas pode evoluir para uma surdez total, na qual a capacidade de ouvir todos os sons é perdida. Alternativamente, a surdez pode progredir a níveis tão elevados, que a identificação dos diferentes tipos de sons e até mesmo a sua origem se tornam desafiadoras.

Nesse sentido, diversas soluções apoiadas na tecnologia podem auxiliar a pessoa com deficiência auditiva a ter uma vida integrada ao meio em que vive. É importante ressaltar que o sentido da audição pode ser importante para identificar situações de perigo ou emergência e, assim, os dispositivos pessoais podem auxiliar pessoas com deficiência auditiva ao traduzir um som em um outro tipo de sinal capaz de ser percebido pela pessoa.

1.1. Tema

Os problemas auditivos podem causar muitos inconvenientes ao portador, além dos problemas de segurança. A audição é um sentido importante para a segurança e a autopreservação do ser humano. Ela serve tanto para nos orientar no ambiente, como também nos alertar de situações que possam requerer atenção.

Casos onde a impossibilidade de ouvir carros buzinando, um barulho de disparo, um grito de aviso, o som de algum acidente doméstico, ou outros ruídos que frequentemente remetem a perigo, são preocupantes.

Este trabalho se debruçou sobre o tema para apresentar uma proposta de ferramenta que possa auxiliar pessoas impossibilitadas de perceber tais alertas sonoros, oferecendo uma maneira alternativa para identificar a direção, de acordo com a potência dos sons percebidos no ambiente ao redor.

1.2. Problema

A impossibilidade de ouvir os principais sinais de perigo podem gerar, desde um atraso de tempo de reação a um incidente perigoso em andamento, ou até mesmo nenhuma reação.

No caso de uma pessoa com surdez total, ou que esteja usando aparelhos de proteção auricular, onde é bloqueado todo ou quase todo som externo e a atenção do indivíduo está focado em algo fora do campo de visão do incidente perigoso, ele não terá esses dois principais sinais de perigo sendo captados

1.1.1. Objetivo geral

O objetivo desta pesquisa é encontrar uma forma de mitigar este problema, permitindo ao usuário da solução ser notificado rapidamente sobre a ocorrência e direção dos sons que possam demandar atenção ou representar perigo.

Este objetivo será buscado através do uso de um aparelho contendo sensores de áudio, que, a partir dos dados sonoros coletados, irá informar ao usuário caso detecte uma situação de atenção provocada por algum ruído e de onde é a direção mais aproximada do som. Como exemplos de sons que poderão ser notificados, temos o som de uma explosão ou da colisão de um grande objeto com o solo, ou com outro objeto.

1.1.2. Objetivos específicos

A pesquisa e desenvolvimento se dará através destes objetivos específicos, sendo as mais importantes:

- Detectar a ocorrência e direção do som;
- Enviar os dados desta percepção para o celular do usuário; e
- Tratar os dados recebidos e notificar o usuário.

Mais especificamente, para alcançar o objetivo principal, o trabalho percorrerá as seguintes etapas metodológicas:

- Identificar os materiais necessários para a construção do protótipo: saber quais materiais, como sensores, são necessários e estudar como usá-los corretamente.
- Analisar os diversos modelos de Arduino e escolher um mais adequado para a ferramenta.
- Analisar o formato dos dados dos sensores e como eles serão utilizados no algoritmo.
- Analisar e corrigir possíveis diferenças de sensibilidade entre os sensores de som.
- Desenvolver, implementar e testar um algoritmo para indicar a direção de um som.
- Desenvolver, implementar e testar a comunicação entre o Arduino e o celular do usuário.
- Desenvolver, implementar e analisar uma interface com o usuário para mostrar a direção do som.
- Desenvolver, implementar e testar o aplicativo responsável por informar ao usuário caso uma situação de perigo ocorra, através da recepção dos dados dos sensores.

2. CONCEITOS GERAIS

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos e ferramentas utilizadas durante o desenvolvimento da ferramenta.

2.1. Computação Vestível

As **Computações vestíveis (Wearable Computer)**[1] é um dos temas abordados neste trabalho, a área foca em aparelhos que apresentam uma maior interação com os usuários. Essas tecnologias eletrônicas ou computadores, são incorporados em peças de vestuário e acessórios que podem ser usados confortavelmente no corpo. Estes dispositivos devem sempre estar prontos e disponíveis para o uso do usuário.

Segundo a pesquisa **Wearable Computing and its Application (2014)**, para ser considerado uma Computação Vestível, tais dispositivos devem atender os seguintes testes[1]:

1. Esses computadores devem ser vestíveis por períodos de tempo estendidos, com a experiência do usuário sendo significativamente aprimorada.
2. Devem ser inteligentes, ou seja, devem ter circuitos avançados, sem fio conectividade e pelo menos um nível mínimo de independência capacidade de processamento.
3. Devem fornecer acesso constante a serviços de informação. Eles são projetados para uso diário e devem interagir com o usuário a qualquer momento, interrompendo quando necessário.
4. Devem detectar o estado interno do usuário e devem fornecer o melhor suporte cognitivo.
5. Devem tomar o mínimo de atenção necessária do usuário e deve garantir a privacidade e incentivar a personalização.
6. Devem apresentar uma interface consistente com a preferência e habilidade do usuário.

Para realizar a construção de uma ferramenta de Computação Vestível é necessário escolher o microcontrolador a ser usado, já que eles tem como seu cerne, o uso de computadores miniaturizados que são por sua vez incorporados em peças vestíveis, e por isso a linha de microcontroladores a ser escolhido é o Arduino.

2.2. Arduino

O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em hardware e softwares fáceis de usar[6]. O Arduino é considerado um microcontrolador[12], com o diferencial que este possui um ambiente já pronto para testes, uso e gravação. Devido a isso a placa Arduino torna o desenvolvimento de projetos para esta tecnologia mais fácil e rápida comparado a outras.

A linguagem usada neste microcontrolador é a linguagem de programação C[10], esta linguagem está categorizada como uma linguagem de alto nível genérica que se utiliza de uma sintaxe mais estruturada, o tornando mais legível. Este tipo de linguagem necessita de compiladores ou interpretadores.

O sistema da solução abordada neste artigo é considerado um sistema embarcado, sistemas estes que possuem como seu núcleo, os microcontroladores, que podem ser caracterizados como pequenos computadores que podem realizar várias tarefas eficientemente em um tamanho compactado[13]. Os microcontroladores possuem entradas e saídas para dados. Assim como memória volátil e não volátil (EEPROM) e também conversores[12].

É importante ressaltar que o microcontrolador Arduino escolhido tem que ser compatível com o sensor de áudio a ser escolhido.

2.3. Sensores de Áudio KY-038

O sensor de áudio escolhido para ser usado neste projeto é chamado KY-038 ilustrado na Figura 1, é responsável por detectar e interceptar um determinado som no ambiente. Este sensor possui um microfone sensível com capacitância entre 50Hz e 100kHz[5].

O módulo irá converter ondas sonoras em sinais elétricos através da captação do som pelo microfone. Após isto, o sinal é transmitido para um circuito de processamento, que consiste em um amplificador operacional LM393, que fica na mesma placa.

O sensor possui duas saídas, uma digital, que consiste em saídas 0 ou 1 se o som captado ultrapassa certo valor. Este valor limítrofe pode ser ajustado alterando a sensibilidade física do sensor. Já a saída analógica emite uma tensão que varia conforme a amplitude do som. O valor desta saída pode mudar para o mesmo som se a sensibilidade física for ajustada.

Para ajustar a sensibilidade do sensor é utilizado um potenciômetro que fica sobre uma “caixinha” azul no sensor. A alteração da sensibilidade é chamada neste texto como calibração do sensor.

O sensor muitas vezes precisa de calibração (alteração da sensibilidade), já que devido a diversos fatores, a sensibilidade definida anteriormente pode ser alterada para um valor próximo ou distante do definido. Esses valores de sensibilidades alterados irão resultar em saídas alteradas do sensor. Quando isso acontece, podem ocorrer erros na detecção da direção do som.

Além de calibrar os sensores, o sistema necessita estabelecer um limite para qual amplitude do som é aceitável pelo sistema e quais podem ser de origem perigosa, e por isso iremos usar o Noise Gate[2].



Figura 1: Módulo Sensor Detector de Som/Ruído KY-038

Fonte:

<https://a-static.mlcdn.com.br/450x450/modulo-sensor-de-som-ky-038/rmsrobotica/7526183120/95afeefdbaf55252959df2d1d34660b4.jpg>

2.4. Filtro de som

Muitas vezes um sinal sonoro precisa ser processado antes de ser utilizado pela aplicação. Esse processamento pode ocorrer, por exemplo, para estabilizar diferenças de sensibilidade encontradas entre sensores distintos, ou mesmo para que seja possível a identificação e extração de ruídos sonoros presentes em determinados ambientes.

Segundo o artigo intitulado “**Noise Gates: Um Guia Passo a Passo Para Sinais Mais Limpos**”[2], um **Portão de Ruído** é um tipo de processador dinâmico que controla o volume de um sinal de áudio. Os **Portões de Ruído** reduzem o volume de um sinal quando esse volume cai abaixo de um determinado nível, chamado de *limite*.

O **Portão de Ruído**, funciona como um filtro Passa-Alta, mas com a amplitude do som, ou seja, o som é apenas contabilizado no sistema depois que sua

amplitude ultrapassa o limite. Esta característica foi a causa por que o **Portão de Ruído** foi escolhido para a solução.

Uma vez um som passou pelo **Portão de Ruído**, e realizado o cálculo da direção de som, o resultado obtido deve ser enviado para a interface com o usuário, e como meio de comunicação será usado a tecnologia Bluetooth.

2.5. Bluetooth

O Bluetooth é uma tecnologia de comunicação via rádio. Ela possui duas vertentes. Temos o Bluetooth clássico e o Bluetooth Low Energy. O Bluetooth Low Energy foi projetado para operações com frequência muito baixas[14].

Já Bluetooth clássico, também conhecido como Bluetooth Basic Rate/Enhanced Data Rate (BR/EDR) é um rádio de baixa potência que transmite dados em 79 canais de banda de frequência industrial[14].

Para o desenvolvimento do protótipo proposto neste projeto, é necessário o uso de um módulo Bluetooth, já que a tecnologia Bluetooth não é nativa do Arduino. Para isso, foi escolhido o Módulo Bluetooth HC-05 Mestre, ilustrado na Figura 2.



Figura 2: Módulo Bluetooth HC-05 Mestre

Fonte:

<https://cdn.awsli.com.br/600x700/980/980586/produto/36171116/captura-de-tela-2023-07-18-a-s-13-40-14-ooskuxa0ox.png>

O referido módulo possui seis pinos, dois de alimentação e quatro para dados e outras funções, como mostra a Figura 3. Porém, desses quatro pinos, usamos apenas dois deles, o RX e TX. A seguir são destacadas as funcionalidades para cada pino.

- **State:** Pino indicador de status do módulo. Quando o módulo não está conectado a um dispositivo, o pino retorna nível lógico baixo. Quando emparelhado a algum dispositivo, o pino retorna nível lógico alto.
- **Rx:** Recebe dados seriais. Todos os dados seriais recebidos neste pino são transmitidos via Bluetooth.
- **Tx:** Transmite dados seriais. Os dados seriais recebidos via Bluetooth são transmitidos por este pino.
- **GND:** Aterramento do módulo.
- **5V:** Alimentação do módulo (5V).
- **EN:** Pino usado para alternar entre o modo de dados. O padrão de fábrica está configurado como modo de dados.

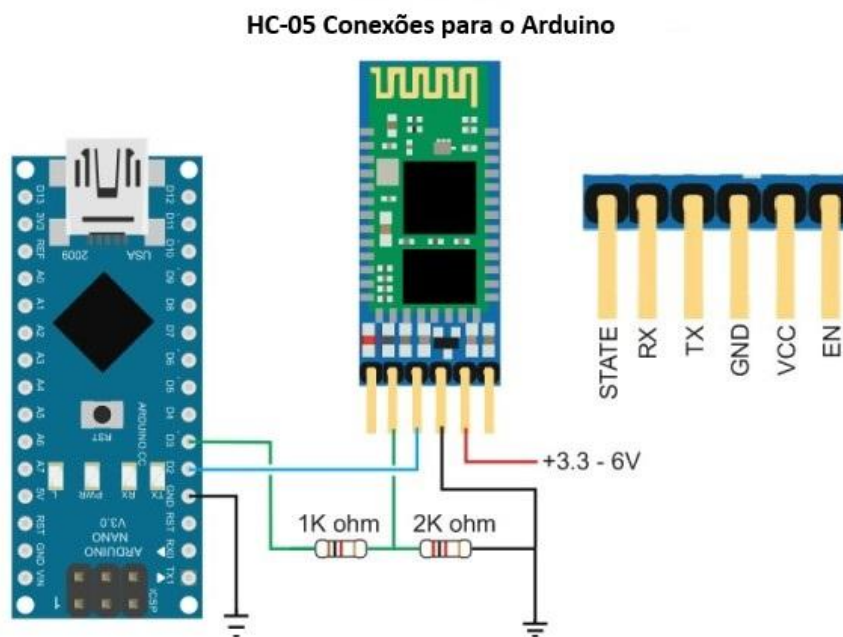


Figura 3: Módulo Bluetooth HC-05 Mestre esquema de pinos

Fonte:

<https://Arduinoeletronica.com.br/wp-content/uploads/2017/12/HC-05-AT-Mode-Connections-to-Arduino-584x460.jpg>

A tecnologia Bluetooth será a ferramenta que permitirá a comunicação entre o Arduino e a interface com o usuário, que por sua vez será um aplicativo. Este aplicativo, devido à questão de agilidade e facilidade, será desenvolvido usando o Kodular App Creator.

2.6. Kodular App Creator

Como um dos objetivos do projeto é a criação de um aplicativo para criar a interface com a parte implementada no Arduino, foram buscadas formas fáceis e rápidas para o desenvolvimento deste aplicativo. Dentre as opções analisadas, foi escolhido o uso do Kodular App Creator[15], ilustrado na Figura 4.

O Kodular é uma plataforma Web, que nos permite criar e desenvolver aplicativos Android usando blocos de código[14]. O Kodular não é uma ferramenta para ser usada em aplicativos complexos ou que requerem muito processamento, e sim aplicativos simples, com funções mais básicas. Sendo assim, o aplicativo que foi desenvolvido se enquadra ao que o Kodular se propõe.

Esta plataforma de desenvolvimento de aplicativos nos permite criar aplicativos para várias versões do Android, assim como possui uma ferramenta de testes simples, fácil e prática, neste caso, ideal para o desenvolvimento deste projeto.

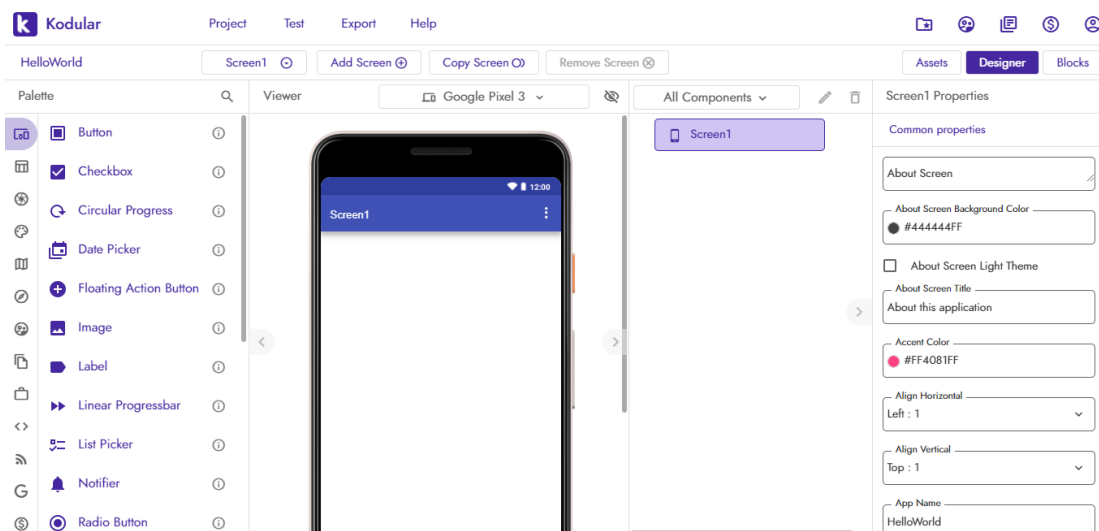


Figura 4: Tela de desenvolvimento de aplicativo do Kodular.

Fonte: O próprio autor.

2.7. Android

Android é um sistema operacional voltado para dispositivos móveis, e é o sistema operacional móvel mais usado no mundo[16]. Este sistema operacional é disponibilizado pelo Google sob licença de código aberto, fazendo com que muitas versões Android disponíveis em aparelhos sejam uma mistura de software livre e software privado.

Esta abordagem de código aberto para este sistema operacional o torna uma escolha muito atraente para as desenvolvedoras de dispositivos móveis, na qual não precisam gastar recursos desenvolvendo seu próprio sistema operacional do zero, ou mesmo seus aparelhos ofertarem uma baixa quantia de aplicativos em suas lojas.

Uma grande facilidade do sistema operacional Android, aproveitada neste projeto, é a grande quantidade de aparelhos que possuem Android e que podem executar o aplicativo desenvolvido, já que mesmo as versões mais novas do sistema operacional podem executar aplicativos desenvolvidos para versões mais antigas.

3. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

As etapas para o desenvolvimento do trabalho requerem análise dos dados coletados pelos sensores, como a utilização de cálculos matemáticos que darão sentido a eles. Adicionalmente, também é necessário estudo, sobre a utilização de tecnologias das quais, serão necessárias neste projeto.

A seguir o texto buscará mostrar e exemplificar sobre o processo de especificação e desenvolvimento da solução, apresentando algoritmos desenvolvidos, seus méritos e suas limitações. Também será discutido sobre problemas que surgiram com a pesquisa e ideias de soluções para estes problemas.

3.1. Componentes Usados

Antes de dar início a criação do algoritmo e sua construção, primeiro é necessário ter conhecimento sobre os componentes que temos à disposição, e como podemos usá-los para melhor nos servir ao objetivo.

A ideia da solução, irá requerer componentes, nos quais eles são:

- Um microcontrolador, que supra com a necessidade de entradas, saídas e processamento da solução;
- Sensores de áudio, para captação dos sons do ambiente para processamento; e
- Um módulo de interface ou comunicação com o usuário, que permita a ligação do microcontrolador e os sensores com o dispositivo pessoal do usuário.

3.2. O Microcontrolador Arduino

Após uma comparação entre várias opções de microcontroladores[12], foi escolhido o modelo Arduino Uno¹ ilustrado na Figura 5. Este microcontrolador é

¹ <https://store.Arduino.cc/products/Arduino-uno-rev3>

bastante fácil de ser programado, além de ser amigável para o uso geral. A linha de microcontroladores Arduino possuem opções variadas, desde as mais simples e básicas, até as mais robustas.

Embora a linha Arduino tenha modelos mais potentes, com entradas, memória e capacidade de processamento maiores que a versão Uno, são caras em relação à verba disponível para o projeto, devido ao fato que o preço do Arduino Uno para o Arduino Mega aumenta em 75,36%. Enquanto versões inferiores à versão Uno embora mais baratas, não supriram a necessidade de portas. Então, foi decidido pelo uso do Arduino Uno como o microcontrolador a ser usado.

É importante ressaltar a necessidade do microcontrolador escolhido possuir quatro ou mais entradas analógicas para a solução, o que é o caso do Arduino Uno.

A ferramenta desenvolvida para a solução, portanto, é caracterizada como um sistema embarcado[13]. Neste caso, é um sistema com um conjunto de hardware e software projetado para realizar uma tarefa específica.

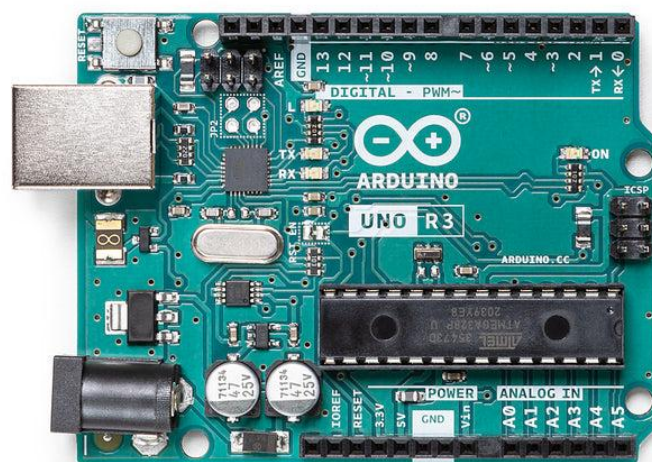


Figura 5: Arduino Uno

Fonte: https://store.Arduino.cc/cdn/shop/products/A000066_03.front_643x483.jpg

3.3. Os Sensores de Som KY-038

Para detecção dos sons, foram utilizados módulos do Sensor Detector de Som/Ruído KY-038 ilustrado na Figura 1. Este sensor possui duas saídas, a analógica

simbolizada pelo pino A0 e uma saída digital simbolizada pelo pino D0. No entanto, não será usada a saída digital, já que o sensor apenas enviará sinais de 0 ou 1 se o som detectado ultrapassar um valor específico, o que não é suficiente para o objetivo da ferramenta para detectar a direção do som, sendo necessário triangular a intensidade percebida pelos vários sensores.

Sendo assim, será utilizada a saída analógica, e o valor recebido pelo Arduino desta saída será analisado, segundo o algoritmo para descobrir a direção e o ângulo do som. Os valores analógicos recebidos variam dependendo de fatores como a calibração do sensor e da amplitude do som captado pelo sensor.

O sensor de áudio em repouso (quando o ambiente está silencioso) transmite valores que dependem da sua calibração. Para o projeto, o valor 100 em repouso era o preferível, devido à variação dos dados recebidos não ser pequena demais, dificultando o cálculo da direção, e nem grande demais, dificultando a especificação de um limiar para o som. Sempre que o sensor em repouso divergia muito do valor 100 era necessária uma nova calibração.

Ao captar algum som, o sensor envia valores maiores que os 100 quando está em repouso, mas a diferença do valor depende da amplitude do som. O som de palma, por exemplo, excedia geralmente a casa dos 140.

Os sensores podem ser no futuro substituídos por algo mais robusto, devido a sua baixa qualidade os dados obtidos dos sensores podem apresentar discrepâncias, mesmo que teoricamente estejam na mesma calibração e possuam o mesmo modelo.

Uma possibilidade de tais erros ocorrerem seria a membrana do material, que aparenta ter graus de maleabilidade maiores entre si. Nesse caso, é necessário realizar um ajuste para os valores recebidos.

3.3.1. Detecção da direção do som

Nesta etapa do desenvolvimento foram usados quatro sensores, devidamente afastados uns dos outros 45 graus de distância entre cada, mas distribuídos em um formato circular para poder, por exemplo, ser posicionado ao redor da cintura de uma pessoa, como ilustrado na Figura 6. Essa estratégia na distribuição dos sensores de

som procura captar as pequenas diferenças da amplitude do sinal sonoro e, a partir dessa diferença, calcular a direção aproximada.

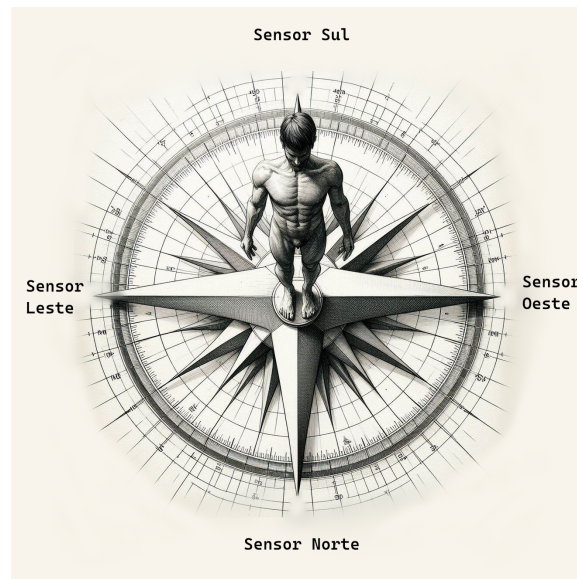


Figura 6: Rosa-dos-ventos sob a perspectiva do usuário da solução vista de cima.

Fonte: Imagem gerada pela IA de geração de imagem do Bing e ajustada pelo autor.

Os sensores usados serão todos iguais, mas no desenvolvimento do algoritmo é necessário verificar se será preciso fazer alguma compensação dos valores recebidos de alguns destes sensores, pois eles podem não estar calibrados de forma correta. Ou então os sensores, mesmo que sejam do mesmo modelo, ainda podem apresentar diferenças físicas que impactam diretamente no resultado. Então, ao decorrer dos testes deverá ser observado se tais ajustes são necessários.

3.3.2. Calibrando o sistema

Recebendo os dados que os sensores disponibilizam, foi escolhido, uma abordagem de calibração que calcula a média dos primeiros 2000 sinais positivos recebidos pelo Arduino de cada sensor. Isso foi pensado visando equilibrar a sensibilidade dos sensores, necessário para compensar e ajustar possíveis diferenças, por exemplo, de construção.

Esse valor da média é subtraído do valor recebido do sensor a cada verificação da direção do som, após isso são realizados os cálculos necessários para descobrir a direção. Um problema com essa estratégia é que o sistema se torna vulnerável ao eco. Este problema será revisitado futuramente, mas por agora algumas estratégias que podem solucionar ou no mínimo reduzir o problema foram criadas.

O uso de um valor de corte consideravelmente alto, neste caso 20% do valor em repouso do sensor, pode resolver. Essa estratégia faria com que o mesmo som vindo de outra direção, mas com menos intensidade, não fosse detectado pelo sistema.

Em relação ao funcionamento do algoritmo, como falado anteriormente, a primeira coisa que o algoritmo irá fazer é captar os 2000 primeiros picos positivos de sinal de áudio e gerar uma média com eles. Após usar a média para calibrar os sensores, o sistema fica em aguardo realizando leituras de som.

Os sensores enviam valores de amplitude do som, e podem mudar mesmo com mesma intensidade de som, dependendo da forma como os sensores estão calibrados e também de fatores físicos e características do ambiente no momento da captação.

Com isso, definimos os valores de corte para os sons, obtidos de forma empírica. Esse valor de corte funciona como um filtro **Noise Gate**[2], onde o objetivo é eliminar o ruído e processar apenas os sons volumosos que podem indicar perigo. Esse valor de corte também pode ser definido via aplicativo, onde deverá apresentar uma interface para definir alguns valores de ambiente, como será detalhado mais à frente.

3.4. Desenvolvimento do algoritmo de detecção

Quando um sinal sonoro detectado ultrapassa o limite estabelecido e o sistema o identifica como um potencial sinal de perigo, o cálculo da direção desse som será realizado seguindo o algoritmo apresentado aqui. Atualmente é utilizada a leitura dos quatro sensores, como será detalhado a seguir.

Temos quatro sensores e cada um representa uma direção virtual. Um sensor representando um norte virtual, outros como sul, leste e oeste. Ressaltando que os sensores não ficarão nas posições reais de norte, sul, leste e oeste. Essas direções são

usadas para a lógica interna do algoritmo para o cálculo das direções e também servirão como marcos virtuais para mostrar a direção ao usuário.

Para uma melhor clareza, vamos supor que no centro da rosa-dos-ventos da Figura 6, abaixo, é onde está a dorsal de um ser humano e que na frente da região do abdômen ficaria o sensor referente ao norte, o das costas o sul, e dos lados os leste e oeste, seguindo a ordem mostrada na Figura 6

Uma vez que algum do sensor captar um som que ultrapasse o limite do Portão de Ruído, os valores de amplitude do som subtraído da média dos 2000 primeiros valores em módulo de cada sensor irá ser armazenado em um array de estrutura de dados de quatro elementos.

A estrutura possui três propriedades, o valor do sensor menos a média calculada do sensor, o eixo ao qual da direção do sensor pertence (0 se for norte ou sul, ou 1 se for leste ou oeste) e a direção, que pode assumir os valores N, S, L e O.

Através do algoritmo de ordenação, os valores salvos no array serão ordenados de forma decrescente, com base no valor do sensor compensado. Sendo assim, as direções que mais irão influenciar a direção calculada ficarão no início do array, representando que as maiores amplitudes sonoras foram detectadas naquela direção.

O próximo passo é realizar duas divisões. Na primeira divisão, iremos dividir o número armazenado na segunda estrutura dentro do array pelo primeiro, e a segunda divisão é entre o terceiro número e o primeiro. Isto foi feito no intuito que as duas divisões sempre deem valores entre zero e um.

Após isso, verificamos se o primeiro e segundo valores que aparecem em ordem fazem parte de uma mesma orientação, se o primeiro e o segundo é norte e/ou sul, ou leste e/ou oeste. Se os dois primeiros valores são de um mesmo eixo, então para as próximas etapas iremos usar o cálculo da divisão do terceiro e primeiro valor na ordem. Se os dois primeiros valores forem de eixos diferentes, então iremos usar a divisão do segundo com o primeiro valor nos próximos passos. Com essas informações podemos montar os eixos de posição.

Vamos assumir um caso hipotético, em que os sensores captaram um som com amplitude suficiente para o sistema calcular sua direção e o valor resultante do

módulo da subtração do valor enviado do sensor e da média deste sensor forem os seguintes: 25 para norte, 2 para leste, 30 para oeste e 5 para sul. Apenas de olhar seus valores fica implícito que a direção vem de origem entre o norte e o oeste. A Figura 7 abaixo mostra os possíveis locais da origem do som.

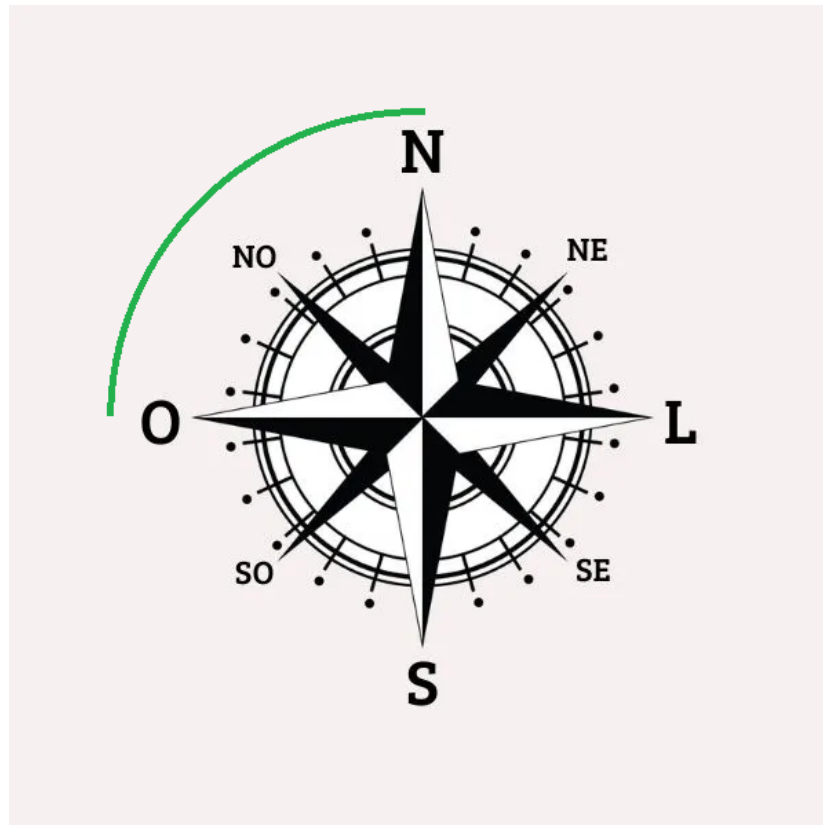


Figura 7: Rosa-dos-ventos, a linha verde representa os possíveis locais da origem do som

Fonte: Adaptada da imagem encontrada em
<https://s4.static.brasilescola.uol.com.br/be/2022/10/rosa-dos-ventos.jpg>

Mais a frente ainda será detalhado o passo a passo do cálculo da direção do som. Mas o próximo passo que teremos que fazer, é realizar a ordenação dos valores salvos no array de estrutura.

3.4.1. Ordenação por Quicksort

O Quicksort é um método de ordenação rápido e eficiente criado por C.A.R Hoare em 1960[8], este algoritmo de ordenação usa da estratégia da divisão e

conquista, que consiste em rearranjar chaves de modo que as menores precedam as maiores. Esta estratégia é também usada nas sub-listas de chaves menores e maiores de forma recursiva, até que a lista esteja completamente ordenada.

Este algoritmo, devido a como ele ordena os valores em uma lista, é um algoritmo de ordenação por comparação não-estável. Isso quer dizer, que o custo e demora para ordenar X valores são diferentes, dependendo da ordem dos valores presentes na lista.

Este algoritmo tem como custo no melhor e pior caso:

Melhor caso: $O(\log_2(n))$

Pior caso: $O(n)$

Vale ressaltar que embora, atualmente na aplicação, não é necessário usar um algoritmo tão eficiente de ordenação, já que o máximo de números a serem ordenados são quatro. Mas, este algoritmo está presente no referido processamento para futuras evoluções do projeto, onde seriam necessários o uso de mais sensores.

3.4.2. A divisão entre as direções

Como explicado anteriormente, os próximos passos para a detecção se baseiam na divisão de dois valores que não estão no mesmo eixo (norte-sul ou leste-oeste). O motivo de tal escolha, é que em testes usando divisão no mesmo eixo, em casos específicos, o sistema apontava a direção errada, já que o cálculo não levava em conta a amplitude de som proveniente da direção de outro eixo.

Os cálculos de divisão pretendem sempre estar entre os valores reais 0 e 1, visando tornar a detecção da direção na rosa-dos-ventos mais facilitada, assim como permitir os cálculos de angulação. Já para calcular a angulação, a fórmula usada para isso difere um pouco, dependendo de qual direção o sistema está apontando de forma mais acentuada. As direções são norte, nordeste, leste, sudeste, sul, sudoeste, oeste e noroeste. Essas direções são lógicas, e não refletem exatamente as direções cardinais.

Para a fórmula de cálculo do ângulo, que será descrita na Seção 3.4.3, uma etapa que é sempre estática é a multiplicação de 45 pelo valor da divisão. Pois, a

estratégia usada para calcular a direção envolve a divisão pelo valor obtido dos sensores de direções que não estão em um mesmo eixo. Se por acaso, usássemos uma multiplicação de direções por mesmo eixo, seria necessário a multiplicação por 90.

Por exemplo, ao termos os seguintes valores captados pelo sensor com o valor da média subtraído: **40** para norte, **45** para leste, **42** para oeste e **2** para sul. O som tem como sua real origem na direção nordeste. Porém, se considerarmos a divisão por valores de direções de um mesmo eixo, será usado no caso a divisão, por exemplo, Oeste/Leste já que estas duas direções possuem os maiores valores, mesmo sendo opostas. O resultado desta divisão será 0,93. A Figura 8 mostra a rosa-dos-ventos, com uma linha reta verde sobre o eixo oeste/leste, representando a direção representada pelo resultado desta divisão.

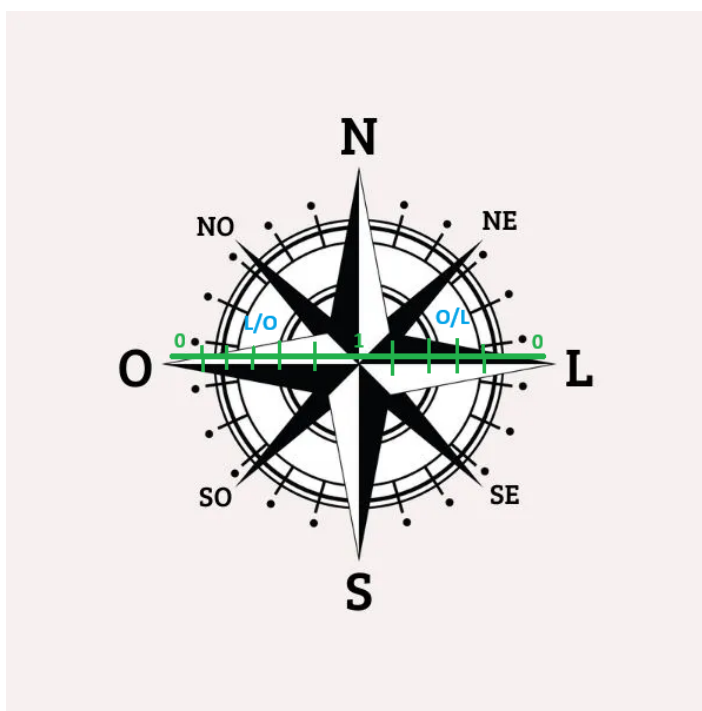


Figura 8: Rosa-dos-ventos, a linha verde representa os possíveis locais da origem do som

Fonte: Adaptada da imagem encontrada em

<https://s4.static.brasilecola.uol.com.br/be/2022/10/rosa-dos-ventos.jpg>

Podemos perceber que, quanto mais o resultado da divisão se aproxima de 1, quer dizer que a direção se aproxima mais do centro, o que indica que a direção vem

mais do norte ou do sul, o que necessita de outra verificação para saber se o norte possui um valor maior do que o sul para definir a direção.

Se o resultado da direção se aproxima de zero, se a divisão for oeste/leste, então quer dizer que o valor do leste é muito maior que do oeste. Porém, isto não ocorre neste exemplo.

O resultado da divisão 0,93 implica, neste caso, que a direção é o norte e não o nordeste como direção correta neste caso. As direções leste e oeste possuem quase o mesmo valor, e a direção norte é maior que o sul, implicando que este som veio desta região.

Visto isto, para calcular o ângulo, como usamos para o cálculo da direção a divisão de duas direções em um mesmo eixo, isto implica em um intervalo de ângulos possíveis da direção do som em 90 graus, já que a divisão possui um valor máximo, 1, e um mínimo, 0.

Ao ser verificado a Figura 9 é perceptível que o mínimo (quando o resultado da divisão for 0) indica que a direção do som neste caso é leste, e entre as direções norte e sul, a direção norte possui maior valor. Para sairmos da posição leste e chegarmos na posição norte é necessário percorrer 90 graus, devido a isto, 90 era usado para o cálculo do ângulo.

Este caso, embora atípico, ocorreu em testes realizados usando a abordagem de divisão por um mesmo eixo. Este caso pode acontecer devido a problemas no sensor, eco ou outros que fazem o sensor da direção oposta emitir um valor próximo ao do mesmo eixo.

3.4.3. Calculando os ângulos

A seguir está a fórmula para cada direção majoritária que o sistema está apontando. Lembrando que esse cálculo visa apenas as maiores direções cardeais e não as colaterais. Ou seja, visa apenas as direções norte, sul, leste e oeste e não as nordeste, sudeste, sudoeste e noroeste.

Para Norte e Leste:

Se o maior valor encontrado for para o leste, com o norte como o próximo:

$$\hat{\text{Ângulo}} = 0 + 45 * \text{resultado}$$

Se o maior valor encontrado for para o norte, com o leste como o próximo:

$$\hat{\text{Ângulo}} = 90 - (45 * \text{resultado})$$

Para Norte e Oeste:

Se o maior valor encontrado for para o oeste, com o norte como o próximo:

$$\hat{\text{Ângulo}} = 180 - (45 * \text{resultado})$$

Se o maior valor encontrado for para o norte, com o oeste como o próximo:

$$\hat{\text{Ângulo}} = 90 + (45 * \text{resultado})$$

Para Sul e Leste:

Se o maior valor encontrado for para o leste, com o sul como o próximo:

$$\hat{\text{Ângulo}} = 360 - (45 * \text{resultado})$$

Se o maior valor encontrado for para o norte, com o sul como o próximo:

$$\hat{\text{Ângulo}} = 270 + (45 * \text{resultado})$$

Para Sul e Oeste:

Se o maior valor encontrado for para o oeste, com o sul como o próximo:

$$\hat{\text{Ângulo}} = 180 + (45 * \text{resultado})$$

Se o maior valor encontrado for para o sul, com o oeste como o próximo:

$$\hat{\text{Ângulo}} = 270 - (45 * \text{resultado})$$

Formula Genérica:

$$\hat{\text{Ângulo}} = (\hat{\text{Ângulo para a direção maior}}) + - (45 * \text{resultado})$$

Como visto na fórmula genérica, usamos o ângulo para a direção maior como está ilustrado na Figura 9, no cálculo, multiplicamos o resultado por 45 ao invés de 90, devido a estarmos calculando a divisão através de valores de direções com eixos diferentes.

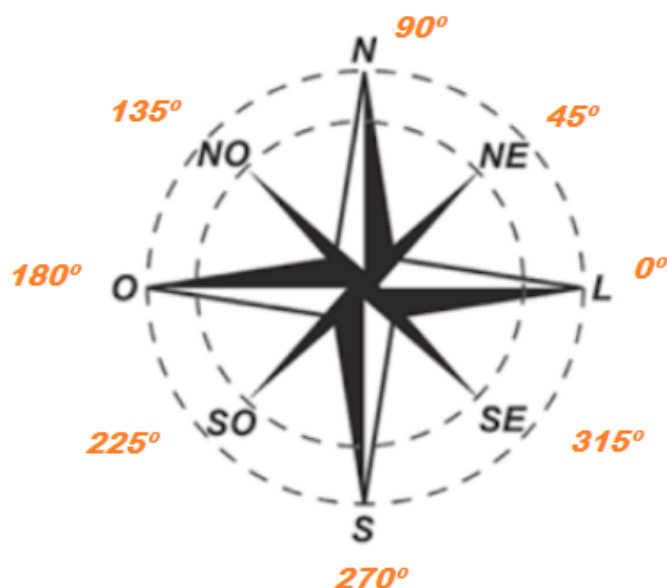


Figura 9: Rosa-dos-ventos com cada direção com sua angulação.

Fonte:

https://4.bp.blogspot.com/-dHHLbPBLA0Y/XLIWLPS8THI/AAAAAAAAAICQ/dkn54x8urL4j9Sn856X-_lztXEhfaB6TwCLcBGAs/s1600/exercicio-enem-rosa-dos-ventos-2018.png

A Tabela 1, abaixo, apresenta os valores recebidos pelos sensores e as médias dos sensores que foram calculadas a partir desses valores e o resultado da subtração entre o valor do sensor e a média. Vale ressaltar que a sensibilidade do sistema que está em 20.

Tabela 1: Tabela com os valores dos sensores, média calculada e a subtração.

Direção	Valor do Sensor	Média	Subtração
Norte	120	100	20
Leste	140	101	39
Sul	104	99	05
Oeste	110	102	08

Com o módulo da subtração do valor do sensor e sua média, temos os valores mostrados na Tabela 2, especificamente na coluna valor. Eles serão salvos em um array estruturado que tem como atributos o valor do sensor, uma letra referenciando a direção e o seu eixo, sendo 1 para o eixo leste/oeste e 2 para o eixo norte/sul.

Tabela 2: Tabela exemplificando os dados da estrutura do array.

Símbolo da direção	Valor	Eixo
N	20	2
L	39	1
S	05	2
O	08	1

O próximo passo é ordenar o array, fazendo com que o mesmo apresente os dados na mesma sequência apresentada na Tabela 3.

Tabela 3: Tabela exemplificando a estrutura do array ordenada.

Símbolo da direção	Valor	Eixo
L	39	1
N	20	2
O	08	1
S	05	2

Com o array ordenado, teremos que verificar se a primeira e a segunda direção que aparecem no array são de eixos diferentes, neste caso eles são de eixos diferentes, então iremos pegar o valor do segundo elemento e dividir pelo valor do primeiro elemento, se fossem de um mesmo eixo, seria necessário usar a terceira direção ao invés da segunda para os cálculos:

$$resultado = 20/39 = 0,51$$

Com este valor calculado, vamos verificar quais são as direções dos dois primeiros elementos no array, que são neste caso, leste e norte. Iremos usar a seguinte fórmula que foi apresentada na Seção 3.4.3.

$$\hat{Angulo} = 45 * resultado$$

Substituindo o resultado pelo valor 0,51 temos:

$$\hat{Angulo} = 45 * 0,51$$

O resultado é 22,95, arredondando fica 23°.

O sistema percebe todos os resultados que não atingem o limite de 0,2 como uma direção cardinal (norte, leste, sul e oeste), neste caso temos 0,51. Então a direção apontada pelo sistema é a nordeste, já que um valor igual ou acima de 0,2 é considerado uma direção colateral (nordeste, sudeste, sudoeste ou noroeste).

A Figura 10 mostra os eixos e os valores que a divisão entre as direções de eixos diferentes para ser definida a direção-geral da origem do som, exemplificando como o algoritmo funciona e quais são seus parâmetros para a detecção do som.

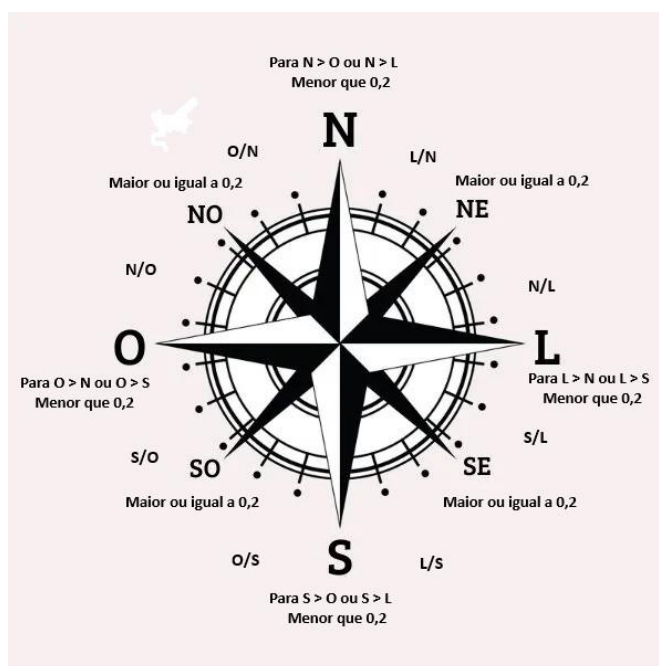


Figura 10: Rosa-dos-ventos alterada com a noção de direção e sentido do algoritmo. Assim como os valores para cada região.

Fonte: Adaptada da imagem encontrada em <https://s4.static.brasilecola.uol.com.br/be/2022/10/rosa-dos-ventos.jpg>

Com a posição do som e a angulação encontrada, agora é necessário enviar essa informação para o usuário da solução. A ideia usada para isso é a conexão e envio de dados entre o Arduino e um aparelho Smartphone via conexão Bluetooth. Para isso, é usado um módulo Bluetooth HC-05.

3.5. Módulo de interface com o usuário

O módulo de interface com o usuário possui muitas formas de serem construídas. Isto depende exclusivamente da forma como o projetista do sistema quer informar ao usuário sobre a direção do som. A ideia deste trabalho é apresentar uma solução voltada para a segurança de pessoas surdas, onde é necessário um alerta rápido e intuitivo da ocorrência e sua direção.

O algoritmo apresentado não se limita apenas à solução mostrada aqui e pode ser transposta para mais aplicações, como, por exemplo, em um sistema de detecção de disparos em um bairro.

Devido aos recursos disponíveis para o desenvolvimento deste projeto, foi escolhido o uso de um aplicativo de smartphone como forma de interação com o usuário.

O tráfego de informações entre o Arduino e o aparelho smartphone foi pensado para ser realizado pela tecnologia Bluetooth que está amplamente presente nos aparelhos smartphones, mas que o Arduino não possui de forma nativa. Por isso, é necessário o uso de um periférico que faça esta comunicação, que é o Módulo Bluetooth HC-05, que foi apresentado na Seção 2.5 e é ilustrado na Figura 2.

A ideia inicial de solução para o informe do usuário deve ser feita de forma rápida, eficiente e que mesmo que o usuário não esteja atento, ele perceba o sinal que a solução está enviando a ele. De forma ideal, a notificação por smartphone não é viável e inicialmente não poderia ser usada, já que depende de uma tela para ver as notificações rápido o suficiente, pode ser usado a opção de vibração do aparelho para chamar a atenção, mas o usuário pode ficar confuso sem saber exatamente qual direção o sistema está apontando. A solução tem que ser entendida de forma instintiva.

A ideia proposta é que em volta da cintura do usuário estejam pequenos aparelhos que vibram ao serem ativados. Assim, quando o sistema detectar um som potencialmente perigoso, o aparelho que está mais próximo da direção do som é ativado. Porém, devido aos custos relativamente elevados para implementar esta solução, foi optado pela solução do aplicativo, embora os meios de apresentar ao usuário a direção sejam diferentes, a origem e método para a detecção são os mesmos.

3.6. O Aplicativo

3.6.1. A Tela Inicial

O aplicativo desenvolvido possui algumas telas. A primeira tela, que pode ser vista na Figura 11, é a tela inicial. É uma tela que apenas mostra sobre o que é o aplicativo, quem o criou e qual o seu objetivo.

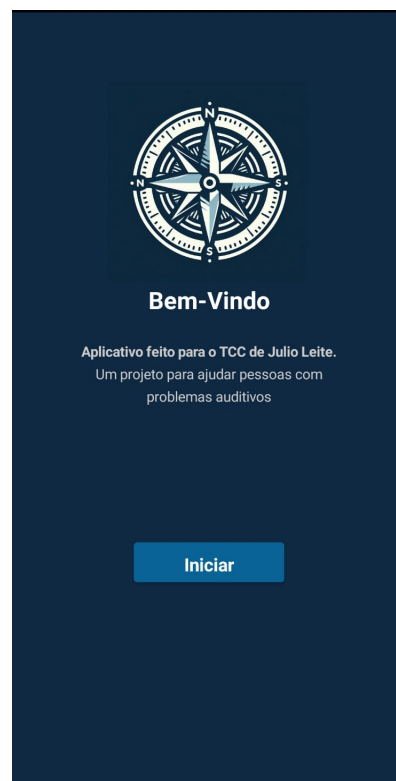


Figura 11: Tela inicial do aplicativo.

Fonte: O próprio autor.

3.6.2. Tela Principal e Menu

A próxima tela, é a tela onde é mostrada a direção de onde vem o som. Como estamos usando um aplicativo como forma de mostrar a direção do som, não estamos mais limitados a mostrar algumas direções, como a solução usando alguns vibradores localizados na cintura do usuário.

No centro da tela, na Figura 12 (a), é mostrada uma rosa-dos-ventos. Observem que há uma ponta pintada de vermelho. Essa ponta aponta para a direção de onde vem o som. Para o uso correto do aplicativo, se deve usar o aplicativo com sua parte de baixo apontada para seu corpo já que a frente do usuário é considerada o norte lógico da aplicação.

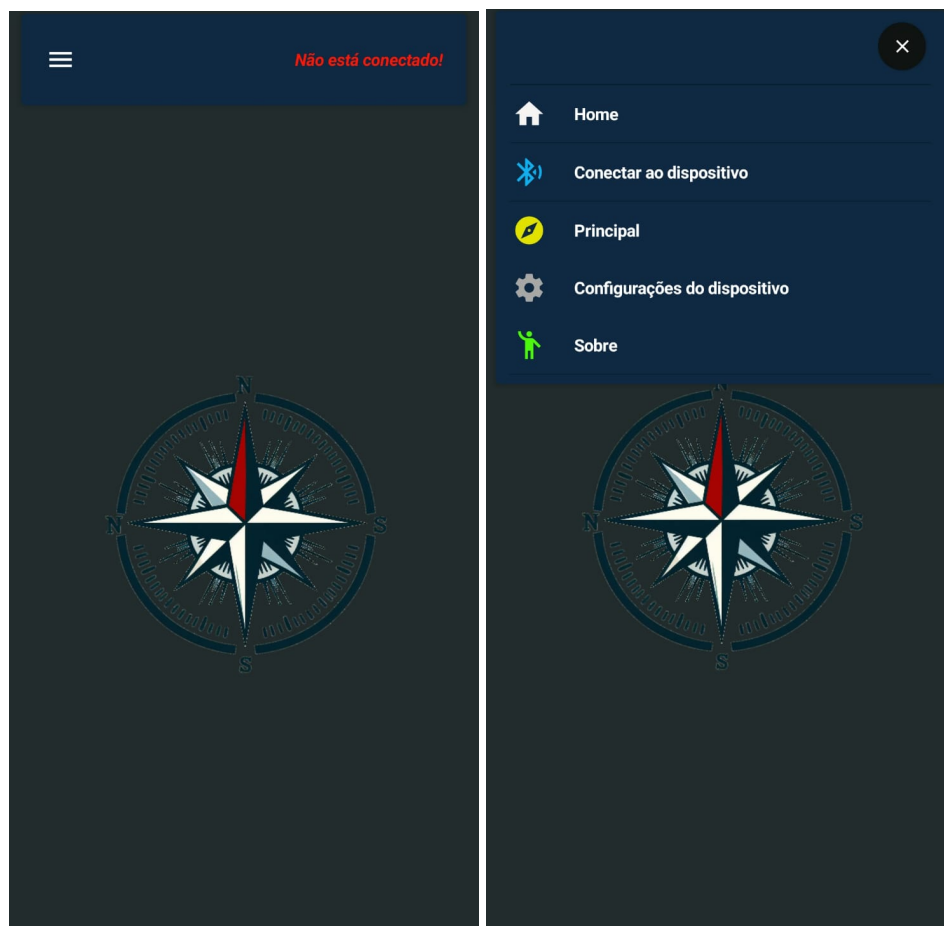


Figura 12: A imagem da esquerda (a) mostra uma rosa-dos-ventos, o local que está pintado de vermelho mostra a direção. A imagem à direita (b) mostra o menu do aplicativo.

Fonte: O próprio autor.

3.6.3. Tela de Configurações

A tela representada pela Figura 13 mostra a tela de configurações do aplicativo. Esta tela de configurações fornece algumas opções práticas e de depuração da solução no Arduino, que serão detalhadas a seguir:

- **Desligar/Ligar a detecção de som** permite que o usuário decida se quer ser notificado sobre sons e suas direções sempre ou não.
- **Mostrar dados do sensor** é uma opção para depuração, já que era permitido ao usuário do aplicativo escolher de qual sensor ele quer ver seus valores de leitura atuais. Estes valores só serão mostrados usando o Monitor Serial do Arduino IDE. Os valores de leitura atuais dos sensores não são mostrados por padrão, pois iriam poluir a saída do Monitor Serial.
- **Grau de Sensibilidade** é uma opção que permite ao usuário definir a sensibilidade do Arduino para a detecção de som. Para ser realizada a detecção da direção do som, o som detectado deve ser maior do que o valor do som detectado, menos a média de 2000 valores detectados pelo sensor, mais o valor do grau de sensibilidade. Essa tela é mostrada na Figura 16.
- A opção de **Recalcular Média** recalcula as médias dos sensores. Este recurso serve para a recalibração da solução, se ela se mostrar falha nos resultados que apresenta.

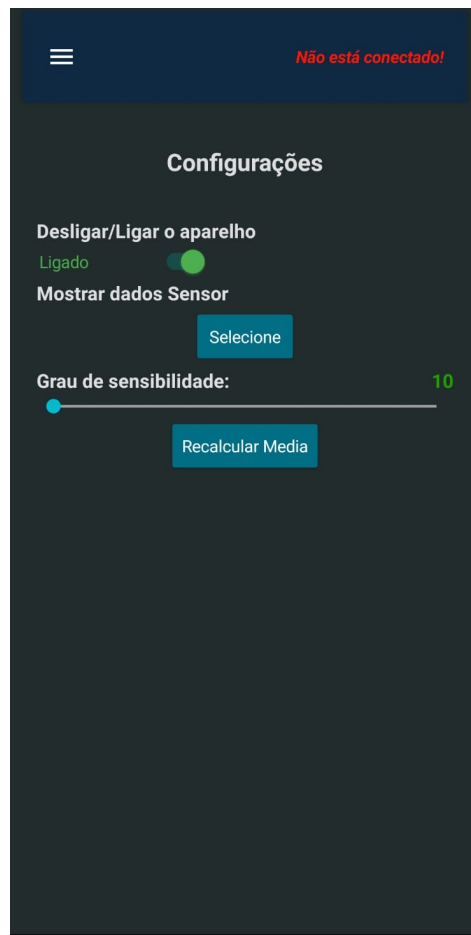


Figura 13: A tela de configurações.

Fonte: O próprio autor.

3.7. Plano de Testes

Como citado nas seções anteriores, os planos iniciais eram mostrar a informação ao usuário do sistema de forma intuitiva e de fácil acesso. Porém, devido à falta de materiais para isso, foi optado por uma abordagem através de um aplicativo para celular.

Apesar disso, felizmente o Plano de Testes não precisou de mudanças drásticas. A ideia é o usuário da solução usar um cinto, ou algo semelhante, que neste acessório, quatro sensores de áudio estejam estrategicamente distribuídos para melhor captar o som, assim como a pequena diferença dos valores recebidos entre os sensores.

O usuário também estará carregando o Arduino consigo, sendo alimentado por uma bateria. Na mão, o usuário estará com um smartphone com o aplicativo que se comunica com o Arduino via Bluetooth e mostra a direção que foi calculada. Com base nessas características, foram propostos sete planos de testes que serão detalhados a seguir.

3.7.1. Plano de teste 1

O primeiro conjunto de testes a ser realizado, será através do uso de palmas para o sistema detectar a direção em um ambiente silencioso. Este teste poderá nos fornecer respostas se o algoritmo para a detecção do som funciona da forma prevista, assim como se ele funciona no seu melhor caso, que é quando o sistema está funcionando em um ambiente silencioso.

3.7.2. Plano de teste 2

O segundo conjunto de testes foi realizado por meio do uso de um som alto, 80 decibéis, e contínuo em um ambiente silencioso. Este plano de teste pode nos fornecer informações sobre como os sensores irão funcionar através de um som alto e constante.

3.7.3. Plano de teste 3

O terceiro conjunto de testes a ser realizado será através do uso de palmas para o sistema detectar a direção em um ambiente agitado e com barulho, um volume que ultrapassa 80 decibéis, obtido empiricamente. Este teste pode nos fornecer respostas de como o algoritmo e o sistema para a detecção da direção de som funcionam em condições não controladas.

3.7.4. Plano de teste 4

O quarto conjunto de testes foi realizado por meio do uso de um som alto, 80 decibéis e contínuo em um ambiente agitado. Este plano de teste nos fornecerá informações sobre como os sensores irão funcionar no ambiente com sons que podem interferir na leitura.

3.7.5. Plano de teste 5

O quinto teste consiste em realizar a recalibração dos sensores via software. Este teste irá nos mostrar se o sistema criado funciona corretamente e se ele pode corrigir ou atenuar eventuais problemas de calibração dos sensores, que podem surgir durante o uso.

3.7.6. Plano de teste 6

O sexto teste consiste em ajustar o valor de sensibilidade via software, nos permitindo saber se tal recurso realmente funciona e se ele é útil para a aplicação.

3.7.7 Plano de teste 7

O sétimo teste consiste em desligar e ligar a opção de detecção de som presente na tela de configuração do aplicativo no smartphone, nos permitindo saber se tal recurso realmente funciona e se ele é útil para a aplicação.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta Seção o funcionamento da ferramenta será apresentado, a realização, erros que ocorreram e a análise dos resultados dos testes.

4.1. Problemas encontrados

Com os planos de testes prontos e em execução, durante a realização dos mesmos foram encontrados problemas em decorrência a uma série de fatores, sejam eles ambientais ou do próprio equipamento. A seguir estão descritos alguns desses problemas encontrados.

4.1.1. Sensores mal calibrados

Esse foi um problema que esteve presente durante todo o desenvolvimento da solução. Os sensores, talvez por serem baratos e, conseqüentemente, não precisos, se tornaram bastante propensos a falhas.

Alguns sensores frequentemente mudavam seus valores-base de envio estando em repouso apenas ao terem suas posições alteradas, sendo necessário que o usuário recalibre os sensores novamente ou os valores de compensação do sensor via software através do aplicativo. Porém, este último é falho, dependendo do quanto o sensor estiver descalibrado.

4.1.2. Fios com mau contato

Outro problema encontrado ao realizar os testes foram os fios, que devido a problemas internos, ou mesmo a conexões feitas com outros fios para transmitir informação dos sensores, acabavam por não transmitir a informação correta.

Este problema foi detectado inicialmente quando estavam realizando o Plano de teste 1, quando o sistema repetidamente informava uma direção, mesmo que ainda não houvesse a emissão de nenhum som.

Através de uma verificação dos valores emitidos pelos sensores, foi notado que um deles, o sensor norte, estava enviando um valor numérico bastante variado a cada leitura. Esse comportamento é contrário ao que deveria acontecer, já que, em um ambiente silencioso, os sensores tendem a enviar uma faixa muito pequena de valores. Com isto, foram verificados os fios e detectado que o problema era ocasionado por eles.

4.1.3. Ecos

Este foi um problema detectado ao serem realizados testes em ambientes fechados, onde o eco muitas vezes tornava a detecção da direção do som imprecisa ou consideravelmente falha.

Um erro comum relacionado ao eco que ocorria era que, ao ser emitido um som, o sistema apontava a origem do som detectado proveniente da direção mais próxima a uma parede ou algum outro objeto bastante grande e largo, ao invés de onde ele realmente veio. Esse comportamento indica que o som foi refletido por esse objeto e, como o eco vem após o som original, fazia com que os sensores indicassem a ocorrência do eco e não do ruído de origem.

Embora este erro ocorra, foi detectado que esta falha, por vezes, era causada também pelo problema apresentado na Seção 4.2.1.

4.2. Realização dos testes e análises dos resultados

A seguir veremos quais foram os resultados dos planos de testes executados. Em cada Seção, a seguir, serão mostrados os resultados de cada plano de teste da Seção 4.2. Além dos resultados encontrados, também será avaliada a porcentagem de acertos, assim como uma representação gráfica do teste realizado.

Abaixo está a Figura 15, mostrando o adereço que foi usado para realizar o teste com os sensores. Trata-se de um cinto, em que os sensores estão estrategicamente colocados. Estes sensores estão fixos por fita adesiva, assim como os

jumpers, um dispositivo usado para conectar ou desconectar circuitos eletrônicos temporariamente, estão conectados e mantidos unidos.

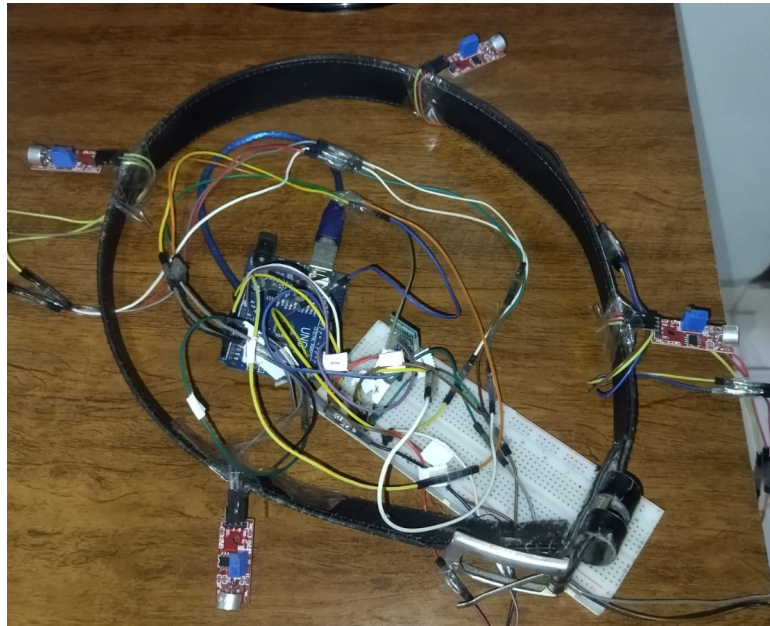


Figura 15: Como os sensores estão distribuídos.

Fonte: O próprio autor.

A Figura 16 (a) e (b) são referentes aos testes que foram realizados, elas mostram o usuário da solução em um local aberto, com o celular na mão realizando os testes. É possível perceber que foi necessário o suporte de outras pessoas, que não aparecem nas imagens.



Figura 16: A imagem a direita (a) mostra o usuário da solução usando o aplicativo e a imagem (b) indo em direção ao som captado.

Fonte: O próprio autor.

A Figura 17 é composta por imagens que mostram o usuário da solução com o celular na mão realizando os testes.

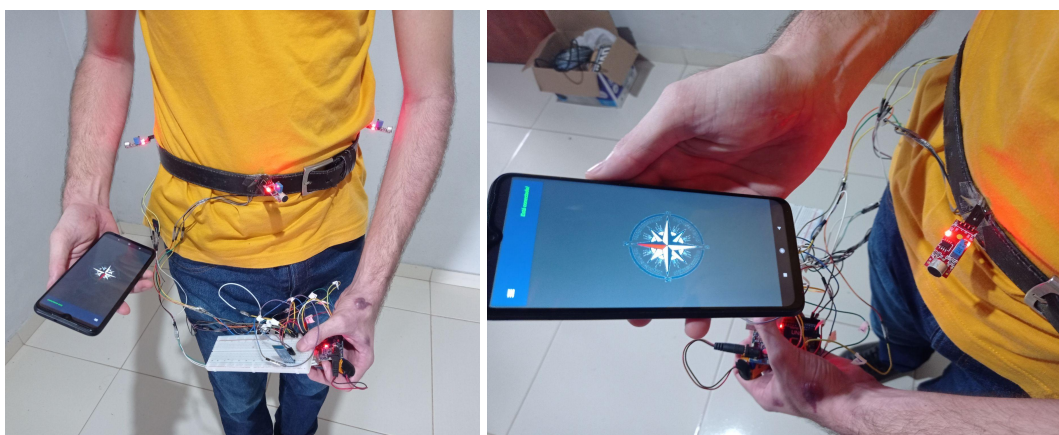


Figura 17: A sequência de imagens mostra o usuário da solução usando o aplicativo e mostrando como o cinto fica no usuário.

Fonte: O próprio autor

4.2.1. Caso de Testes 1

Foram realizados dez testes de direção de som com a origem do som vindo de vários lugares diferentes. Destes, apenas cinco serão detalhados, pois detalhar todos os testes seria repetitivo, já usando apenas cinco testes pode-se ter uma boa noção do quão precisa é a solução apresentada.

Deve-se considerar para a análise dos testes o valor definido para a sensibilidade da detecção do som como 20, que foi definido através da interface aplicativo, conforme Seção 3.6.3. Essa configuração pode servir para diminuir os efeitos causados pela possível baixa qualidade de fabricação dos sensores, que podem causar erros.

A Figura 18, mostra a sensibilidade atual da aplicação, além do *log* das médias dos sensores calculadas, que serão de grande importância quando explicarmos sobre os resultados. A Tabela 4 mostra os resultados do primeiro teste organizados, com a sensibilidade em 20. Perceba que os valores das médias são os mesmos apresentados na Figura 18.

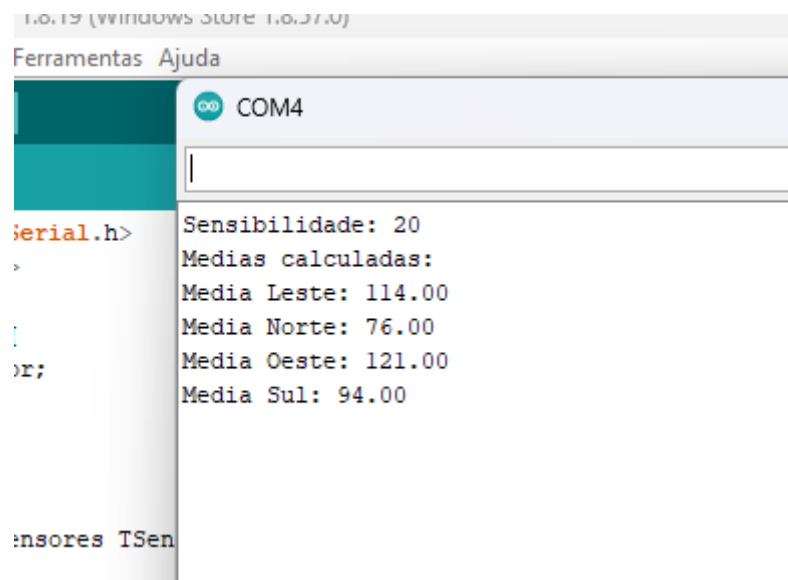


Figura 18: Mostra a tela Monitor Serial do Arduino IDE.

Fonte: O próprio autor

Tabela 4: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, as médias calculadas e o resultado obtido.

Sensor				Média				Resultado	
Leste	Norte	Oeste	Sul	Leste	Norte	Oeste	Sul	Dir.	Âng.
106	298	127	88	114	76	121	94	Norte	88°

A direção neste caso foi calculada de forma correta, a direção era realmente o norte, com o ângulo extremamente próximo ao real. A Figura 19 mostra duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

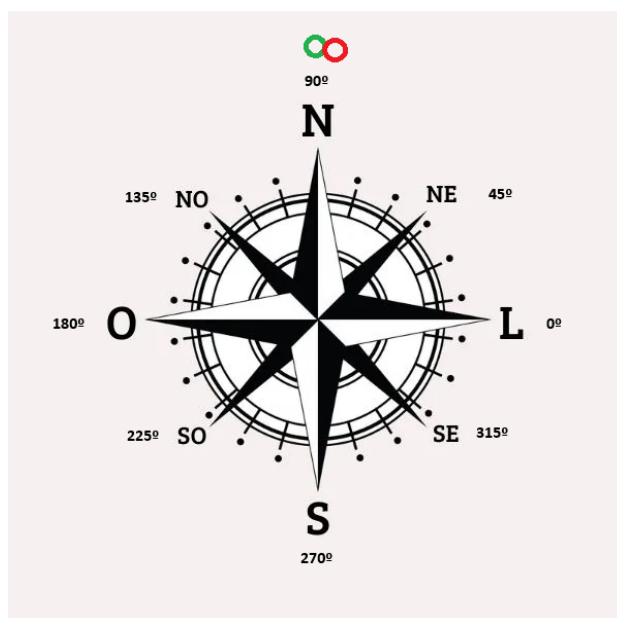


Figura 19: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

Fonte: O próprio autor

Os resultados do próximo teste são apresentados na Tabela 5, a sensibilidade continua em 20 e as médias dos sensores são as mesmas da Figura 18.

Tabela 5: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, as médias calculadas e o resultado obtido.

Sensor				Média				Resultado	
Leste	Norte	Oeste	Sul	Leste	Norte	Oeste	Sul	Dir.	Âng.
126	89	143	95	114	76	121	94	Noroeste	153°

A direção neste caso foi calculada de forma correta, a direção era realmente o Noroeste, com o ângulo próximo ao real. A Figura 20 mostra duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha, que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

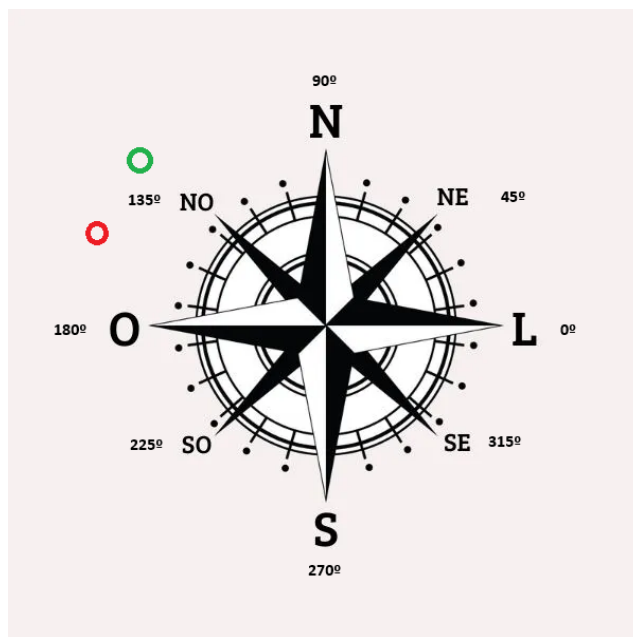


Figura 20: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

Fonte: O próprio autor

Para o próximo teste, a sensibilidade está em 20 e as médias dos sensores são diferentes da Figura 18. Isto ocorreu devido aos sensores terem sido recalibrados fisicamente, para em estado de repouso tivessem valores semelhantes, isto se refletiu

nas médias dos sensores que foram novamente calculadas e estão com valores mais próximos.

A Tabela 6 mostra os valores recebidos do sensor e as médias calculadas, assim como o resultado obtido pela ferramenta do cálculo de direção de som.

Tabela 6: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e o resultado obtido.

Sensor				Média				Resultado	
Leste	Norte	Oeste	Sul	Leste	Norte	Oeste	Sul	Dir.	Âng.
122	100	128	123	101	98	102	103	Sudoeste	214°

A direção neste caso foi calculada de forma correta, a direção sendo realmente o Sudoeste, com o ângulo próximo ao real. Porém, o som veio mais na direção sul do que do oeste. Este erro pode ter ocorrido devido à qualidade do sensor, já que ele não é um sensor muito robusto.

A Figura 21 mostra aproximadamente a direção real e a calculada pela ferramenta. A bolinha verde é a localização real de onde veio o som e a vermelha é a calculada.

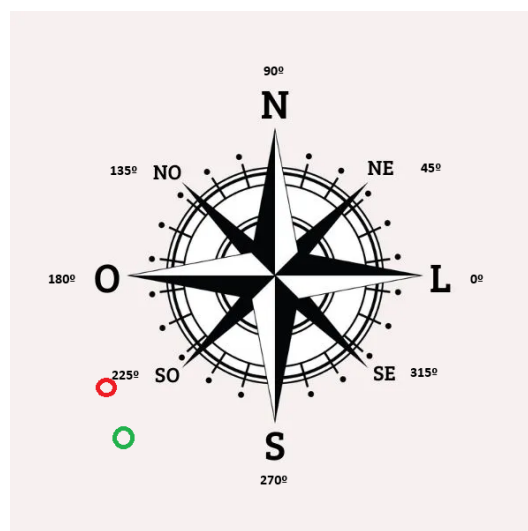


Figura 21: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

Fonte: O próprio autor

No próximo teste, dados mostrados na Tabela 7, a seguir, a sensibilidade está em 20 e as médias dos sensores seguem as mesmas do teste anterior.

Tabela 7: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e resultados obtidos.

Sensor				Média				Resultado	
Leste	Norte	Oeste	Sul	Leste	Norte	Oeste	Sul	Dir.	Âng.
144	84	148	104	101	98	102	103	Noroeste	166°

A direção neste caso foi calculada de forma incorreta, a direção original era o nordeste, com o ângulo próximo de 45 graus. Ao subtrairmos os valores obtidos dos sensores e os subtrair pelo valor de suas médias respectivas, vamos chegar aos valores apresentados na Tabela 8, onde os valores são exibidos para cada eixo.

Tabela 8: Tabela mostrando os valores das subtrações entre os Valores dos Sensores e as Médias calculadas para cada eixo.

Norte	Leste	Sul	Oeste
14	43	2	45

Como o algoritmo utiliza valores de eixos diferentes para realizar o cálculo, o sistema pegou o valor 14 do norte, já que ele é maior do que o 2 do sul. E ao analisar o eixo leste-oeste, ele pegou o que tinha maior valor, que era o oeste com 45 sobre os 43 do leste. Podemos perceber que a diferença entre os dois valores são pequenas, mas que deveriam na realidade ser mais discrepantes.

Este erro pode ter ocorrido devido ao eco do ambiente no qual o teste foi realizado. Outro problema pode ser o fato dos próprios sensores terem causado tal erro.

A Figura 22 mostra aproximadamente a direção real e a calculada pela ferramenta. A bolinha verde é a localização real de onde veio o som, e a vermelha é a calculada.

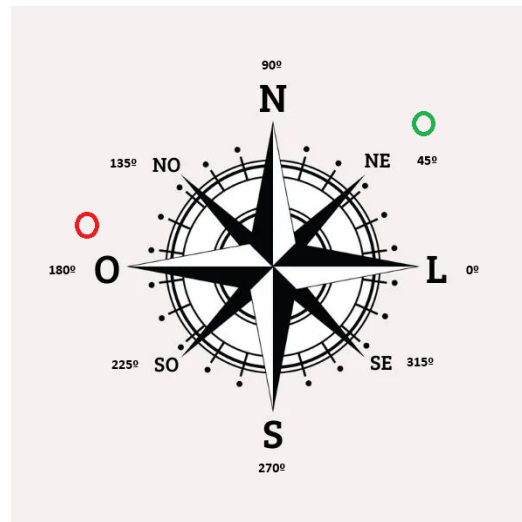


Figura 22: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

Fonte: O próprio autor

A Tabela 9 abaixo mostra os valores obtidos e o resultado deste próximo teste, a sensibilidade do sistema está em 20.

Tabela 9: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e os resultados obtidos.

Sensor				Média				Resultado	
Leste	Norte	Oeste	Sul	Leste	Norte	Oeste	Sul	Dir.	Âng.
101	100	109	171	101	98	102	103	Sul	265°

A direção neste caso foi calculada de forma correta, e era realmente o sul, com o ângulo próximo ao real. A Figura 23 mostra duas bolinhas, uma verde, que é a representação da localização real de onde veio o som, e a vermelha, que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

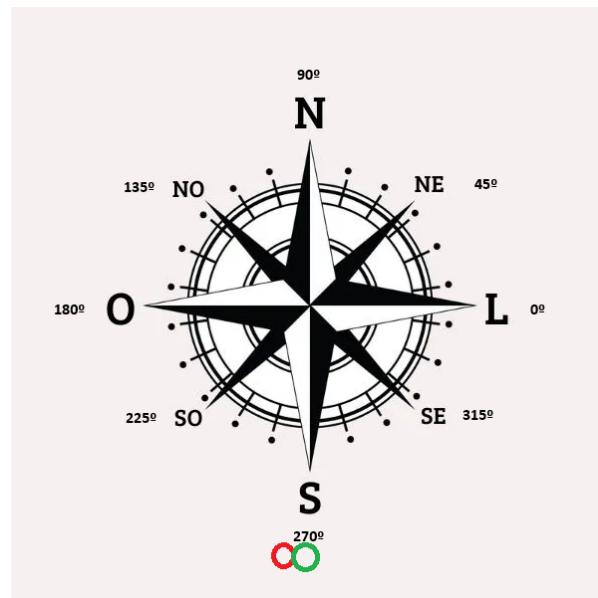


Figura 23: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

Fonte: O próprio autor

Dos dez testes realizados, os resultados são apresentados na Tabela 10, que apresenta dados acerca de acertos, acertos moderados e inconsistências ou erros. Nesta tabela, os acertos são os cálculos que acertaram a direção com pouca diferença de ângulo do original, mais ou menos 20 graus para o esperado. Acertos moderados são os cálculos que acertaram a direção, mas passaram de 20 graus de distância do esperado. Já as inconsistências são os cálculos incorretos, quando o sistema calcula a direção de forma errada, conforme antecipado na Seção 4.2.

Tabela 10: Quantidade de acertos, acertos moderados e inconsistências nos resultados dos testes.

Acertos	Acertos Moderados	Inconsistências
---------	-------------------	-----------------

5	3	2
---	---	---

4.2.2. Casos de testes 2

Foram realizados vinte testes de direção de som através do uso de um som constante e com a origem proveniente de vários lugares diferentes em um ambiente calmo e sem barulho. Porém, serão mostrados apenas cinco destes testes de forma detalhada.

Deve-se considerar para a análise dos dez primeiros testes o valor definido para a sensibilidade da detecção do som como 20, como falado anteriormente, escolhido de forma empírica, e nos próximos 10 testes a sensibilidade foi reduzida para 10, já que é a metade do anterior, e com isso poderá se ver o impacto desta alteração nos resultados.

A alteração da sensibilidade do sistema foi feita para verificar a funcionalidade do Caso de Testes 6.

Os dados e resultados obtidos do teste são apresentados na Tabela 11, a sensibilidade está em 20.

Tabela 11: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, suas médias calculadas e os resultados obtidos.

Sensor				Média				Resultado	
Leste	Norte	Oeste	Sul	Leste	Norte	Oeste	Sul	Dir.	Âng.
102	128	104	106	100	105	107	105	Norte	95°

A direção neste caso foi calculada de forma correta, a direção era realmente o norte. A Figura 24 mostra duas bolinhas, uma verde, que é a representação da localização real de onde veio o som, e a vermelha, que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

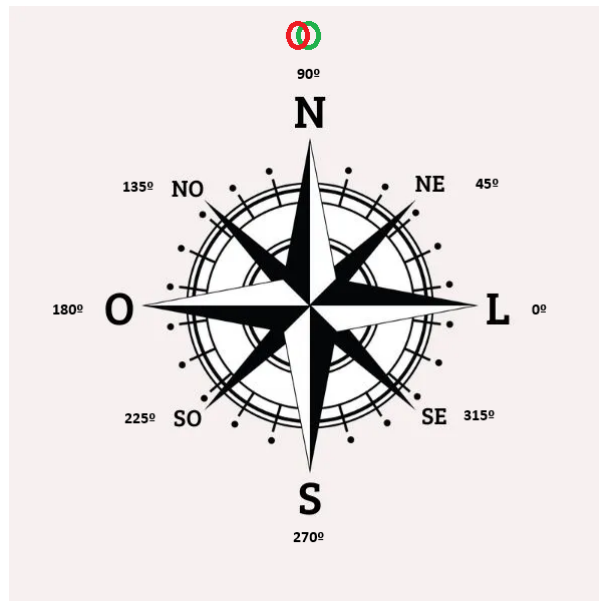


Figura 24: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

Fonte: O próprio autor

A Tabela 12 mostra os valores e os resultados obtidos de outro teste realizado com a sensibilidade do sistema em 20.

Tabela 12: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e os resultados obtidos.

Sensor				Média				Resultado	
Leste	Norte	Oeste	Sul	Leste	Norte	Oeste	Sul	Dir.	Âng.
101	109	136	107	100	105	107	105	Oeste	173°

A direção neste caso foi calculada de forma correta, a direção era realmente o oeste. A Figura 25 mostra duas bolinhas, uma verde, que é a representação da localização real de onde veio o som, e a vermelha, que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

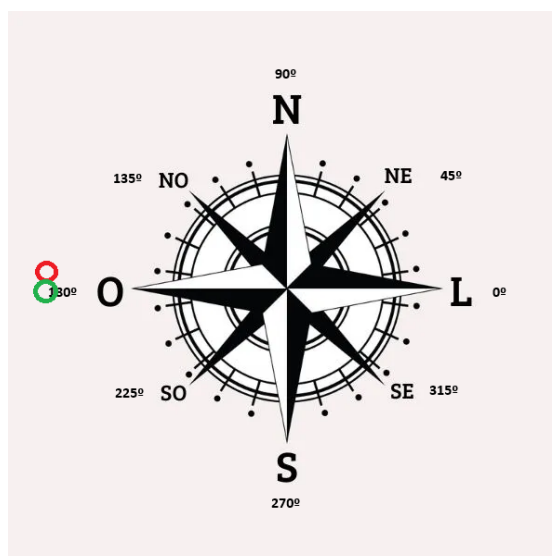


Figura 25: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

Fonte: O próprio autor.

A Tabela 13 mostra os valores e os resultados obtidos do teste realizado a seguir com a sensibilidade do sistema alterada para 10, devido ao fato que o sistema não categoriza o som proveniente da caixa de som que estava em uso, como um som alto o suficiente. As médias também foram recalculadas.

Tabela 13: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e os resultados obtidos.

Sensor				Média				Resultado	
Leste	Norte	Oeste	Sul	Leste	Norte	Oeste	Sul	Dir.	Âng.
101	82	118	88	97	84	101	92	Sudoeste	190°

A direção neste caso foi calculada de forma incorreta, já que a direção real era o sul. A Figura 26 mostra duas bolinhas, uma verde, que é a representação da localização real de onde veio o som, e a vermelha, que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

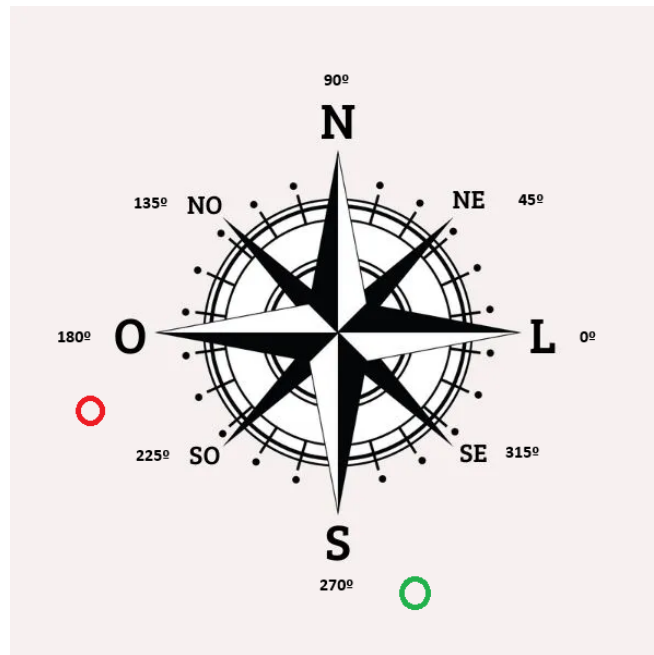


Figura 26: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

Fonte: O próprio autor.

A Tabela 14 mostra os valores e resultados obtidos em mais um teste realizado, a sensibilidade do sistema está em 10.

Tabela 14: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e os resultados obtidos.

Sensor				Média				Resultado	
Leste	Norte	Oeste	Sul	Leste	Norte	Oeste	Sul	Dir.	Âng.
109	73	96	88	97	84	101	92	Nordeste	41°

A direção neste caso foi calculada de forma correta, a direção era realmente o nordeste, com o ângulo próximo ao real. A Figura 27 mostra duas bolinhas, uma verde, que é a representação da localização real de onde veio o som, e a vermelha, que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

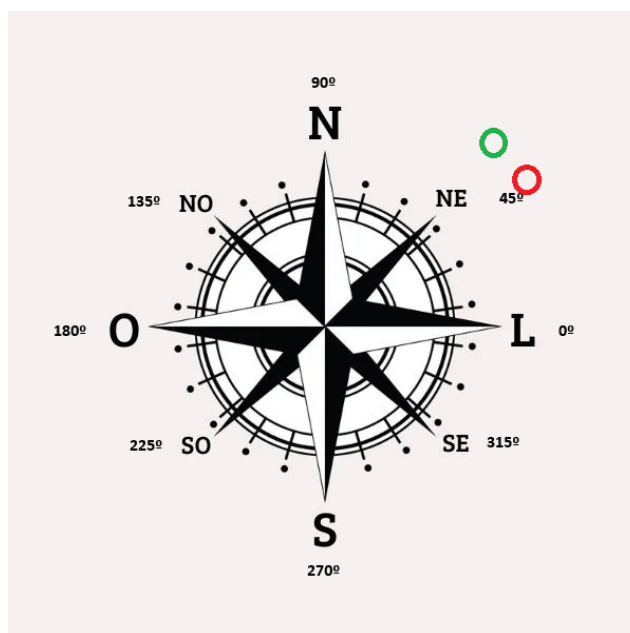


Figura 27: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

Fonte: O próprio autor.

A Tabela 15 mostra os valores e resultados obtidos do teste realizado com a sensibilidade do sistema em 10.

Tabela 15: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e resultados obtidos.

Sensor				Média				Resultado	
Leste	Norte	Oeste	Sul	Leste	Norte	Oeste	Sul	Dir.	Âng.
108	84	92	90	97	84	101	92	Leste	351°

A direção neste caso foi calculada de forma correta, a direção era realmente o leste, com o ângulo próximo ao real. A Figura 28 mostra duas bolinhas, uma verde, que é a representação da localização real de onde veio o som, e a vermelha, que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

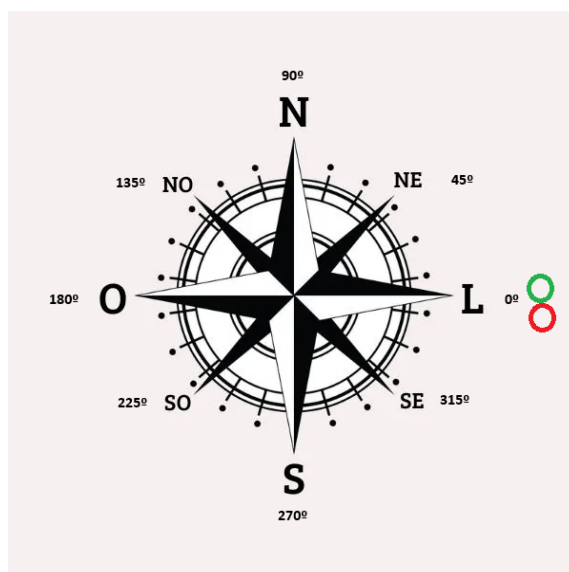


Figura 28: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

Fonte: O próprio autor.

Dos dez testes realizados, apresentados nas Tabela 16 e Tabela 17, temos a seguinte quantidade de detecções de direção corretas, corretas moderadamente e incorretas. Os testes foram divididos em duas partes, uma parte com a sensibilidade em 20, com os resultados apresentados na Tabela 16, e a outra com a sensibilidade em 10, com resultados apresentados na Tabela 17.

Tabela 16: Quantidade de acertos, acertos moderados e inconsistências nos resultados dos testes com a sensibilidade em 20.

Acertos	Acertos Moderados	Inconsistências
6	2	2

Tabela 17: Quantidade de acertos, acertos moderados e inconsistências nos resultados dos testes com a sensibilidade em 10.

Acertos	Acertos Moderados	Inconsistências
---------	-------------------	-----------------

4	2	4
---	---	---

4.2.3. Casos de testes 3

Foram realizados dez testes de direção de som com a origem do som vindo de vários lugares diferentes em um ambiente com barulho ambiente, será mostrado apenas cinco de forma detalhada.

Deve-se considerar para a análise dos testes o valor definido para a sensibilidade da detecção do som em 20, valor de sensibilidade ajustado via aplicativo, explicado na Seção 4.3.6, algo que foi definido através do aplicativo.

A imagem da Figura 29 mostra a sensibilidade atual da aplicação, além das médias dos sensores que foram calculadas, que serão de grande importância para quando explicarmos sobre os resultados.

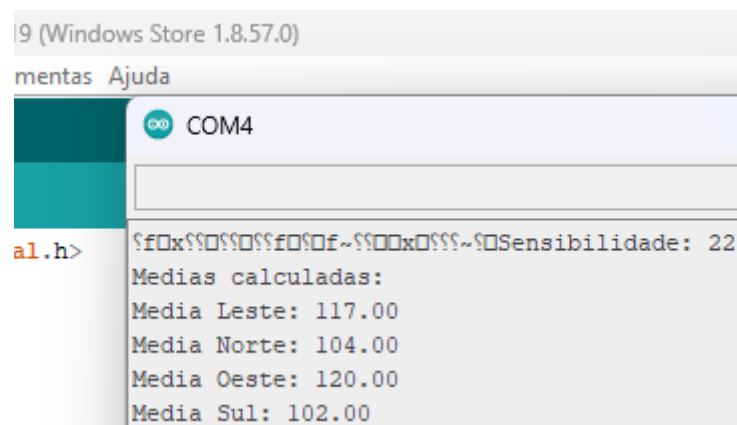


Figura 29: Mostra a tela Monitor Serial do Arduino IDE.

Fonte: O próprio autor.

A Tabela 18 mostra os valores e resultados obtidos do teste realizado, a sensibilidade do sistema estava em 22 e as médias dos sensores são as mesmas da Figura 29.

Tabela 18: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e resultados obtidos.

Sensor				Média				Resultado	
Leste	Norte	Oeste	Sul	Leste	Norte	Oeste	Sul	Dir.	Âng.
136	117	134	100	113	118	134	102	Leste	356°

A direção neste caso foi calculada de forma correta, a direção era realmente o leste. A Figura 30 mostra duas bolinhas, uma verde, que é a representação da localização real de onde veio o som, e a vermelha, que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

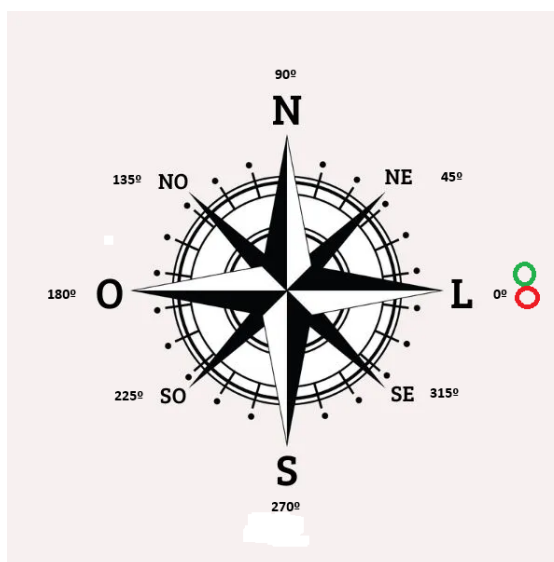


Figura 30: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

Fonte: O próprio autor.

A Tabela 19 mostra os valores e resultados obtidos do teste realizado, a sensibilidade do sistema está em 22 e as médias dos sensores são as mesmas do teste referente à Tabela 18.

Tabela 19: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e resultados obtidos.

Sensor				Média				Resultado	
Leste	Norte	Oeste	Sul	Leste	Norte	Oeste	Sul	Dir.	Âng.
115	104	165	104	113	118	134	102	Noroeste	159°

A direção neste caso foi calculada de forma incorreta, porém não ocorreu um grande erro, a direção era o norte, com o ângulo divergindo em 69 graus. A Figura 31 mostra duas bolinhas, uma verde, que é a representação da localização real de onde veio o som, e a vermelha, que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

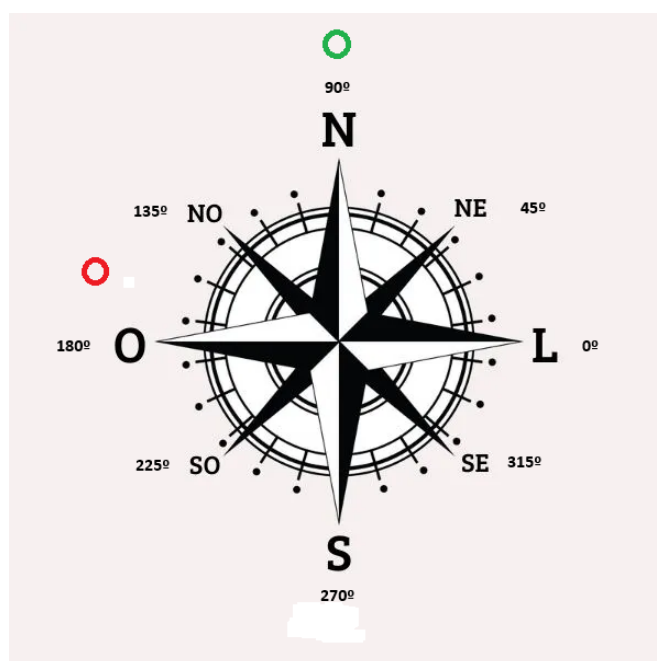


Figura 31: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

Fonte: O próprio autor.

A Tabela 20 mostra os valores e resultados obtidos do teste realizado, a sensibilidade do sistema está em 22 e as médias dos sensores são as mesmas do teste referente a Tabela 18.

Tabela 20: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e resultados obtidos.

Sensor				Média				Resultado	
Leste	Norte	Oeste	Sul	Leste	Norte	Oeste	Sul	Dir.	Âng.
152	113	156	98	113	118	134	102	Leste	5°

A direção neste caso foi calculada de forma incorreta, a direção original era o oeste, a direção oposta, com o ângulo próximo de 180°. Ao subtrairmos os valores obtidos dos sensores e os subtrair pelo valor de suas médias respectivas, vamos chegar aos valores mostrados na Tabela 21.

Tabela 21: Tabela mostrando os valores da subtração entre o Valor do Sensor e a Média calculada dos sensores.

Norte	Leste	Sul	Oeste
5	39	4	22

Como o algoritmo pega valores de eixos diferentes para realizar o cálculo, o sistema pegou o valor 5 do norte, já que ele é maior do que o do que o 4 do sul. Ao analisar o eixo leste-oeste, ele pegou o que tinha maior valor, o qual era o leste, com valor 39 sobre o valor 22 do oeste. Os valores deste teste, entre as direções leste e oeste, diferem consideravelmente.

Este erro pode ter ocorrido devido ao eco do ambiente, no qual o teste foi realizado. Outro problema pode ser o fato dos próprios sensores terem causado tal erro, ou pode ser o fato do ambiente estar com muito barulho, tornando a leitura incorreta. Por fim, o erro pode ainda ser devido à calibração dos sensores.

A Figura 32 mostra duas bolinhas, uma verde, que é a representação da localização real de onde veio o som, e a vermelha, que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

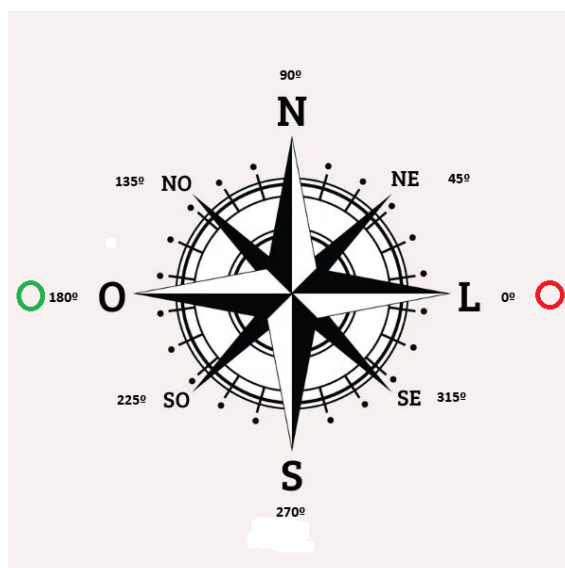


Figura 32: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

Fonte: O próprio autor.

A Tabela 22 mostra os dados e resultados obtidos do teste realizado, a sensibilidade do sistema está em 20 como o primeiro teste, e as médias dos sensores são diferentes dos exemplos anteriores, pois foi feita a calibração do hardware dos sensores, além do novo cálculo das médias para cada sensor.

Tabela 22: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e resultados obtidos.

Sensor				Média				Resultado	
Leste	Norte	Oeste	Sul	Leste	Norte	Oeste	Sul	Dir.	Âng.
119	110	601	104	117	104	120	102	Oeste	179°

A direção neste caso foi calculada de forma correta. Interessante notar que o valor do sensor oeste está bastante alto, chegando ao valor 601, isto pode ter sido causado pela proximidade da origem do som com o sensor.

A Figura 33 mostra duas bolinhas, uma verde, que é a representação da localização real de onde veio o som, e a vermelha, que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

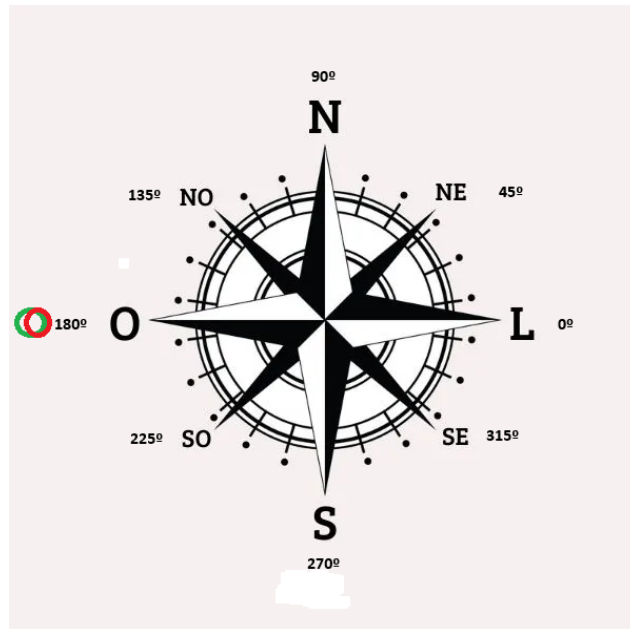


Figura 33: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

Fonte: O próprio autor.

A Tabela 23 mostra os dados e resultados obtidos do teste realizado, a sensibilidade do sistema está em 22.

Tabela 23: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e resultados obtidos.

Sensor				Média				Resultado	
Leste	Norte	Oeste	Sul	Leste	Norte	Oeste	Sul	Dir.	Âng.
127	112	286	137	117	104	120	102	Sudoeste	189°

A direção neste caso foi calculada de forma correta. A Figura 34 mostra duas bolinhas, uma verde, que é a representação da localização real de onde veio o som, e a vermelha, que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

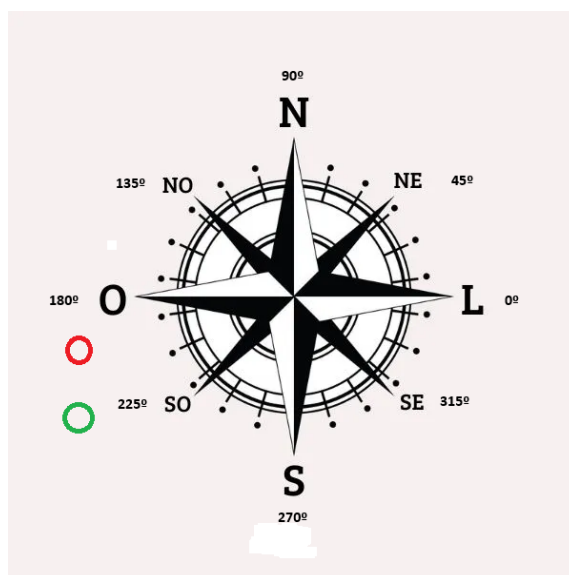


Figura 34: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

Fonte: O próprio autor.

Dos dez testes realizados, temos a quantidade de detecções de direção corretas, moderadamente corretas e incorretas ou inconsistências apresentadas na Tabela 24.

Tabela 24: Quantidade de acertos, acertos moderados e inconsistências nos resultados dos testes.

Acertos	Acertos Moderados	Inconsistências
3	2	5

4.2.4. Casos de testes 4

Foram realizados dez testes de direção de som através do uso de um som constante e com a origem proveniente de vários lugares diferentes e em um ambiente com barulho. Porém, serão mostrados apenas cinco destes testes de forma detalhada, pois com apenas cinco casos se tem uma visão completa sobre os casos que ocorreram durante o teste.

Deve-se considerar para a análise dos testes o valor definido para a sensibilidade da detecção do som como 20.

A Tabela 25 mostra os dados e resultados obtidos com o teste, a sensibilidade do sistema está em 20.

Tabela 25: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e resultados obtidos.

Sensor				Média				Resultado	
Leste	Norte	Oeste	Sul	Leste	Norte	Oeste	Sul	Dir.	Âng.
96	106	102	90	96	85	102	86	Norte	90°

A direção neste caso foi calculada de forma correta, a direção era realmente o norte. A Figura 35 mostra duas bolinhas, uma verde, que é a representação da localização real de onde veio o som, e a vermelha, que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

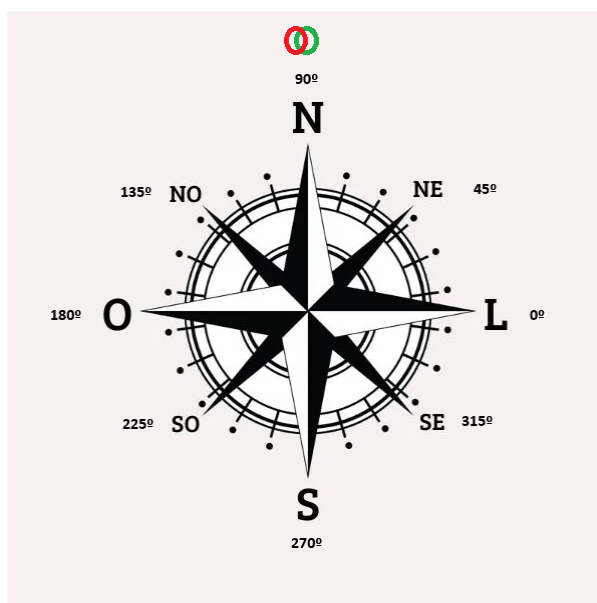


Figura 35: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

Fonte: O próprio autor.

A Tabela 26 mostra os dados e resultados obtidos com o teste.

Tabela 26: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e resultados obtidos.

Sensor				Média				Resultado	
Leste	Norte	Oeste	Sul	Leste	Norte	Oeste	Sul	Dir.	Âng.
88	84	114	83	96	85	102	86	Sudoeste	191°

A direção neste caso foi calculada de forma incorreta, a direção real o sul. A Figura 36 mostra duas bolinhas, uma verde, que é a representação da localização real de onde veio o som, e a vermelha, que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

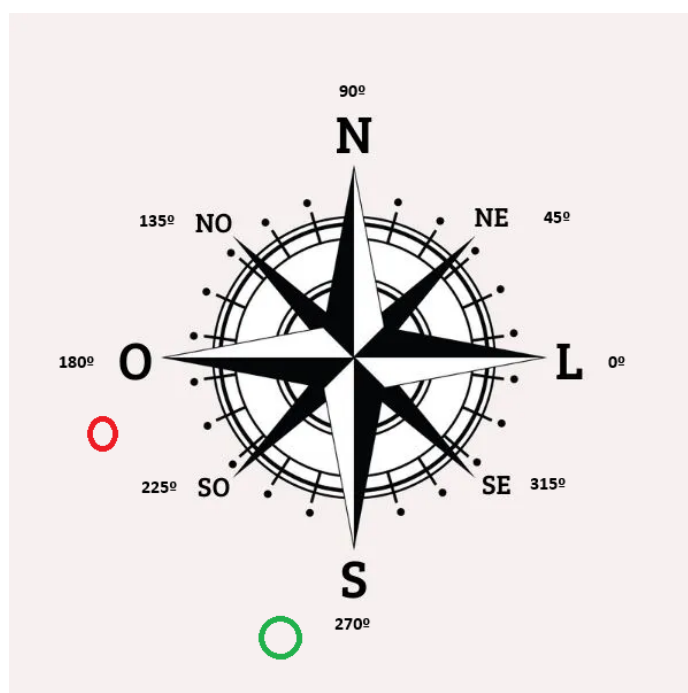


Figura 36: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

Fonte: O próprio autor.

A Tabela 27 mostra os dados e resultados obtidos com o teste.

Tabela 27: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e resultados obtidos.

Sensor				Média				Resultado	
Leste	Norte	Oeste	Sul	Leste	Norte	Oeste	Sul	Dir.	Âng.
107	90	96	88	96	85	102	86	Nordeste	20°

A direção neste caso foi calculada de forma incorreta, a direção real o leste, porém existe uma diferença baixa para a direção e o ângulo real. A Figura 37 mostra duas bolinhas, uma verde, que é a representação da localização real de onde veio o som, e a vermelha, que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

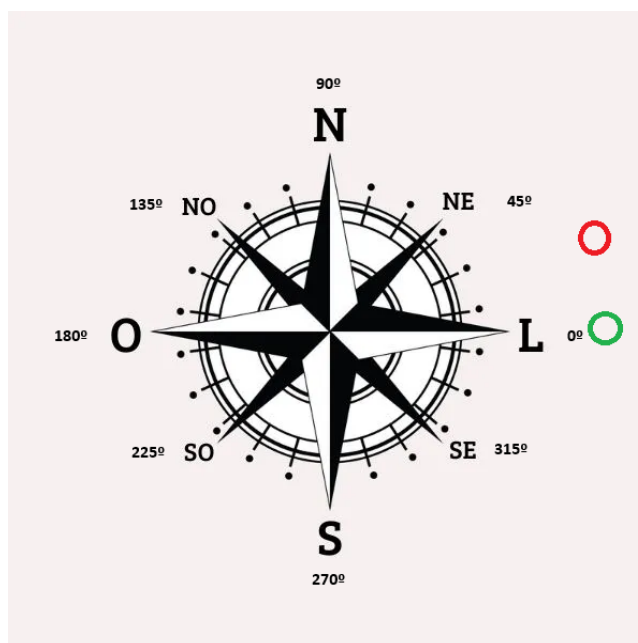


Figura 37: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

Fonte: O próprio autor.

A Tabela 28 mostra os dados e resultados obtidos com o teste.

Tabela 28: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e resultados obtidos.

Sensor				Média				Resultado	
Leste	Norte	Oeste	Sul	Leste	Norte	Oeste	Sul	Dir.	Âng.
90	108	99	87	96	85	102	86	Nordeste	78°

A direção neste caso foi calculada de forma correta, com uma diferença pequena para o ângulo real, aproximadamente 45 graus. A Figura 38 mostra duas bolinhas, uma verde, que é a representação da localização real de onde veio o som, e a vermelha, que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

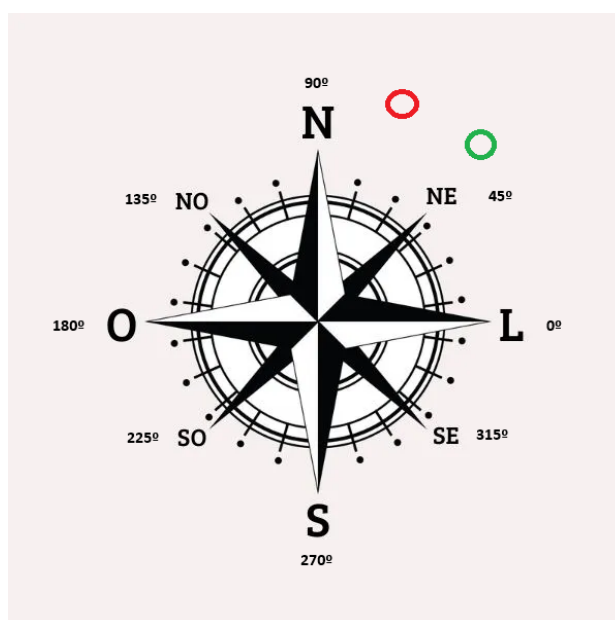


Figura 38: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

Fonte: O próprio autor.

A Tabela 29 mostra os dados e resultados obtidos com o teste.

Tabela 29: Tabela mostrando os valores captados pelos sensores, médias calculadas e resultados obtidos.

Sensor				Média				Resultado	
Leste	Norte	Oeste	Sul	Leste	Norte	Oeste	Sul	Dir.	Âng.
102	96	100	86	96	85	102	86	Nordeste	65°

A direção neste caso foi calculada de forma incorreta, a direção era nordeste. A Figura 39 mostra duas bolinhas, uma verde, que é a representação da localização real de onde veio o som, e a vermelha, que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

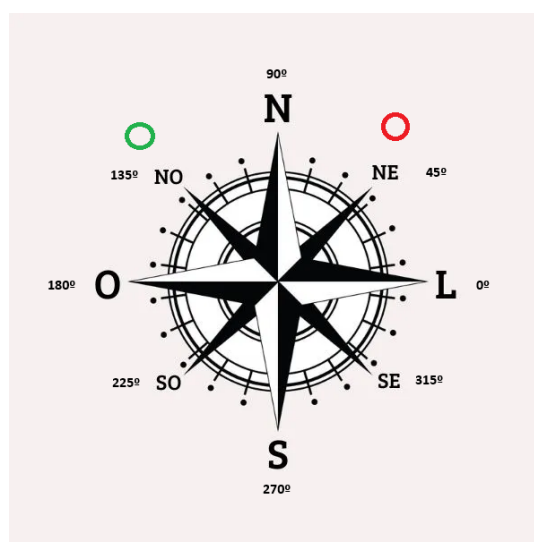


Figura 39: Mostra as localizações reais e calculadas do som, através de duas bolinhas, uma bolinha verde que é a representação da localização real de onde veio o som, e a bolinha vermelha que é a representação da localização calculada pela ferramenta.

Fonte: O próprio autor.

Dos dez testes realizados temos a seguinte quantidade de detecções de direção corretas, corretas moderadas, e incorretas ou inconsistências, os valores totais dos resultados estão presentes na Tabela 30.

Tabela 30: Quantidade de acertos, acertos moderados e inconsistências.

Acertos	Acertos Moderados	Inconsistências
---------	-------------------	-----------------

4	1	5
---	---	---

4.2.5. Casos de testes 5

Este caso de teste se deu ao usar o aparelho celular com o aplicativo instalado para verificar se esta tecnologia está funcionando corretamente. A Figura 40 mostra os *logs* de solicitação para o novo cálculo das médias, assim como as novas médias calculadas para os testes.

```
Sensibilidade: 20
Medias calculadas:
Media Leste: 100.00
Media Norte: 98.00
Media Oeste: 100.00
Media Sul: 99.00

Requisitada a sensibilidade
Calculando novamente as médias
Medias calculadas:
Media Leste: 96.00
Media Norte: 94.00
Media Oeste: 102.00
Media Sul: 101.00
```

Figura 40: Mostra os logs do Arduino no Monitor Serial do Arduino IDE.

Fonte: O próprio autor.

O novo cálculo das médias foi realizado com sucesso, uma vez que em testes anteriores para calcular a direção do som, às vezes ocorriam erros na direção, que muitas vezes eram corrigidos apenas com esse novo cálculo das médias.

4.2.6. Casos de testes 6

Este caso de teste se deu ao realizar a requisição da alteração do valor de sensibilidade do sistema via aplicativo. Esta opção é importante para ambientes com

barulho acima ou igual a 80 decibéis. Assim, o sistema irá ignorar os sons mesmos altos, para valores realmente grandes.

A Figura 41 mostra os *logs* do sistema Arduino na tela Monitor Serial do programa Arduino IDE. O importante desta imagem é a mensagem onde mostra o *log* que a sensibilidade foi alterada e seu novo valor. É possível observar que o sistema altera sua sensibilidade três vezes, nas duas primeiras vezes o valor é alterado para 32, porém na terceira vez o valor é alterado para 22.

```
Medias calculadas:  
Media Leste: 96.00  
Media Norte: 94.00  
Media Oeste: 102.00  
Media Sul: 101.00  
  
Alterada a sensibilidade para: 32  
Alterada a sensibilidade para: 32  
Mostrar Sensores Leste  
Sensor Leste: 96 | Media Leste: 96.00  
Desligar Mostrar Sensores  
Alterada a sensibilidade para: 22
```

Figura 41: Mostra os logs do Arduino no Monitor Serial do Arduino IDE.

Fonte: O próprio autor.

A Figura 42 mostra as telas de configurações do aplicativo com o valor de sensibilidade já alterado para 32 (a), e com o valor alterado para 22 (b).

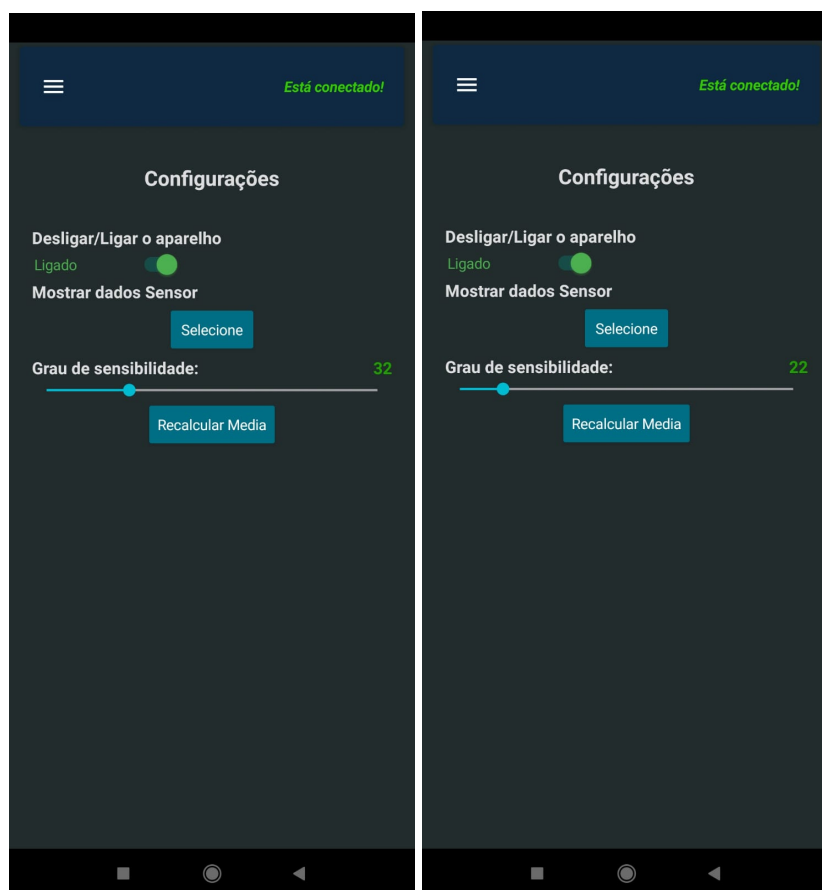


Figura 42: Mostra a tela de configurações do aplicativo, na imagem da direita (a) mostra o Grau de Sensibilidade em um valor e na imagem da esquerda (b) mostra este valor ajustado.

Fonte: O próprio autor.

Testes foram realizados com a sensibilidade alterada, vide Seção 4.1.2, e em todos os testes, o sistema iniciava o cálculo da direção de som apenas quando a amplitude do som captado ultrapassava o limite do Portão de Ruído.

Estes testes mostraram que em ambientes barulhentos, onde o som ambiente ultrapassa ou se aproxima do valor limite do Portão de Ruído que é 80 decibéis, o uso desta opção de reduzir ou aumentar a sensibilidade se torna bastante útil, já que com ele é possível alterar a tolerância do sistema em relação ao volume do som.

4.2.7. Casos de testes 7

Este caso de teste se deu com o uso da opção **Ligar** e **Desligar** presentes na tela de configuração do aplicativo. Esta opção, como já explicado em seções anteriores, nos permite impedir que o Arduino realize detecção da direção de som, não importando o quão alto é o barulho detectado.

A Figura 43 mostra as telas de configurações do aplicativo, na primeira imagem (a) a opção **Desligar/Ligar** está com a opção Ligar, permitindo no caso que o sistema realize a detecção da direção do som. Já na segunda imagem, a opção **Desligar/Ligar** está definida como Desligar, impedindo o sistema realizar a detecção da direção do som.

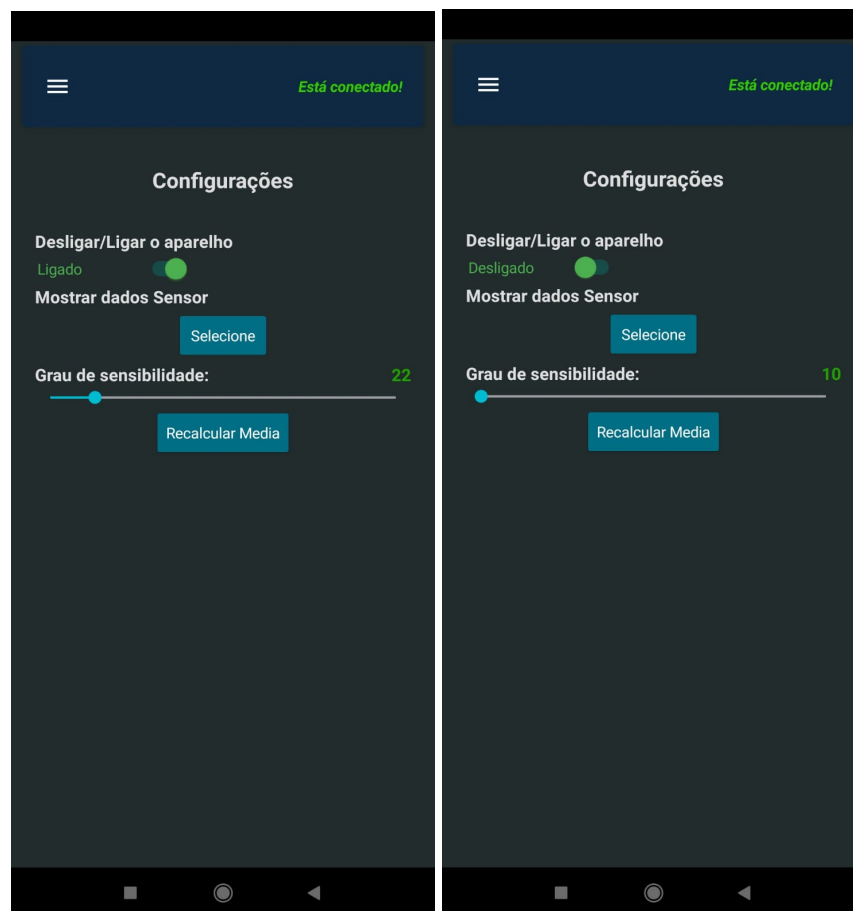


Figura 43: Mostra a tela de configurações do aplicativo, na imagem da direita (a) mostra a opção Desligar/Ligar na opção Ligado e na imagem da esquerda (b) mostra a opção para Desligado.

Fonte: O próprio autor.

A Figura 44 mostra os *logs* do sistema na tela Serial Monitor no Arduino IDE, e pode-se notar que o sistema estava inicialmente desligado e, ao ser ligado, o sistema realizou várias verificações de direção. Ao ser desligado o sistema não mais realizou a detecção.

```
Media Leste: 96.00
Media Norte: 94.00
Media Oeste: 103.00
Media Sul: 101.00

Requisitada a sensibilidade
Desligado
Ligado
Sensor Leste: 119 | Media Leste: 96.00
Sensor Norte: 94 | Media Norte: 94.00
Sensor Oeste: 103 | Media Oeste: 103.00
Sensor Sul: 102 | Media Sul: 101.00
Leste
Angulo: 358

Sensor Leste: 119 | Media Leste: 96.00
Sensor Norte: 95 | Media Norte: 94.00
Sensor Oeste: 102 | Media Oeste: 103.00
Sensor Sul: 99 | Media Sul: 101.00
Leste
Angulo: 356

Sensor Leste: 125 | Media Leste: 96.00
Sensor Norte: 95 | Media Norte: 94.00
Sensor Oeste: 103 | Media Oeste: 103.00
Sensor Sul: 100 | Media Sul: 101.00
Leste
Angulo: 1

Desligado
```

Figura 44: Mostra os logs do Arduino no Monitor Serial no Arduino IDE.

Fonte: O próprio autor.

Este caso de teste, embora simples, nos mostra que esta funcionalidade é importante para a solução, principalmente devido ao fato que o sistema opera através da alimentação por baterias. A opção de ligar ou desligar a detecção do som serve, portanto, inclusive para a economia de energia.

4.3. Discussão dos Resultados

Estes casos de testes revelaram algumas informações importantes sobre a solução e funções adicionadas a ela. Para os cálculos de direção do som, é perceptível através dos resultados, que não há diferença entre você gerar sons altos e rápidos como palmas, que ultrapassam o Portão de Ruído de 80 decibéis e que durem menos que 1 segundo, ou um som alto, que ultrapassa o Portão de Ruído de 80 decibéis, mas contínuo. Pode-se constatar isso ao analisar os dados e gráficos de acertos, acertos moderados e erros das seções 4.3.1 a 4.3.4.

Outro ponto importante sobre a solução foi que a alteração da sensibilidade explicada na Seção 4.3.6, mostrada na Seção 4.3.2, onde a alteração da sensibilidade pela metade, resultou em uma porcentagem de acertos menor.

Com os outros casos de testes realizados, foi comprovado que a comunicação entre o Arduino e o aparelho smartphone através da tecnologia Bluetooth ocorreu com êxito, assim como as demais funções propostas para o aplicativo.

Além da avaliação sobre os resultados obtidos, em relação ao que foi apresentado na Seção 2.1, sobre a Computação Vestível, é possível perceber que a ferramenta satisfaz alguns dos testes lá apresentados.

Em relação ao primeiro teste, concluímos que a solução é vestível, pois a solução é projetada para ser usada através de um cinto e uma caixa ou bolsa que guarda o Arduino e módulo Bluetooth. Além disso, a solução também é inteligente, pois o sistema atua com um processador próprio do Arduino, além de estabelecer uma conexão via Bluetooth com o aparelho smartphone do usuário.

No entanto, o terceiro teste não é cumprido, pois embora o sistema seja projetado para o uso diário e interaja com usuário a qualquer momento, o sistema não fornece acesso constante a serviços de informação. O mesmo ocorre com os quarto e sexto testes, pois o sistema não possui sistemas para detectar o estado interno do usuário, porém, oferta o suporte cognitivo, que é requisito do Teste 4. Além disso, o sistema não possui uma interface consistente com a preferência e habilidade do usuário.

Já em relação ao quinto teste, a ferramenta cumpre, pois o sistema se mostra bastante silencioso e não intrusivo, apenas interferindo quando detecta um som que ultrapassa o limite do Portão de Ruído de 80 decibéis, assim como permite que o usuário altere sua sensibilidade, ligar e desligar sua função de detecção de som.

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Pode-se concluir através de toda a pesquisa, desenvolvimento e testes apresentados neste relatório técnico que a solução apresentada é funcional, embora possua falhas relacionadas principalmente a qualidade dos sensores de áudio empregados.

A solução nos melhores casos apresenta uma taxa de acertos (acertos e acertos moderados) de 80% e devido à escassez de recursos e de tempo, a ideia de usar atuadores que vibrem através de um cinto para a sinalização da direção foi substituído pelo uso de um aplicativo como interface para o usuário, mas sem prejuízo para a construção de um protótipo como prova de conceito.

O desenvolvimento da solução não ocorreu livre de problemas, como os sensores que precisavam de recalibração eventual, assim como os fios usados que por vezes falhavam em transmitir a informação de forma correta. A obtenção dos materiais para o desenvolvimento da solução também não foi uma tarefa fácil, devido aos preços cobrados, ou mesmo o frete.

Os testes foram outro desafio, os sensores às vezes necessitavam ser novamente calibrados depois de algum tempo, ou após o sistema ser deixado inativo. Os testes em locais próximos a paredes se mostraram problemáticos devido aos ecos, e conseguir materiais para os testes como uma caixa de som potente se mostrou um empecilho, o que foi necessário reduzir a sensibilidade do sistema para testes melhores. Além disso, a solução cumpre alguns dos pontos levantados como uma Computação Vestível[1].

É importante notar ainda que a solução desenvolvida possui potencial para crescimento além do mostrado neste texto, principalmente ao utilizá-la em outros contextos. A ferramenta pode indicar a direção de fogos de artifício barulhentos, que foram recentemente proibidos no Projeto de Lei 6881/17, aprovado pela Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável[17]. Além disso, em um contexto de segurança pública, poderia ser utilizado para a detecção da direção de sons para tiros, ou por gritos por ajuda em regime urbano.

Como trabalhos futuros, e com a existência de recursos, pretendemos implementar o cinto com pequenos vibradores indicando cada direção da rosa-dos-ventos, assim como o uso de materiais melhores para o desenvolvimento da solução, como sensores, fios e o descarte da protoboard.

Com o uso destes vibradores sob a pele, o sistema possuirá uma interface com o usuário mais fácil, rápida e intuitiva, tornando a solução mais segura. Os sensores melhores serão de vital importância para melhorar a taxa de acertos e acertos moderados em todos os casos de teste, devido a problemas já apresentados na Seção 4.2.

O uso de mais sensores para melhorar a precisão da detecção de direção é uma ideia a ser implementada futuramente, o sistema atual já ordena os sensores na ordem do maior valor captado até o menor para calcular a direção através do algoritmo Quicksort[8]. Com o uso de mais sensores, este ordenador se mostrará valioso.

Outra evolução no sistema pode-se dar ao seu algoritmo, que pode ser futuramente mudado para garantir uma melhor detecção de direção através do uso de múltiplos sensores. Uma atualização na forma de cálculo do ângulo deverá ser criada, visando o cálculo usando múltiplos sensores.

6. REFERÊNCIAS

- [1] JHAJHARIA, Smita, **Wearable Computing and its Application**, 2014, Dissertação - Department of computer science, Banasthali university, Jaipur, India, 2014, <https://www.researchgate.net/publication/306322945_Wearable_Computing_and_its_Application>
- [2] BRANDÃO, Monique, **Noise Gates: Um Guia Passo a Passo Para Sinais Mais Limpos**, 2017, Disponível em: <<https://blog.landr.com/pt-br/noise-gates-um-guia-passo-a-passo-para-sinais-mais-limpos/>>, Acesso em: 18 Jun 2023
- [3] IBGE, **Pesquisa Nacional de Saúde**, 2021, Disponível em: <<https://www.pns.icict.fiocruz.br/wp-content/uploads/2021/12/liv101846.pdf>>, Acesso em: 18 Jun 2023
- [4] PFEIFER, Paula, **Os Perigos Da Surdez**, 2022, Disponível em: <<https://cronicasdasurdez.com/os-perigos-da-surdez/>>, Acesso em: 18 Jun 2023
- [5] **Sensor de som Ky-038 com Arduino**, Disponível em: <<https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/Arduinos/sensor-de-som-ky-038-com-Arduino/>>, Acesso em: 22 Abril 2024.
- [6] **What is Arduino?**, 2018, Disponível em: <<https://www.Arduino.cc/en/Guide/Introduction>>, Acesso em 22 Abril 2024.
- [7] **sqrt()**, 2020, Disponível em: <<https://www.Arduino.cc/reference/pt/language/functions/math/sqrt/>>, Acesso em 22 Abril 2024.
- [8] **Quicksort**, 2018, Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Quicksort#:~:text=O%20algoritmo%20quicksort%20%C3%A9%20um,para%20o%20National%20Physical%20Laboratory.>>, Acesso em 22 Abril 2024.
- [9] **React Native**, 2020, Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/React_Native>, Acesso em 22 Abril 2024.
- [10] **Fundamentos da Linguagem C**, Disponível em: <<https://monografias.brasilecola.uol.com.br/computacao/fundamentos-linguagem-c.htm>>, Acesso em 22 Abril 2024.

- [11] **HC-05 -Bluetooth to Serial Port Module**, 2010, Disponível em:
<https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/HC-05%20Datasheet.pdf>, Acesso em 22 Abril 2024.
- [12] MELLO, Marcelo, **O que é um Microcontrolador, para que serve e principais usos**, 2022, Disponível em: <<https://victorvision.com.br/blog/o-que-e-um-microcontrolador/>>, Acesso em 22 Abril 2024.
- [13] SOUZA, Fábio, **O que são sistemas embarcados?**, 2022, Disponível em:
<<https://embarcados.com.br/o-que-sao-sistemas-embarcados/>>, Acesso em 22 Abril 2024.
- [14] **Bluetooth® Wireless Technology**, Disponível em:
<<https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>>, Acesso em 22 Abril 2024.
- [15] ABREU, Raíssa, **O Que É Kodular?**, 2020, Disponível em:
<https://blog.profantenado.com/o-que-e-kodular/>>, Acesso em 22 Abril 2024.
- [16] **O que é Android? Conheça o sistema operacional mais usado no mundo.**, 2023, Disponível em:
<<https://www.dio.me/articles/o-que-e-android-conheca-o-sistema-operacional-mais-usado-no-mundo>>, Acesso em 22 Abril 2024.
- [17] MIRANDA, Thiago, **Meio Ambiente aprova proibição de fogos de artifício com estouro**, 2019, Disponível em:
<