

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

Vinícius Matarazo Camillo

**Implementação de protótipo de alarme embarcado para
ambientes fechados**

São Carlos

2019

Vinícius Matarazo Camillo

**Implementação de protótipo de alarme embarcado para
ambientes fechados**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica com Ênfase em Eletrônica, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Santos Osório

**São Carlos
2019**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues
Fontes da EESC/USP

C183i Camillo, Vinícius Matarazo
Implementação de protótipo de alarme embarcado para ambientes fechados / Vinícius Matarazo Camillo; orientador Fernando Santos Osório. -- São Carlos, 2019.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2019.

1. Embarcado. 2. Microcontrolador. 3. Alarme.
4. Chatbot. 5. Sensoriamento. I. Título.

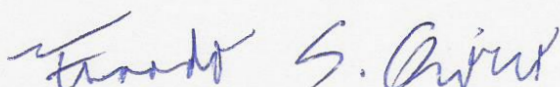
FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Vinicius Matarazo Camillo

Título: "Implementação de protótipo de alarme embarcado para ambientes fechados"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 26 / 11 / 2019,

com NOTA 9,0 (NOVE, ZERO), pela Comissão Julgadora:



Prof. Dr. Fernando Santos Osório - Orientador SSC/ICMC/USP

Profa. Associada Liliane Ventura Schiabel - SEL/EESC/USP

Prof. Dr. Manoel Luis de Aguiar - SEL/EESC/USP

**Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Prof. Associado Rogério Andrade Flauzino**

Aos meus avós Aparecido, Leonilda, Octávio (in memoriam) e Therezinha (in memoriam)

AGRADECIMENTOS

À Universidade de São Paulo, ao Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação e seus colaboradores, pela excelência na qualidade do ensino oferecido.

Ao Prof. Dr. Fernando Santos Osório pela orientação e solicitude. Ao Laboratório Maker do Espaço EngComp pela disponibilização dos equipamentos e instalações que possibilitaram a realização desse trabalho.

Aos meus amigos, em especial Igor, Paulo, Rafael e Remo, com quem partilhei toda graduação, pelos memoráveis momentos vivenciados durante esses cinco anos.

À minha família pelo incentivo e confiança. Aos meus pais, Clóvis e Edilene, pelo imensurável apoio sem o qual isso não teria sido possível. Aos meus irmãos, Henrique e Laura, pela companhia. Ao meu avô Aparecido, também pela confecção da carcaça do protótipo.

“A primeira e melhor vitória é conquistar a si mesmo.”

Platão

RESUMO

CAMILLO, V. M. **Implementação de protótipo de alarme embarcado para ambientes fechados**. 2019. 57p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

Esse trabalho descreve o estudo da implementação de um protótipo de alarme embarcado aplicável a ambientes fechados, portátil e personalizável para as demandas do usuário final. Para tal, foi proposto um modelo de sensoriamento baseado na assinatura do ambiente, composto por transdutores de natureza unidirecional e omnidirecional, por meio da análise de dois sonares e dois radares disponíveis no mercado, sendo selecionados os componentes MB1003 e RCWL-0516, respectivamente. Referente à interface com o usuário, foi investigada sua implementação a partir de um *chatbot* no mensageiro Telegram, resultando em uma ferramenta versátil e de fácil utilização na personalização do comportamento do alarme conforme desejado.

Palavras-chave: Embarcado. Microcontrolador. Alarme. *Chatbot*. Sensoriamento.

ABSTRACT

CAMILLO, V. M. **Implementation of embedded alarm prototype for indoor use.** 2019. 57p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

This work describes the implementation study of an embedded, indoor-use, portable alarm prototype customizable for end-user demands. To this end, it was proposed a sensing model based on the environment signature, composed by transducers of unidirectional and omnidirectional nature, through the analysis of two sonars and two radars available in the market, being selected the components MB1003 and RCWL-0516, respectively. Regarding the user interface, its implementation was investigated investigated to be performed with a chatbot on the Telegram messenger, resulting in a versatile and user-friendly tool for customizing alarm behavior as desired.

Keywords: Embedded. Microcontroller. Alarm. Chatbot. Sensing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema representativo do modelo de sensoriamento do alarme: em vermelho, o rastreamento omnidirecional; em azul, os eixos de monitoramento unidirecional presentes	26
Figura 2 – Diagrama de fluxo de dados referente ao funcionamento do <i>chatbot</i>	27
Figura 3 – Imagem ilustrativa referente ao sonar ultrassônico HC-SR04	29
Figura 4 – Representação do princípio de funcionamento de um sonar ultrassônico, especificamente o componente HC-SR04	30
Figura 5 – Pulsos utilizados pelo HC-SR04 para a aferição de distâncias	30
Figura 6 – Esquema de montagem utilizado para a realização de testes do componente HC-SR04	31
Figura 7 – Alcance de detecção pelo componente para cada ângulo de cobertura, evidenciando um ângulo efetivo de 15°	31
Figura 8 – Imagem ilustrativa referente ao sonar ultrassônico MB1003 HRLV-MaxSonar-EZ	32
Figura 9 – Feixe de detecção típico para o sensor MB1003 em se tratando de movimentações de pessoas, com cada marcação equivalendo a trinta centímetros; em preto, vermelho e azul, são mostrados os alcances de detecção para alimentação de 5, 3,3 e 2,7 V, respectivamente	33
Figura 10 – Esquema de montagem utilizado para os testes do componente MB1003, utilizando seu modo de saída em largura de pulso	34
Figura 11 – Imagem ilustrativa referente ao radar por microondas HB100	34
Figura 12 – Efeito Doppler aplicado às ondas sonoras de um veículo em movimento: quando em aproximação ao ouvinte, a frequência aparenta ser mais elevada, causando a sensação de um tom mais agudo, enquanto que ao veículo se distanciar o sinal sonoro aparenta ter uma tonalidade mais grave	35
Figura 13 – Padrão de radiação emitido pela antena, evidenciando a largura do feixe em meia potência: diagrama representativo do azimute à esquerda e da elevação à direita	36
Figura 14 – Circuito amplificador responsável por elevar a tensão do sinal recebido pelo HB100, na ordem de μV , a valores processáveis pelo Arduino, no intervalo de 0 a 5 V	37
Figura 15 – Imagem ilustrativa referente ao radar por microondas RCWL-0516	38
Figura 16 – Esquema de montagem utilizado para a realização de testes do componente RCWL-0516	38

Figura 17 – Teste do componente HC-SR04 através de seu progressivo afastamento da parede, a fim de se observar seu potencial alcance de detecção no ambiente adotado	40
Figura 18 – Teste do componente MB1003 através de seu progressivo afastamento da parede, a fim de se observar seu potencial alcance de detecção no ambiente adotado	40
Figura 19 – Distância fornecida pelo componente HC-SR04, quando posicionado sobre o solo, para o caminhar de uma pessoa transpassando transversalmente a direção de detecção do sensor, a distâncias de um, dois, três e quatro metros	41
Figura 20 – Distância fornecida pelo componente HC-SR04, quando posicionado sobre a mesa, para o caminhar de uma pessoa transpassando transversalmente a direção de detecção do sensor, a distâncias de um, dois, três e quatro metros	42
Figura 21 – Distância fornecida pelo componente MB1003, quando posicionado sobre o solo, para o caminhar de uma pessoa transpassando transversalmente a direção de detecção do sensor, a distâncias de um, dois, três e quatro metros	42
Figura 22 – Distância fornecida pelo componente MB1003, quando posicionado sobre a mesa, para o caminhar de uma pessoa transpassando transversalmente a direção de detecção do sensor, a distâncias de um, dois, três e quatro metros	43
Figura 23 – Distância fornecida pelo componente HC-SR04, quando posicionado sobre o solo, para o salto de uma pessoa transpassando transversalmente a direção de detecção do sensor, a distâncias de um, dois, três e quatro metros	43
Figura 24 – Distância fornecida pelo componente HC-SR04, quando posicionado sobre a mesa, para o salto de uma pessoa transpassando transversalmente a direção de detecção do sensor, a distâncias de um, dois, três e quatro metros	44
Figura 25 – Distância fornecida pelo componente MB1003, quando posicionado sobre o solo, para o salto de uma pessoa transpassando transversalmente a direção de detecção do sensor, a distâncias de um, dois, três e quatro metros	44
Figura 26 – Distância fornecida pelo componente MB1003, quando posicionado sobre a mesa, para o salto de uma pessoa transpassando transversalmente a direção de detecção do sensor, a distâncias de um, dois, três e quatro metros	45

Figura 27 – Comportamento do sinal de saída do sensor RCWL-0516 em um ambiente sem movimentações para a configuração apresentada na Figura 16: nota-se a constante sequência de disparos falso-positivos em um curto intervalo de tempo	46
Figura 28 – Amostra do sinal obtido através do radar RCWL-0516 durante o monitoramento do recinto: em nível lógico alto, a detecção de movimentação; em nível lógico baixo, nenhum movimento identificado	47
Figura 29 – Capturas de tela da interface com o usuário por meio do mensageiro Telegram através do aplicativo Android: em destaque, à esquerda, a seleção de um perfil de configuração e apresentação de seus parâmetros; à direita, a aplicação desse perfil, seguida de um disparo do alarme decorrente da detecção de movimento e a sequente opção para desativá-lo caso desejado	48
Figura 30 – Fotografia evidenciando o interior da estrutura do alarme: pode-se identificar os componentes e dispositivos utilizados no projeto, dentre eles a Raspberry Pi 3, Arduino Uno, carregador portátil para alimentação do protótipo, além de componentes eletrônicos e suas conexões	49
Figura 31 – Fotografia da estrutura externa do alarme: pode-se identificar a presença dos sonares MB1003 na região central de cada uma das faces, assim como o radar RCWL-0516 no topo da caixa de MDF	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dicionário de dados referente ao depósito de configurações, onde são armazenados os perfis de configuração do alarme definidos pelo usuário através da interface do <i>chatbot</i>	27
Tabela 2 – Tabela comparativa dos resultados de máximo alcance de detecção obtidos através dos testes dos sensores HC-SR04 e MB1003	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
2	DESENVOLVIMENTO	25
2.1	Descrição Geral do Funcionamento do Alarme	25
2.1.1	Modelo de Sensoriamento	25
2.1.2	Projeto do <i>Software</i>	26
2.2	Materiais e Métodos	28
2.2.1	<i>Hardware</i>	28
2.2.1.1	HC-SR04	28
2.2.1.2	MB1003 HRLV-MaxSonar-EZ	32
2.2.1.3	HB100	34
2.2.2	RCWL-0516	37
2.2.3	<i>Software</i>	38
2.2.4	Integração <i>Hardware/Software</i>	39
2.3	Resultados e Discussão	39
2.3.1	Sensores Unidirecionais	39
2.3.2	Sensores Omnidirecionais	45
2.3.3	<i>Software</i>	47
2.3.4	Integração <i>Hardware/Software</i>	49
3	CONCLUSÃO	51
3.1	Trabalhos Futuros	51
	REFERÊNCIAS	53
	APÊNDICES	55
	APÊNDICE A – VÍDEO DEMONSTRATIVO DA UTILIZAÇÃO DO CHATBOT	57

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de um mecanismo de defesa e vigilância se mostra presente para a sobrevivência das mais variadas espécies. No caso dos humanos, não foi diferente, com hipóteses científicas sugerindo inclusive a razão das diferenças nos períodos de sono entre as pessoas se dever à possibilidade de que a comunidade possa contar sempre com um indivíduo alerta a possíveis situações de risco à integridade dos membros dessa.

Com o advento de novas tecnologias e diferentes conveniências da sociedade atual, surgiram diversas maneiras para se realizar o monitoramento de um estabelecimento, a fim de se garantir a integridade das pessoas que ali se encontram e também de seus bens em alguns casos.

Um dos sistemas comumente empregado em residências e estabelecimentos é o alarme. Apesar de sua relativa popularização, seu requerido processo de instalação o torna restrito no que se refere a mudanças nas áreas de supervisão. Além disso, sua forma de utilização costuma ser unicamente centrada no quesito segurança contra furtos e similares, com um possível potencial subaproveitado como recurso auxiliar no acompanhamento não só de crianças como também de idosos, uma demanda que tende a aumentar dado o corrente envelhecimento da população mundial.

O objetivo do presente trabalho consiste na pesquisa e análise da implementação de um protótipo de alarme embarcado que apresente a possibilidade de funcionamento em qualquer ambiente fechado sem o requerimento de instalação prévia, além de versatilidade e flexibilidade para aplicações que não unicamente a de segurança contra furtos, mas também uma ferramenta facilitadora no cuidado de crianças e idosos, aliado a uma interface de fácil utilização por parte do usuário final.

Para tal, serão estudados quatro sensores encontrados no mercado a fim de se determinar a aplicabilidade desses a um alarme de funcionamento baseado na construção da assinatura do ambiente em que se encontra. Além disso, será avaliada a validade da integração de um *chatbot* hospedado localmente como interface padrão do usuário para com o protótipo.

Dessa forma, emergem como possíveis cenários de aplicação o monitoramento de um local sob locação por um curto período, assim como o aviso para a aproximação de uma criança em direção a uma área com piscina ou mesmo a verificação de indícios de quedas ou anormalidades na movimentação de idosos. A fim de contemplar as diversas potenciais finalidades do alarme, os alertas são emitidos de acordo com as preferências estabelecidas previamente pelo usuário a partir de uma interface intuitiva e de fácil utilização.

2 DESENVOLVIMENTO

A seguir será apresentado o desenvolvimento do sistema de alarme, passando pelas funcionalidades implementadas, sua interface de comunicação com o usuário, materiais utilizados e os resultados obtidos a partir desses.

2.1 Descrição Geral do Funcionamento do Alarme

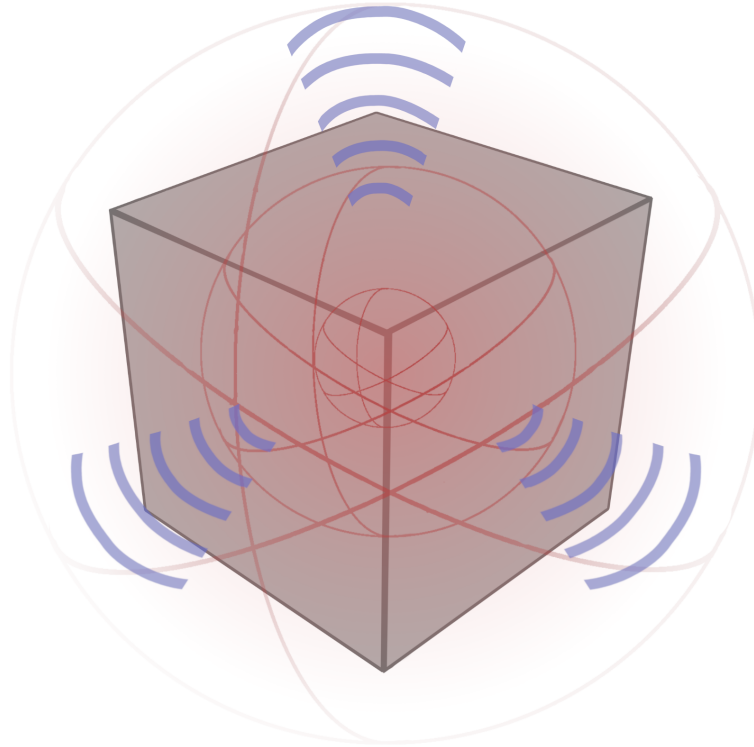
2.1.1 Modelo de Sensoriamento

O sistema de sensoriamento do alarme é estabelecido com base na composição da assinatura do ambiente em que se encontra, modelo representativo construído a partir do sensoriamento estático desse e através do qual é possibilitada a identificação de alterações no recinto. Uma vez inicializado, esse será responsável pelo monitoramento contínuo de seu entorno, detectando quaisquer movimentações dentro de sua área de cobertura e alertando o usuário da maneira previamente estipulada.

Para que se permita uma maior versatilidade de aplicações do dispositivo conforme proposto, o sistema de sensoriamento é formado por transdutores de dois tipos de abrangência distintos, como ilustra a Figura 1. O primeiro deles se trata de um monitoramento unidirecional, captando movimentações apenas em suas respectivas orientações. O alarme é constituído de cinco elementos dessa natureza, sendo quatro deles arranjados com seus eixos de cobertura de forma coplanar e ortogonais entre seus respectivos consecutivos, estando o último posicionado na direção oposta à face de apoio do aparato. A segunda categoria de transdutor empregado se refere a um rastreamento omnidirecional, realizando a cobertura por toda a área de alcance do alarme. Com essa estrutura devidamente integrada com uma fonte de alimentação portátil e uma placa Arduino Uno, escolhida por seu custo acessível e capacidade de processamento suficiente para a aplicação, faz-se possível a personalização a respeito de como e quais regiões cobertas pelo alarme serão monitoradas.

Dessa forma, o protótipo pode ser, por exemplo, alocado no centro de um cômodo a fim de detectar qualquer tipo de movimentação dentro de sua área de cobertura, como também localizado abaixo de uma janela e, com apenas um de seus sensores direcionais ativados, monitorar qualquer atividade suspeita por entre ela sem que sejam gerados alertas falsos positivos oriundos da movimentações de outras direções que não a desejada, sendo de pessoas ou de animais pela casa. Além disso, esse mesmo princípio pode ser aplicado como facilitador no cuidado de crianças e idosos, advertindo a passagem desses para regiões de maior perigo iminente.

Figura 1: Esquema representativo do modelo de sensoriamento do alarme: em vermelho, o rastreamento omnidirecional; em azul, os eixos de monitoramento unidirecional presentes

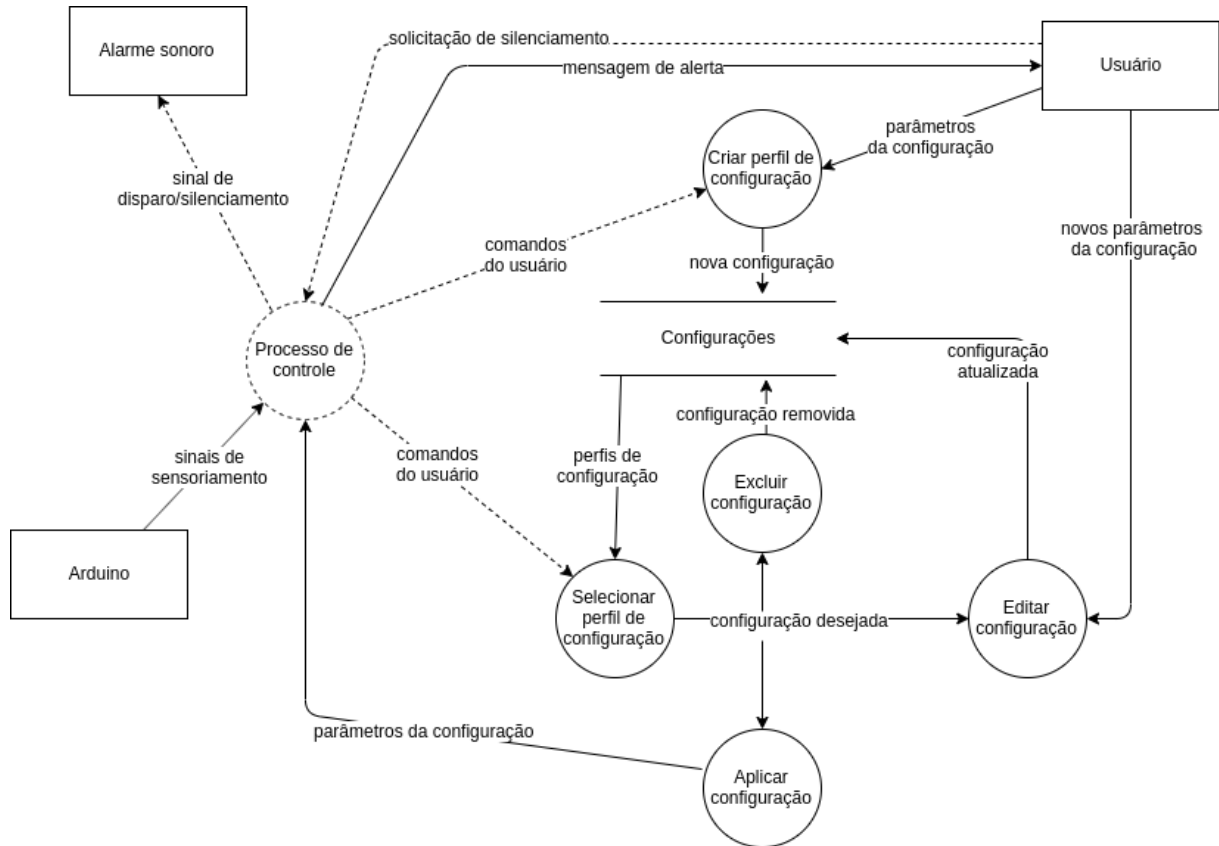


Fonte: O autor

2.1.2 Projeto do *Software*

Para melhor atender a toda a gama de possíveis aplicações em que o alarme pode passar a ser utilizado, é oferecida a possibilidade de personalização a respeito do monitoramento de cada um dos sensores e do tipo de alerta gerado por cada um desses. O usuário pode assim configurar o alarme da maneira que melhor o servir, através de um robô de conversação do mensageiro multiplataforma Telegram, de maneira fácil e intuitiva, podendo ser feita por aplicação móvel (Android/iOS/WP), *desktop* (Windows/macOS/Linux) ou interface *web* através do navegador. O serviço é hospedado localmente em uma Raspberry Pi 3, conectada à placa Arduino e também ao transdutor responsável pela produção do alarme sonoro quando requisitado. O diagrama de fluxo de dados do *chatbot* é mostrado na Figura 2.

A interação com o usuário se inicia com o envio de um comando de inicialização ao *chatbot*. Esse, por sua vez, solicita ao usuário qual a operação desejada, dentre duas

Figura 2: Diagrama de fluxo de dados referente ao funcionamento do *chatbot*

Fonte: O autor

opções. A primeira se refere à criação de um perfil de configuração, isto é, a personalização do comportamento do dispositivo de acordo com as preferências do usuário. Esse é responsável por informar através da interface o comportamento de cada um dos sensores individualmente, podendo desativá-los, definir que ao disparo seja enviado um alerta sobre a movimentação por mensagem de texto por meio do próprio mensageiro ou então que o alarme sonoro seja acionado. Essa configuração é então salva em um depósito de dados, cujo dicionário de dados é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Dicionário de dados referente ao depósito de configurações, onde são armazenados os perfis de configuração do alarme definidos pelo usuário através da interface do *chatbot*

TABELA: CONFIGURAÇÕES				
	CAMPO	DESCRIÇÃO	TIPO	VALORES ENUM
Chave primária	NOME	Nome do perfil de configuração	TEXTO	
	DESCR	Descrição do perfil de configuração	TEXTO	
Não nulo	OMNIDIR	Resposta ao acionamento do sensor omnidirecional	ENUM	('desativado', 'notificacao', 'disparo')
Não nulo	UNIDIR1	Resposta ao sensor unidirecional superior	ENUM	('desativado', 'notificacao', 'disparo')
Não nulo	UNIDIR2	Resposta ao sensor unidirecional frontal	ENUM	('desativado', 'notificacao', 'disparo')
Não nulo	UNIDIR3	Resposta ao sensor unidirecional direito	ENUM	('desativado', 'notificacao', 'disparo')
Não nulo	UNIDIR4	Resposta ao sensor unidirecional esquerdo	ENUM	('desativado', 'notificacao', 'disparo')
Não nulo	UNIDIR5	Resposta ao sensor unidirecional traseiro	ENUM	('desativado', 'notificacao', 'disparo')

Fonte: O autor

A segunda alternativa toca ao gerenciamento dos perfis de configuração previamente salvos no depósito de dados. Ao seguir por essa opção, ao usuário é apresentada a lista com os nomes de todas as configurações presentes no banco e solicitado que seja feita a seleção de uma dessas. A partir disso, é exibida pela interface do *chatbot* toda a informação detalhada a respeito do perfil desejado e concedidos três possíveis procedimentos a serem destinados a esse: excluí-lo, eliminando-o dos registros; editá-lo, fazendo possível a modificação em seus parâmetros previamente estabelecidos; aplicá-lo, pondo o alarme em operação de acordo com as orientações definidas por esse.

Assim, os sinais captados pelos sensores e previamente tratados pelo Arduino são monitorados continuamente e, com base nas preferências atribuídas, ao ser detectada alguma movimentação, essa poderá ser: ignorada; desencadear o envio para o usuário de um alerta por meio do mensageiro a respeito do horário da movimentação, juntamente com a informação de qual(is) o(s) sensor(es) ativado(s); disparar o alarme sonoro imediatamente, esse por sua vez também acompanhado de uma mensagem com fim de se registrar a ocorrência. O alerta sonoro pode ser desativado pelo usuário quando desejado por meio do robô.

2.2 Materiais e Métodos

A abordagem tomada para a realização desse trabalho foi de cunho qualitativo, a fim de se estudar diferentes implementações para o alarme e seus respectivos resultados. De caráter exploratório e laboratorial, seus materiais e métodos são apresentados e descritos a seguir.

2.2.1 Hardware

Foi utilizado o Arduino Uno, plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre baseada no microcontrolador ATMEGA328P, apresentando suporte embutido a entradas e saídas, tanto analógicas quanto digitais, para o monitoramento dos sensores e também processamento de baixo nível dos sinais por esses providos. Encontra-se conectado através da USB a uma Raspberry Pi 3, atuando essa como seu *host* e também como servidor para o *chatbot* do mensageiro Telegram, estando alimentados por um carregador portátil de capacidade de 10.000 mAh, com capacidade de saída de 5 V e 2,1 A. A descrição e análise a respeito dos sensores a serem utilizados no alarme serão apresentadas a seguir.

2.2.1.1 HC-SR04

Aplicável à função de sensor direcional no alarme, o sonar HC-SR04 (Figura 3) tem seu funcionamento baseado no envio de sinais ultrassônicos pelo seu emissor piezoelétrico. O sinal de retorno é então aguardado e, quando captado através do receptor, possibilita a

aferição da distância entre o sensor e o objeto detectado com base no tempo levado entre a emissão e recepção do sinal. Esse processo é ilustrado na Figura 4.

Figura 3: Imagem ilustrativa referente ao sonar ultrassônico HC-SR04



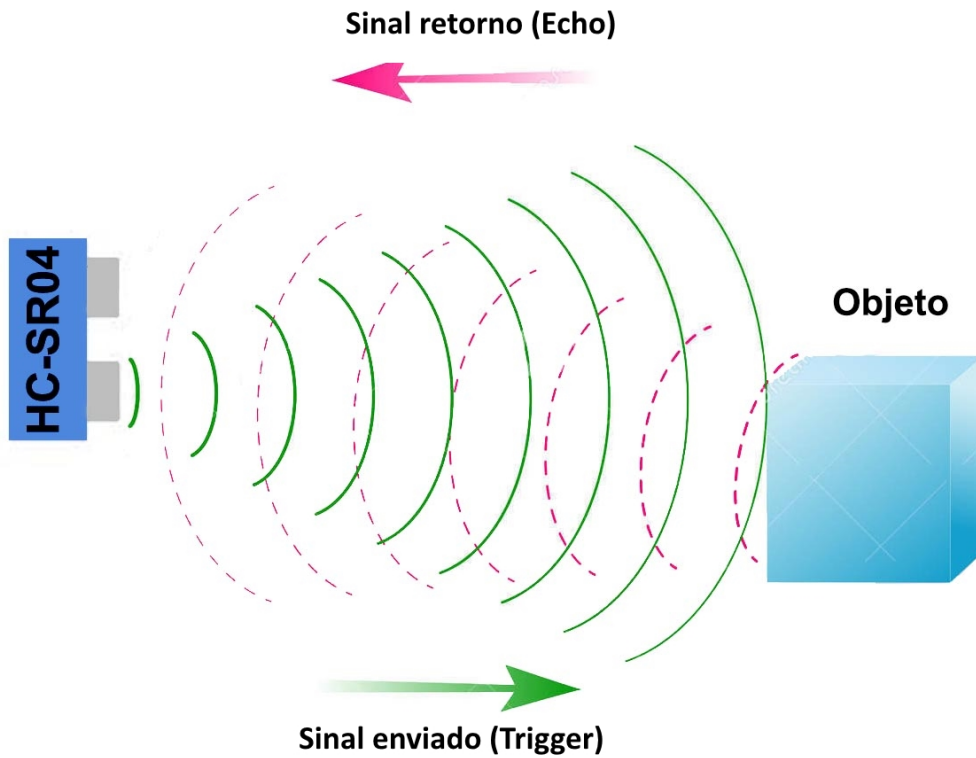
Fonte: [Cytron \(2013\)](#)

Dado seu sensoriamento de natureza ultrassônica, o componente não é passível de interferências provocadas pela variação de luz solar no ambiente, como é o caso de sensores infravermelhos. De acordo com as informações do fabricante, sua operação é iniciada por um pulso de *trigger* com duração de ao menos dez microssegundos, seguidos de oito pulsos de 40 kHz. Ao ser detectado o sinal de retorno no receptor, o pino *echo* do componente fornecerá um pulso de largura proporcional à distância aferida, como mostra a Figura 5. De acordo com sua folha de dados, o dispositivo é capaz de operar em distâncias de dois centímetros a quatro metros, com precisão de três milímetros.

A fim de se avaliar a adequação do dispositivo à função proposta, testes foram efetuados para qualificá-lo nos quesitos alcance, tempo de resposta e relação sinal-ruído. Para tal, fazendo uso da montagem apresentada na Figura 6, foram realizados três experimentos em seu típico ambiente de utilização proposto, um cômodo fechado de dimensões 5,0 m de comprimento, 2,5 m de largura e 2,5 m de altura. É de se esperar que a cobertura para a captação dos movimentos se concentre na linha normal à superfície do receptor, como indicado na Figura 7.

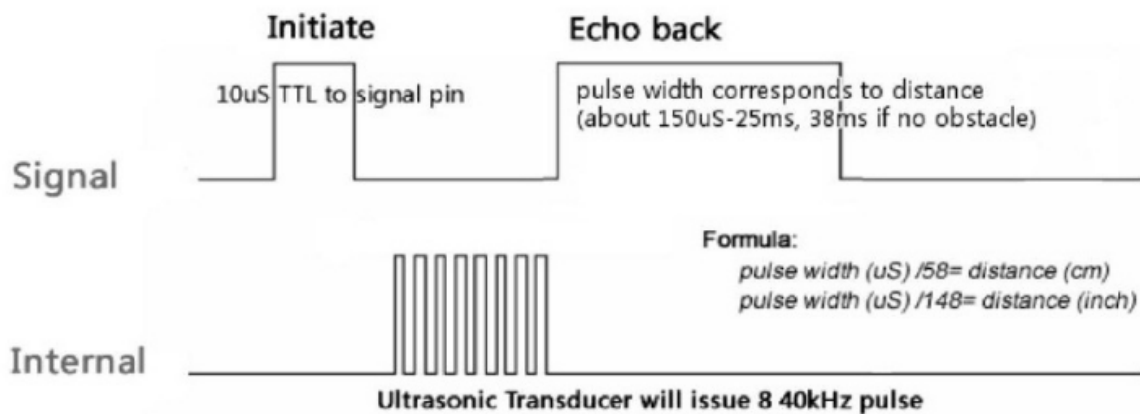
Constituem os testes realizados: com a finalidade de se aferir o máximo alcance para o transdutor, um afastamento progressivo desse, saindo de uma parede e chegando até sua oposta, a cinco metros de distância; a detecção do caminhar lento de uma pessoa, transpassando transversalmente o eixo de detecção do sensor a um, dois, três e quatro metros de distância desse, com o componente posicionado tanto na superfície do solo quanto sobre uma mesa a 90 cm de altura, estando a 45 cm da borda da mesa, apontando na direção da parede oposta; a detecção de uma pessoa saltando transversalmente, a fim de se determinar seu desempenho no caso de movimentações mais ágeis, às mesmas distâncias e posicionamentos supracitados.

Figura 4: Representação do princípio de funcionamento de um sonar ultrassônico, especificamente o componente HC-SR04



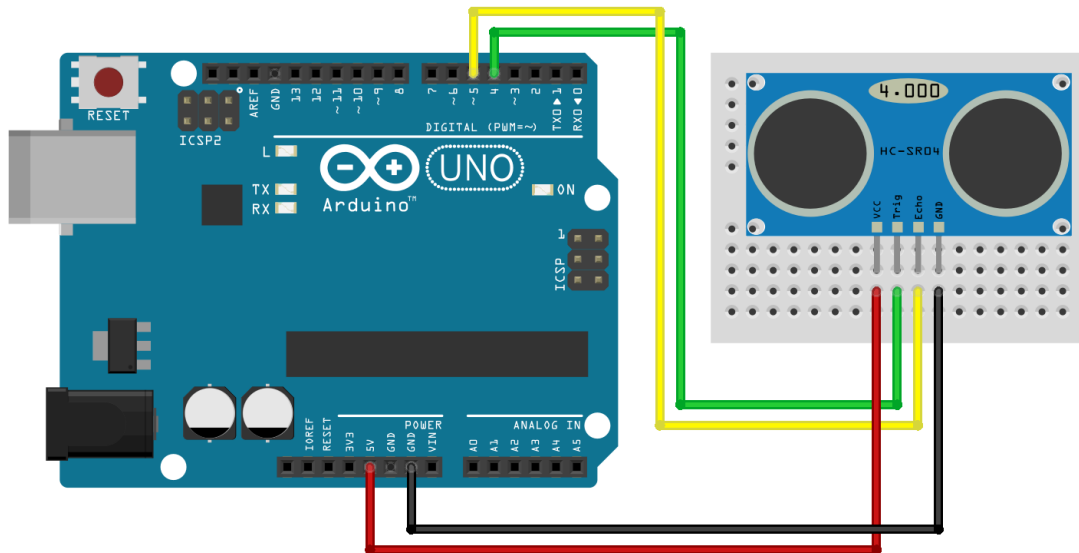
Fonte: [Thomsen \(2011\)](#)

Figura 5: Pulsos utilizados pelo HC-SR04 para a aferição de distâncias



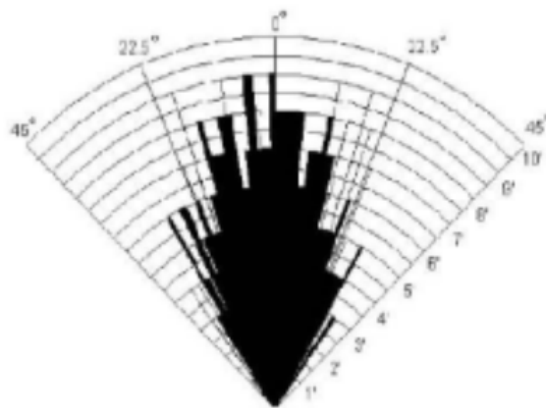
Fonte: [Cytron \(2013\)](#)

Figura 6: Esquema de montagem utilizado para a realização de testes do componente HC-SR04



Fonte: Thomsen (2011)

Figura 7: Alcance de detecção pelo componente para cada ângulo de cobertura, evidenciando um ângulo efetivo de 15°



Fonte: Cytron (2013)

2.2.1.2 MB1003 HRLV-MaxSonar-EZ

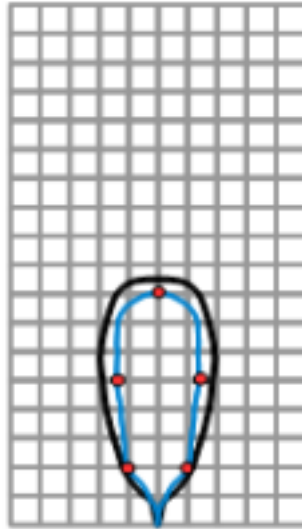
Também pertencente à categoria de sonares ultrassônicos, o MB1003 (Figura 8) se apresenta como outro candidato à aplicação de sensor direcional. De acordo com as informações do fabricante ([MAXBOTIX, 2005](#)), o dispositivo é capaz de detectar movimentações num intervalo de um milímetro a cinco metros de seu transdutor, apresentando resolução de um milímetro na aferição. De reduzidas dimensões, com volume total inferior a dez centímetros cúbicos, o componente apresenta ainda um sistema de autocalibração, compensando flutuações na temperatura, umidade ou tensão de alimentação. Seu feixe de cobertura pode ser observado na Figura 9.

Figura 8: Imagem ilustrativa referente ao sonar ultrassônico MB1003 HRLV-MaxSonar-EZ



Fonte: [MaxBotix \(2005\)](#)

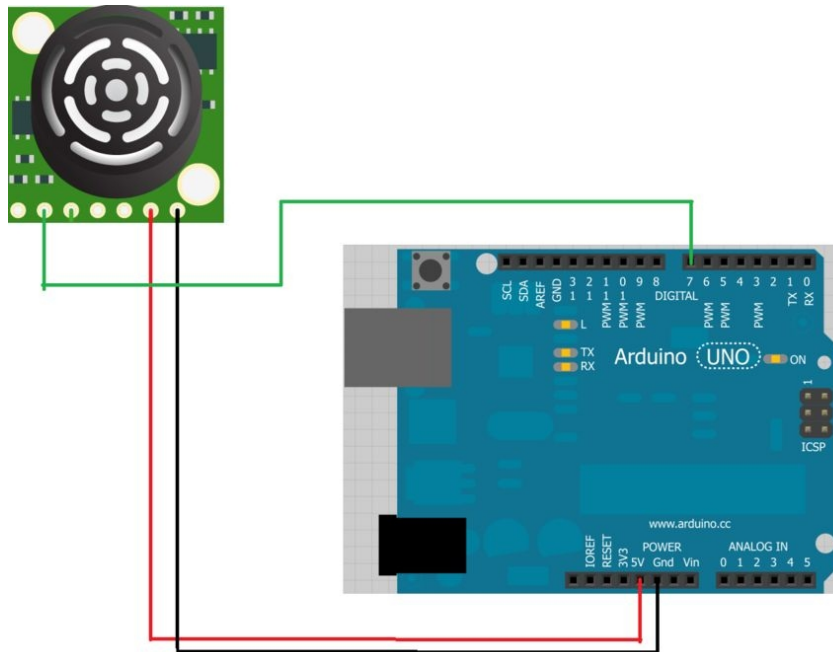
Figura 9: Feixe de detecção típico para o sensor MB1003 em se tratando de movimentações de pessoas, com cada marcação equivalendo a trinta centímetros; em preto, vermelho e azul, são mostrados os alcances de detecção para alimentação de 5, 3,3 e 2,7 V, respectivamente



Fonte: [MaxBotix \(2005\)](#)

Quanto a seu sinal de saída, o sensor apresenta três modalidades disponíveis: tensão analógica, a de mais simples implementação, na qual a tensão de saída é apresentada diretamente proporcional à distância aferida; largura de pulso, em que o intervalo medido é proporcional à duração do sinal; serial, com o valor em milímetros sendo representado por caracteres ASCII. Pela maior praticidade na operação de múltiplos sensores de modo a se evitar interferências, além de precisão e exatidão superiores à tensão analógica, foi utilizada o modo de saída de largura de pulso. Para a realização dos testes para o componente, foi utilizada a montagem indicada na Figura 10, efetuando-se os mesmos testes descritos na seção 2.2.1.1.

Figura 10: Esquema de montagem utilizado para os testes do componente MB1003, utilizando seu modo de saída em largura de pulso

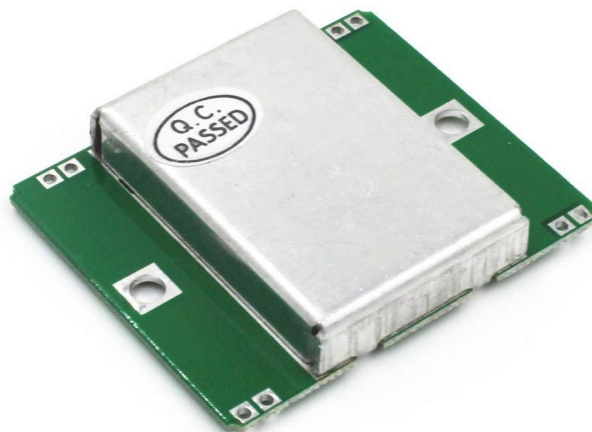


Fonte: [Rawashdeh \[2013?\]](#)

2.2.1.3 HB100

Constituído de um transceptor integrado com um ressonador dielétrico e um arranjo de antenas, o radar HB100 apresentado na Figura 11 compreende um sensor de movimento por microondas, tendo seu funcionamento baseado nos princípios do Efeito Doppler.

Figura 11: Imagem ilustrativa referente ao radar por microondas HB100

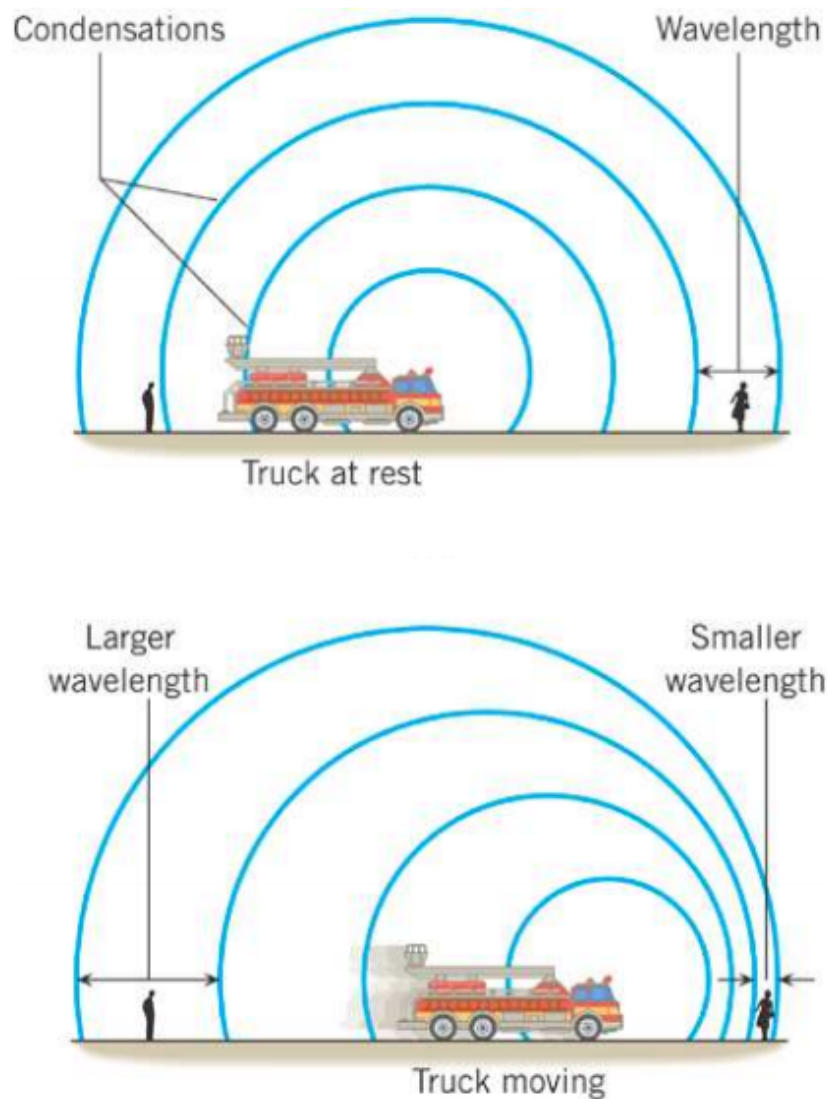


Fonte: [HiLetgo...](#) (2019)

Sendo esse fenômeno referente à aparente variação na frequência de uma onda causada pela movimentação relativa entre a fonte e o observador (Figura 12), o componente opera a partir da emissão de microondas na frequência de 10 GHz. Ao se depararem com

um objeto, essas ondas são refletidas de volta à origem e, no caso do corpo refletor se encontrar em velocidade não nula com relação ao HB100, a frequência da onda refletida divergirá da emitida, diferença a partir da qual são identificadas as movimentações no ambiente.

Figura 12: Efeito Doppler aplicado às ondas sonoras de um veículo em movimento: quando em aproximação ao ouvinte, a frequência aparenta ser mais elevada, causando a sensação de um tom mais agudo, enquanto que ao veículo se distanciar o sinal sonoro aparenta ter uma tonalidade mais grave



Fonte: [Cutnell e Johnson \(2016\)](#)

De funcionamento aplicável ao acionamento de portas automáticas e aferição da velocidade de veículos em rodovias, o radar é capaz de detectar movimentações em todas as direções, podendo ser direcionado para a zona de detecção desejada de acordo com o padrão de radiação da antena, mostrado na Figura 13.

Como saída, o HB100 fornece através de seu pino IF um sinal de frequência propor-

cional à velocidade do movimento e tensão, proporcional à reflexão do sinal transmitido, na ordem de grandeza de μV . Por essa razão, para aplicação e também realização dos testes de área de cobertura do radar, faz-se necessária a presença do amplificador, esquematizado na Figura 14, a fim de elevar sua tensão a níveis processáveis pelo Arduino.

Figura 13: Padrão de radiação emitido pela antena, evidenciando a largura do feixe em meia potência: diagrama representativo do azimute à esquerda e da elevação à direita

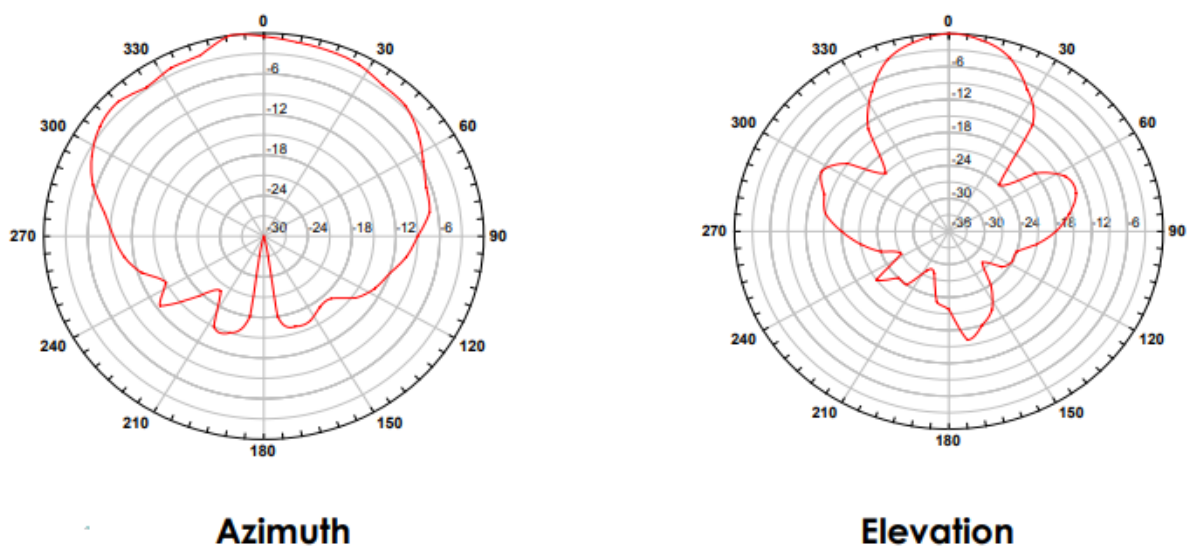
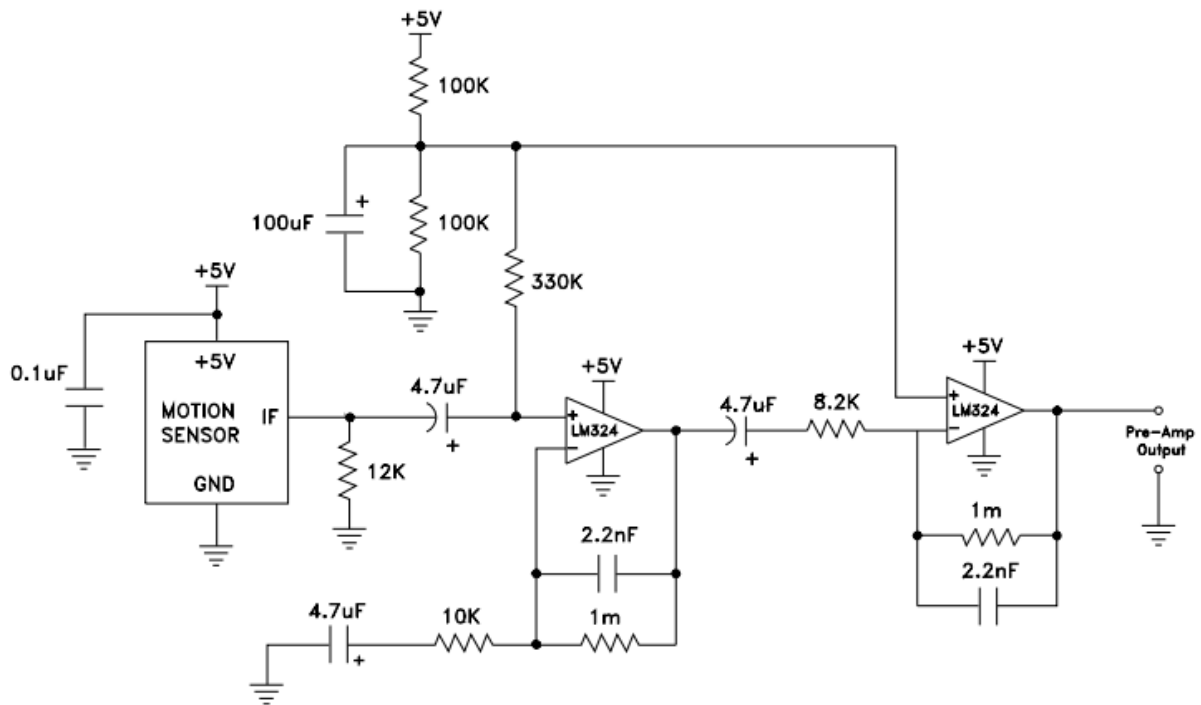


Figura 14: Circuito amplificador responsável por elevar a tensão do sinal recebido pelo HB100, na ordem de μV , a valores processáveis pelo Arduino, no intervalo de 0 a 5 V



Fonte: [STElectronics \[2013?\]](#)

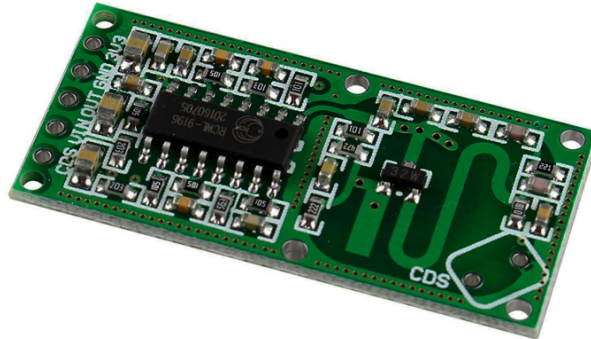
O ambiente adotado para a realização dos testes para o componente foi o mesmo descrito na seção 2.2.1.1, um cômodo fechado de dimensões, 5,0 m x 2,5 m x 2,5 m. Para se determinar sua eficácia na detecção de movimentos, foi estabelecido seu posicionamento com estrutura metálica voltada para cima, no centro e nas extremidades do local, tanto ao solo quando sobre uma mesa a noventa centímetros de altura, verificando-se sua capacidade para a captação tanto da movimentação de pessoas através de um caminhar lento quanto do movimento de seus braços apenas, por toda a extensão recinto.

2.2.2 RCWL-0516

O componente RCWL-0516, apresentado na Figura 15, constitui um sensor também concebido a partir da tecnologia de radar Doppler. Por conta de sua escassa documentação, não foi possível encontrar muitas informações técnicas a respeito do seu funcionamento. Com alcance de detecção podendo chegar a sete metros e cobertura omnidirecional, o dispositivo fornece um sinal de saída já tratado por sua eletrônica integrada, sem a necessidade de amplificação e indicando a detecção ou não do movimento, expressando nível lógico alto ou baixo a partir da tensão no pino de saída. Foi utilizada a montagem indicada na Figura 16 para a realização dos testes, mediante os mesmos procedimentos citados na seção 2.2.1.3, estando sua face contenedora dos componentes eletrônicos voltada

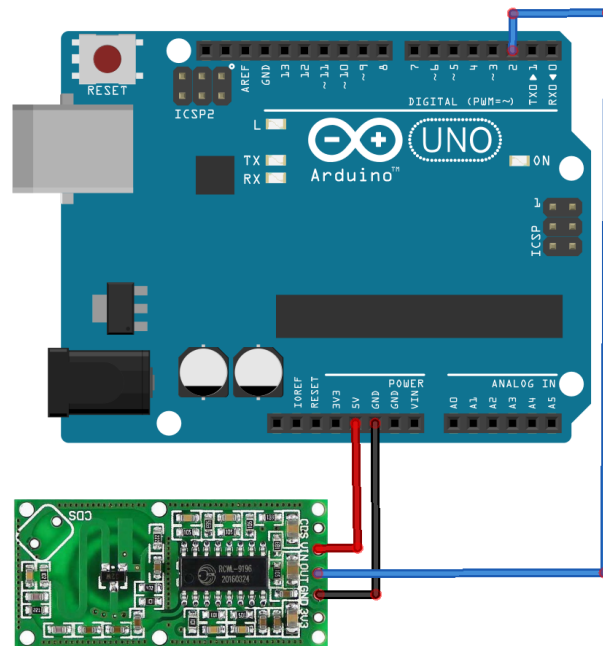
para cima.

Figura 15: Imagem ilustrativa referente ao radar por microondas RCWL-0516



Fonte: [RCWL-0516...](#) (2019)

Figura 16: Esquema de montagem utilizado para a realização de testes do componente RCWL-0516



Fonte: [RCWL-0516...](#) (2018)

2.2.3 Software

O desenvolvimento dos algoritmos para os testes dos componentes foi realizado através da interface de programação padrão do Arduino ([DOWNLOAD...](#), 2019a), fazendo uso de sua biblioteca padrão para comunicação serial.

Quanto ao *chatbot*, seu processo de desenvolvimento se iniciou pela interação, por meio do próprio mensageiro, com um de seus robôs de conversação pré-existentes. A

partir do *token* de acesso à API fornecido, o *script* do AlarmeBot foi desenvolvido na linguagem Python 3.6 (DOWNLOAD... , 2019b) empregando-se do pacote telegram.ext ((WELCOME... , 2019)), biblioteca dedicada ao desenvolvimento de módulos para o mensageiro, com extensa utilização de seus manipuladores de eventos. Foi utilizado também o pacote RPi.GPIO (RPI... , 2019) para a manipulação dos níveis de tensão dos pinos da Raspberry Pi 3.

2.2.4 Integração *Hardware/Software*

Realizadas as implementações em *software* para o Arduino e para o *chatbot*, além de selecionados os sensores mais aptos ao projeto por meio dos resultados de seus testes individuais, o protótipo final foi avaliado conforme seu ambiente real de aplicação, a fim de se verificar a presença dos problemas mais comuns desse tipo de funcionalidade, sendo esses os falsos-positivo e falsos-negativo. Para tal, observou-se seu comportamento à presença ou não de algum evento de intrusão, tendo em conta sua resposta por meio do alarme sonoro e por meio do envio de mensagens de texto, de acordo com configuração aplicada.

Assim, tomou-se como ambiente de aplicação um cômodo de dimensões aferidas em 3,4 m x 3,4 m x 2,5 m. As rotinas de testes adotadas foram: com o alarme no centro do recinto, a partir da entrada de uma pessoa no espaço; com o sensor unidirecional com seu eixo posicionado transversalmente ao sentido do caminhar ao se entrar pela porta, também a partir da entrada de uma pessoa; abaixo de uma janela, sobre um criado-mudo de cinquenta centímetros de altura, a partir da movimentação de uma pessoa por cima desse. Por meio das movimentações descritas em cada cenário, para o caso de teste positivo, ou espera de cinco minutos sem movimentações no local, para o teste negativo, foi investigado o comportamento do alarme, em uma configuração para o disparo do sinal sonoro e outra para o envio das mensagens pelo Telegram.

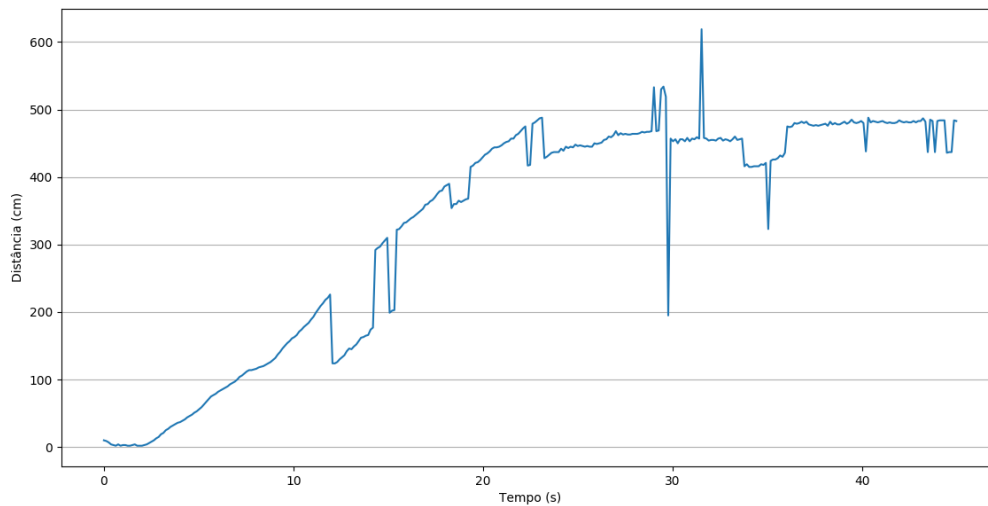
2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Sensores Unidirecionais

Para os sensores aplicáveis como unidirecionais no projeto, os resultados para o teste de afastamento progressivo, indicados nas figuras 17 e 18, se mostraram satisfatórios para ambos os sonares, sendo capazes de alcançar valores equivalentes ao comprimento total do cômodo de cinco metros em sua medição. Apesar disso, nota-se a superior relação sinal-ruído nos dados fornecidos pelo MB1003 quando comparados aos do HC-SR04.

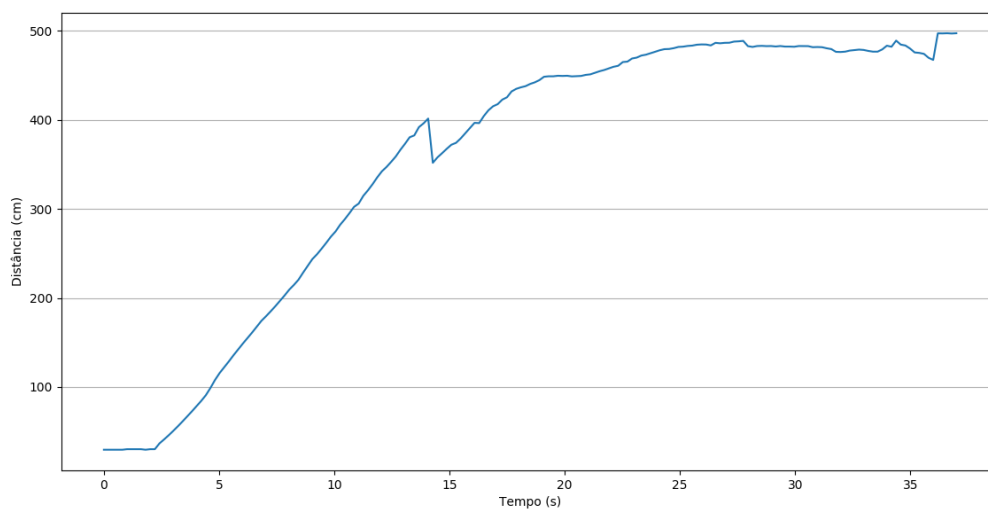
No teste de detecção do movimento compreendido pelo caminhar de uma pessoa, entretanto, nenhum dos componentes foi capaz de apresentar o mesmo alcance obtido no teste de afastamento progressivo. Ambos os sensores obtiveram melhores resultados no quesito alcance quando posicionados ao solo, tendo o HC-SR04 reconhecido a mudança no ambiente a quatro metros de distância quando no solo (Figura 19) e a três metros ao estar

Figura 17: Teste do componente HC-SR04 através de seu progressivo afastamento da parede, a fim de se observar seu potencial alcance de detecção no ambiente adotado



Fonte: O autor

Figura 18: Teste do componente MB1003 através de seu progressivo afastamento da parede, a fim de se observar seu potencial alcance de detecção no ambiente adotado

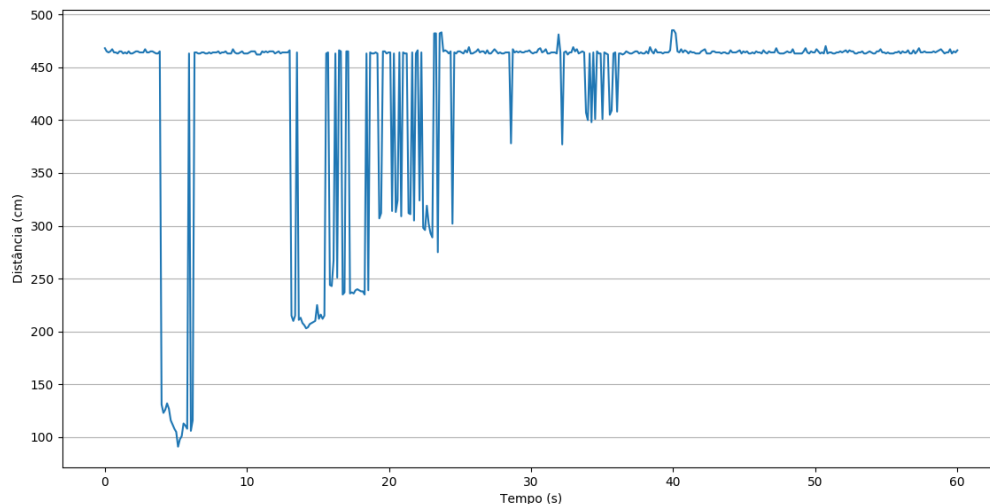


Fonte: O autor

sobre a mesa (Figura 20), enquanto o MB1003 capturou a movimentação a três metros quando no solo (Figura 21) e dois metros ao ser posicionado sobre a mesa (Figura 22).

Apesar do maior alcance de detecção por parte do HC-SR04, constatando distâncias superiores em média em um metro quando comparado ao MB1003 nos casos em questão, seu sinal novamente apresenta uma presença de ruído visivelmente mais acentuada que no outro componente. Além disso, ambos apresentaram o comportamento de expressar no sinal de saída uma distância maior que a do cômodo ao serem expostos a movimentos além de sua capacidade de alcance para esse cenário.

Figura 19: Distância fornecida pelo componente HC-SR04, quando posicionado sobre o solo, para o caminhar de uma pessoa transpassando transversalmente a direção de detecção do sensor, a distâncias de um, dois, três e quatro metros



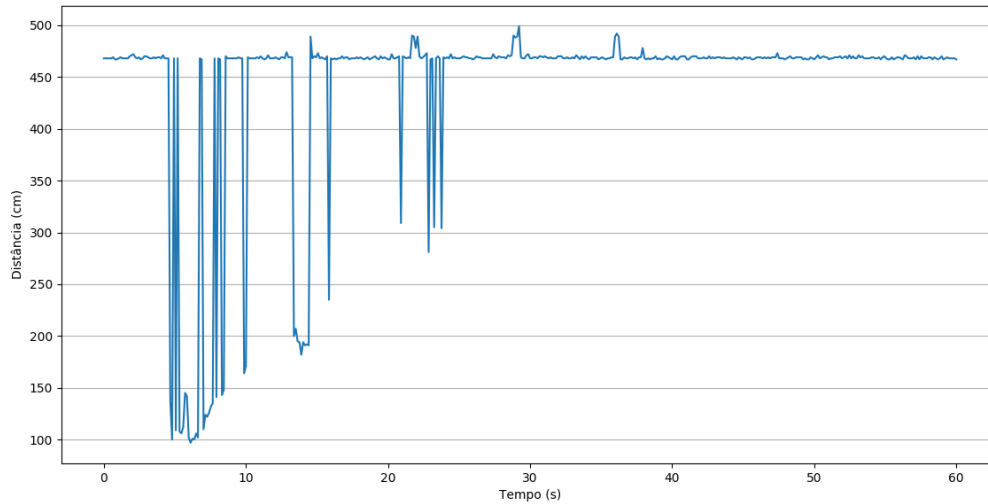
Fonte: O autor

Com relação aos testes de reconhecimento do salto de uma pessoa, o HC-SR04 foi capaz de detectá-lo às mesmas distâncias que o fizera com o andar: quatro metros quando no solo (Figura 23) e três metros quando sobre a mesa (Figura 24). O MB1003, por sua vez, quando sobre o solo foi capaz de detectar saltos a dois metros de distância (Figura 25), um metro a menos em comparação ao caminhar, enquanto que posicionado sobre a mesa foram mantidos os dois metros de alcance (Figura 26)

A partir dos dados referentes às distâncias de detecção encontrados a partir dos testes, foram evidenciados os resultados comparativamente na Tabela 2.

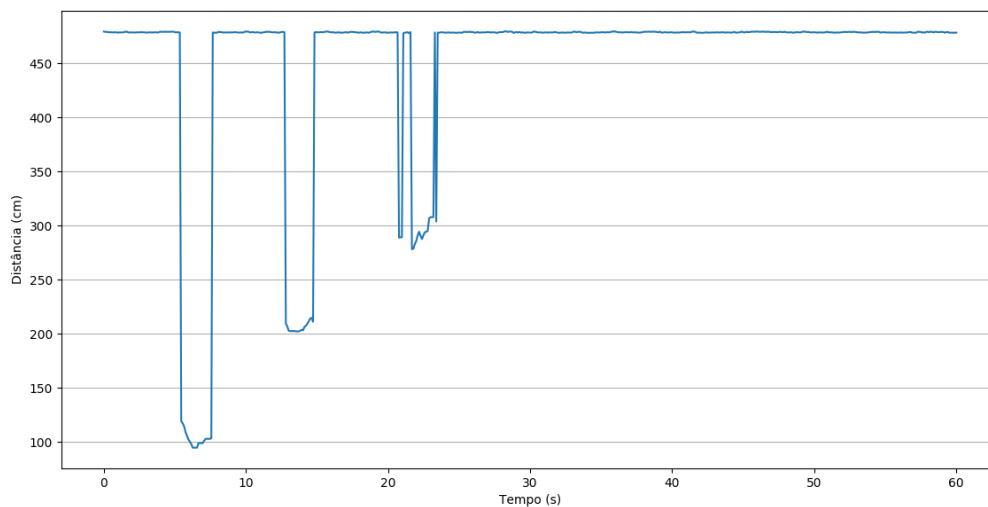
Como pode ser observado, o componente HC-SR04 apresentou distâncias de detecção superiores ao MB1003 em todos os testes de movimentação, sendo seu alcance cerca de um metro maior. A área de cobertura constitui um parâmetro de desempenho fundamental para o protótipo do alarme, porém, a confiabilidade no aparato deve ser respeitada,

Figura 20: Distância fornecida pelo componente HC-SR04, quando posicionado sobre a mesa, para o caminhar de uma pessoa transpassando transversalmente a direção de detecção do sensor, a distâncias de um, dois, três e quatro metros



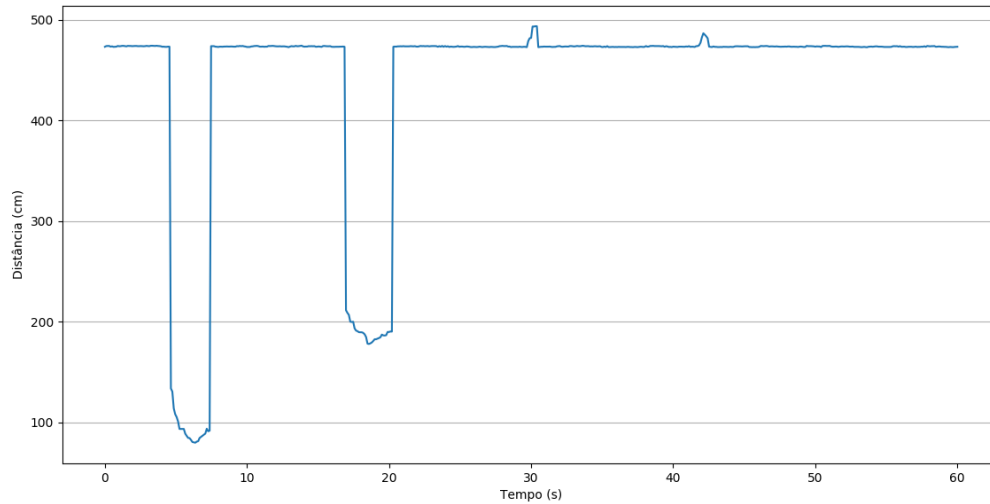
Fonte: O autor

Figura 21: Distância fornecida pelo componente MB1003, quando posicionado sobre o solo, para o caminhar de uma pessoa transpassando transversalmente a direção de detecção do sensor, a distâncias de um, dois, três e quatro metros



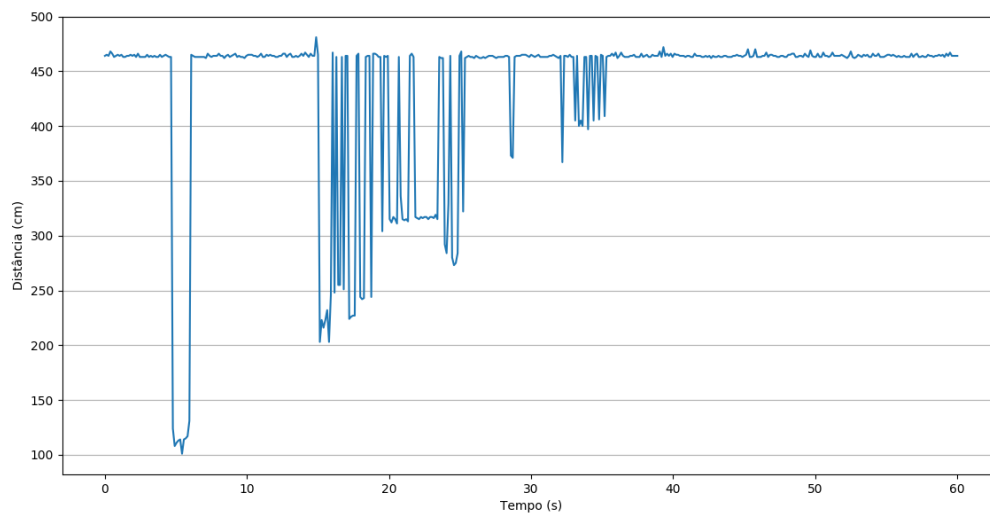
Fonte: O autor

Figura 22: Distância fornecida pelo componente MB1003, quando posicionado sobre a mesa, para o caminhar de uma pessoa transpassando transversalmente a direção de detecção do sensor, a distâncias de um, dois, três e quatro metros



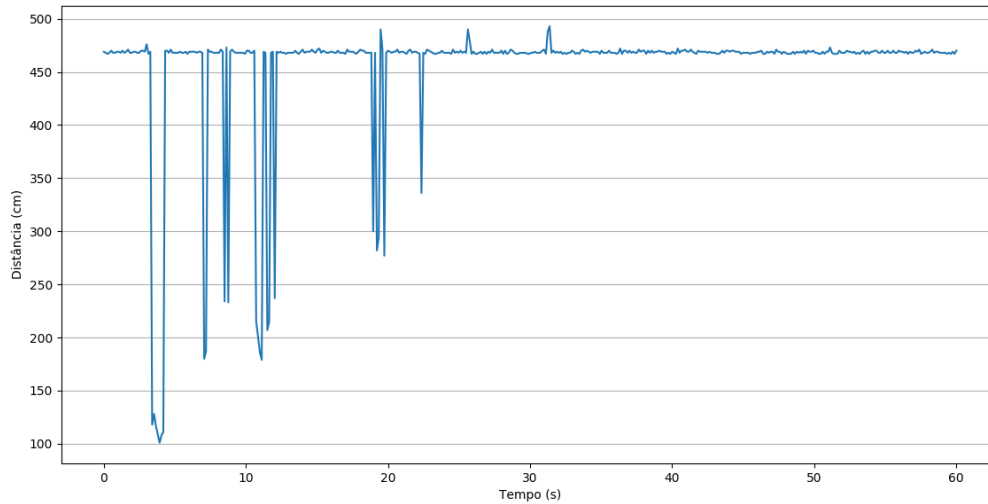
Fonte: O autor

Figura 23: Distância fornecida pelo componente HC-SR04, quando posicionado sobre o solo, para o salto de uma pessoa transpassando transversalmente a direção de detecção do sensor, a distâncias de um, dois, três e quatro metros



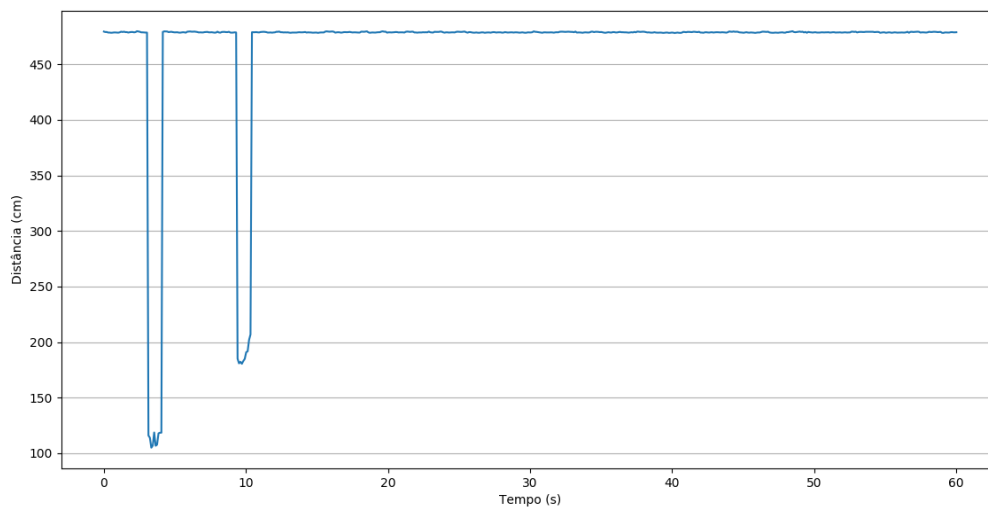
Fonte: O autor

Figura 24: Distância fornecida pelo componente HC-SR04, quando posicionado sobre a mesa, para o salto de uma pessoa transpassando transversalmente a direção de detecção do sensor, a distâncias de um, dois, três e quatro metros



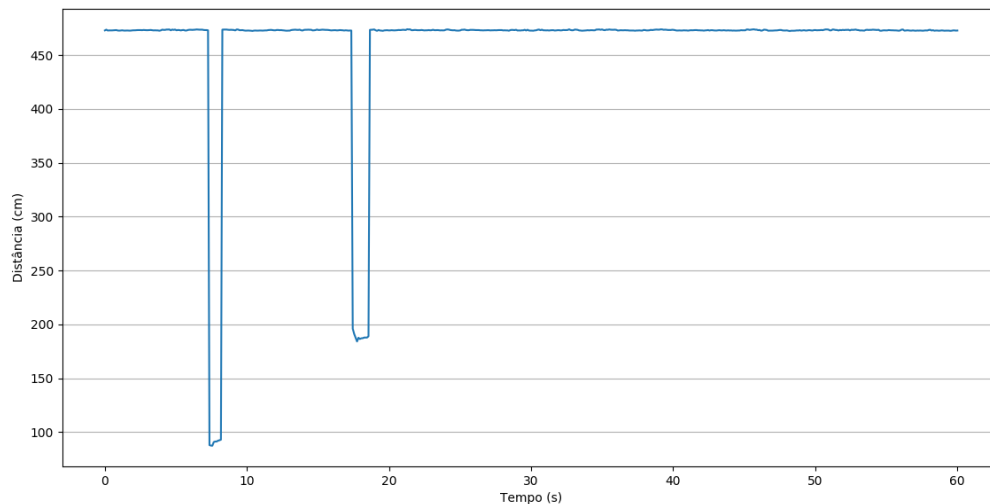
Fonte: O autor

Figura 25: Distância fornecida pelo componente MB1003, quando posicionado sobre o solo, para o salto de uma pessoa transpassando transversalmente a direção de detecção do sensor, a distâncias de um, dois, três e quatro metros



Fonte: O autor

Figura 26: Distância fornecida pelo componente MB1003, quando posicionado sobre a mesa, para o salto de uma pessoa transpassando transversalmente a direção de detecção do sensor, a distâncias de um, dois, três e quatro metros



Fonte: O autor

Tabela 2: Tabela comparativa dos resultados de máximo alcance de detecção obtidos através dos testes dos sensores HC-SR04 e MB1003

Máximo alcance de detecção [m]					
	parede	caminhar (solo)	caminhar (mesa)	salto (solo)	salto (mesa)
HC-SR04	~5	4	3	4	3
MB1003	~5	3	2	2	2

Fonte: O autor

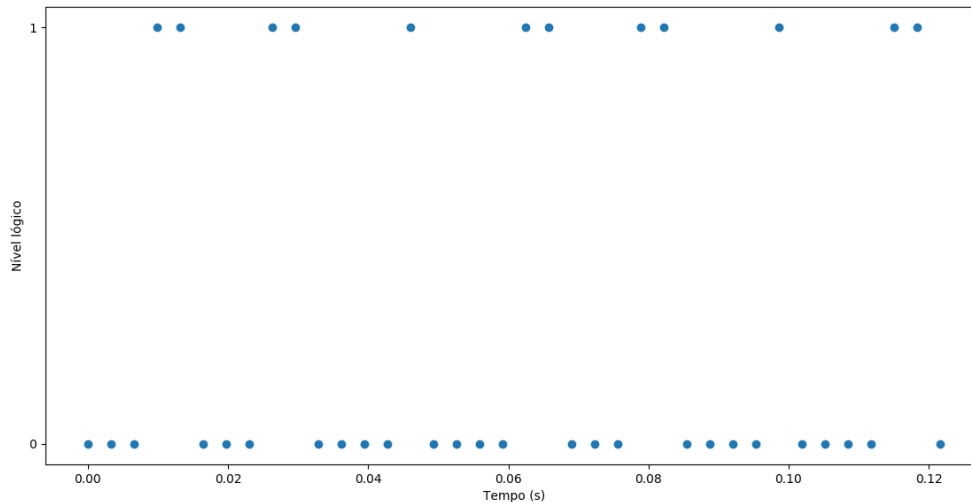
buscando-se reduzir o número de disparos falso-positivos. Por apresentar um sinal com uma relação sinal-ruído muito superior ao HC-SR04, o MB1003 se mostra o componente mais apropriado para a aplicação.

2.3.2 Sensores Omnidirecionais

Primeiramente, os testes realizados com o radar RCWL-0516, utilizando-se da montagem explicitada na Figura 16, demonstraram a resposta do sensor não condizente com o esperado. Devido a possíveis flutuações de tensão e interferências eletromagnéticas, seu sinal de saída apresentou uma constante sequência de falso-positivos, mesmo sem movimentação ou mesmo pessoas no local. O comportamento dos dados obtidos através da leitura do sensor é mostrado na Figura 27.

A fim de se atenuar o efeito das flutuações de tensão indesejadas, foi conectado um capacitor eletrolítico de 100 nF entre os pinos de +5V e GND do Arduino. Dessa

Figura 27: Comportamento do sinal de saída do sensor RCWL-0516 em um ambiente sem movimentações para a configuração apresentada na Figura 16: nota-se a constante sequência de disparos falso-positivos em um curto intervalo de tempo



Fonte: O autor

forma, têm-se uma filtragem da tensão de alimentação fornecida, com o sensor não mais recebendo componentes de tensão de frequência mais elevada na mesma intensidade que anteriormente.

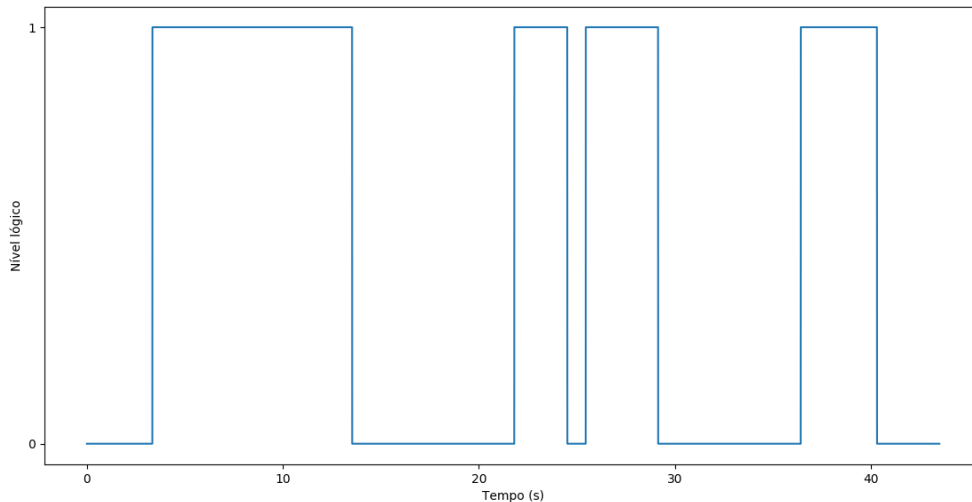
Dessa maneira, o dispositivo deixou de emitir os alertas falso-positivos e mostrou por meio dos testes desempenho satisfatório para a aplicação. Quando posicionado sobre a mesa, no centro do cômodo, o RCWL-0516 foi capaz de detectar a movimentação através do caminhar de uma pessoa por toda a extensão do espaço. Já movimentos como o balançar dos braços, sem a presença de deslocamento, mostram passíveis de passar despercebidos pela detecção para distâncias superiores a dois metros. Ao ser situado sobre o solo, ainda no centro do ambiente, os resultados foram equivalentes.

Quanto à localização do aparato nas extremidades do cômodo, próximo às paredes, sua eficácia na cobertura se mostra comprometida, com o andar humano não mais com garantia de detecção, incerta para distâncias superiores a três metros do sensor. Movimentos sem deslocamento por vezes não foram identificados com afastamento superior a dois metros. Os resultados a respeito do componente localizado sobre a mesa e sobre o solo se mostraram equivalentes nos quesitos observados.

A título de exemplo, um típico sinal obtido por meio do RCWL-0516 durante o rastreamento do ambiente pode ser observado na Figura 28.

A partir da montagem do circuito amplificador requerido para o funcionamento do HB100 em conjunto com o Arduino, constataram-se os consequentes problemas acarretados

Figura 28: Amostra do sinal obtido através do radar RCWL-0516 durante o monitoramento do recinto: em nível lógico alto, a detecção de movimentação; em nível lógico baixo, nenhum movimento identificado



Fonte: O autor

por essa implementação, como menor autonomia da bateria do protótipo por conta da alimentação de um maior número de componentes, o significativo espaço requisitado na estrutura final para a o circuito amplificador confeccionado com componentes discretos, além do aumento do risco de falhas no funcionamento geral do alarme causadas pelo aumento da complexidade do sistema. Esses motivos, aliados à praticidade e resultados satisfatórios do RCWL-0516 para a funcionalidade proposta, levaram à escolha desse como sensor omnidirecional do projeto.

2.3.3 Software

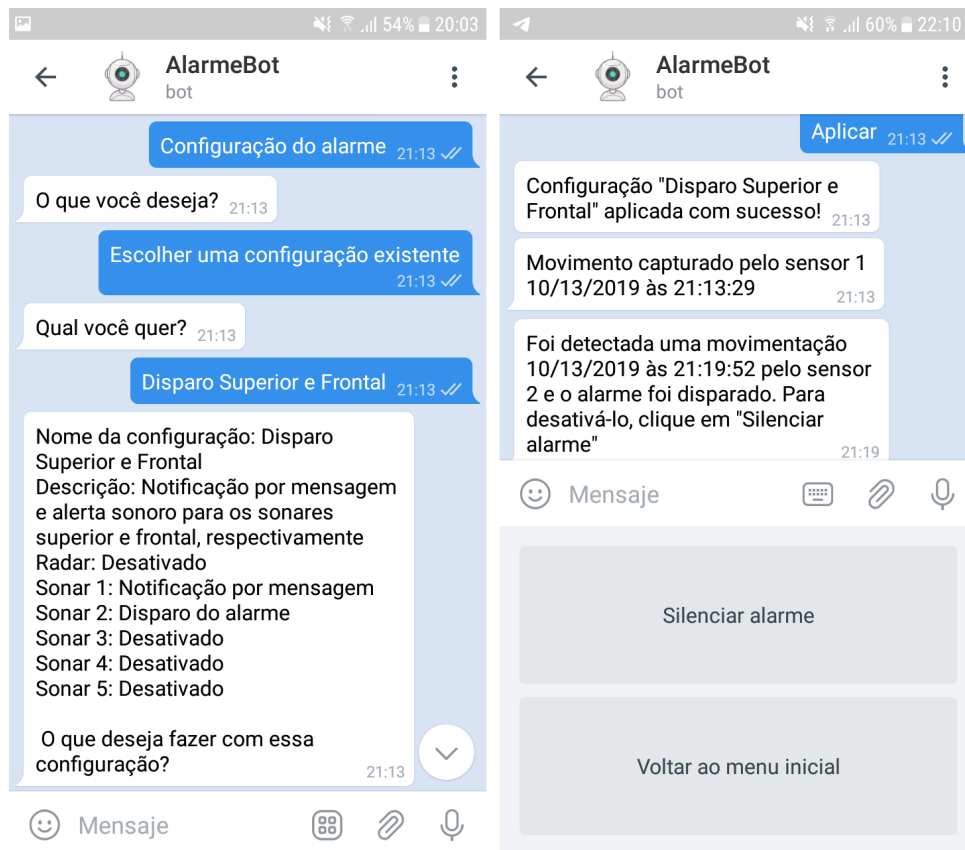
O algoritmo de funcionamento do código presente no Arduino para a detecção de movimento por meio dos sensores consiste na verificação dos sinais de saída desses a cada cem milissegundos, seguida do envio contínuo para a Raspberry Pi, através da comunicação serial, do estado de ativação desses. O critério de avaliação aplicado para a detecção ou não de movimento por parte dos sonares foi a comparação individual de sua distância aferida atual e passada, sendo aferições de variação superiores a vinte centímetros definido como detecção de movimento. Essa abordagem, sem tratamentos adicionais como atenuação de ruído, faz-se possível por meio da altíssima SNR do componente MB1003, conforme indicado em seus testes na seção 2.3.1. Para o radar RCWL-0516 esse tipo de tratamento não foi necessário, uma vez que seu sinal de saída já é constituída de um valor binário representando a captação ou não de movimento.

Os resultados apresentados pelo *chatbot* do Telegram se mostraram satisfatórios

para a funcionalidade proposta. Podendo ser acessado através do navegador, aplicação para *desktop* ou móvel, seu *script* foi executado com sucesso pela Raspberry Pi 3 e foi capaz de realizar as devidas ações de disparo através do acionamento dos sensores conectados ao Arduino. A interface final para com o usuário pode ser observada nas capturas de tela da Figura 29 e no vídeo demonstrativo de sua utilização (**APÊNDICE A**).

Para uma melhor experiência, tanto em termos de conforto como de rapidez na configuração do alarme, optou-se por serem apresentadas perguntas ao usuário referentes aos parâmetros requeridos. Aliado a isso, são apresentados teclados de resposta, comportando botões contendo previamente os textos das mensagens em questão, poupando o tempo necessário para a redação dessas. Vale ressaltar que, no caso das variáveis nome e descrição dos perfis de configuração, a digitação do texto por parte do usuário ainda é demandada. Esses dois campos, em linguagem natural, tem o propósito de auxiliar o usuário na identificação das configurações salvas previamente, sem demais influências no funcionamento do protótipo.

Figura 29: Capturas de tela da interface com o usuário por meio do mensageiro Telegram através do aplicativo Android: em destaque, à esquerda, a seleção de um perfil de configuração e apresentação de seus parâmetros; à direita, a aplicação desse perfil, seguida de um disparo do alarme decorrente da detecção de movimento e a sequente opção para desativá-lo caso desejado



Fonte: O autor

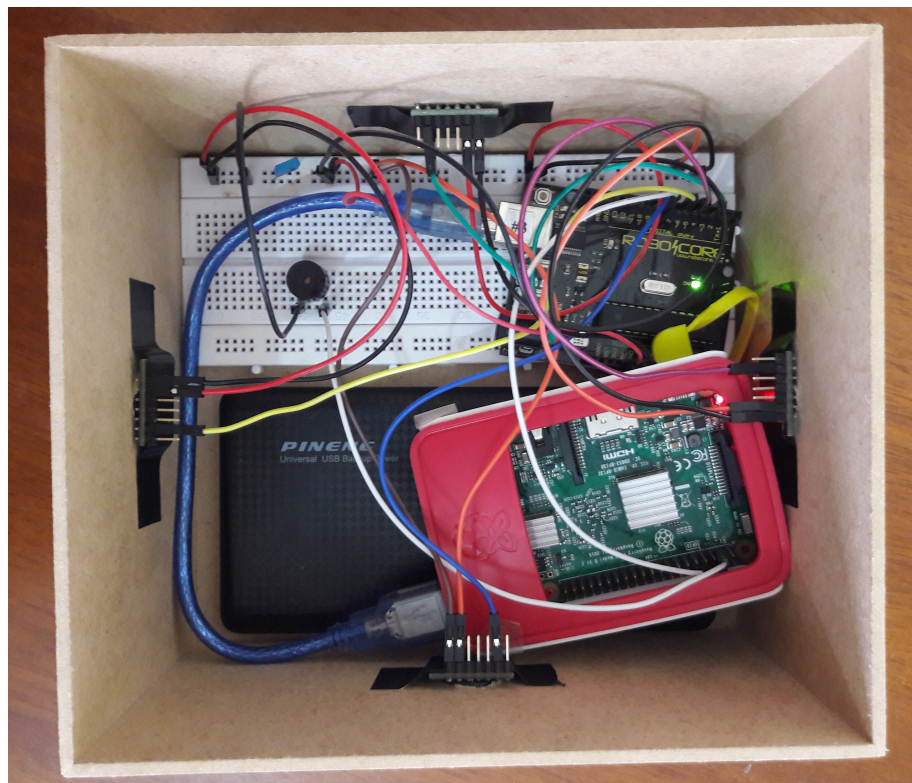
2.3.4 Integração *Hardware/Software*

Realizadas as escolhas dos sensores utilizados, assim como codificado todo o *software* necessário para a aplicação, foi realizada a integração de todo o projeto, assim como a definição de uma estrutura física para esse. Para a geração do sinal sonoro, dada a baixa capacidade de potência fornecida pela saída P2, optou-se pelo uso de um *buzzer* ativo, acionado por meio do GPIO2 da Raspberry Pi.

Quanto à estrutura física a comportar os dispositivos necessários, primeiramente foi feita a opção como compartimento de uma lata metálica e tampa plástica, dada sua rigidez e durabilidade. Entretanto, o material provocou uma redução na intensidade do sinal de internet em seu interior, fazendo com que uma caixa em MDF fosse elegida para constituir o protótipo. Fotografias da estrutura final do alarme são apresentadas nas Figuras 30 e 31.

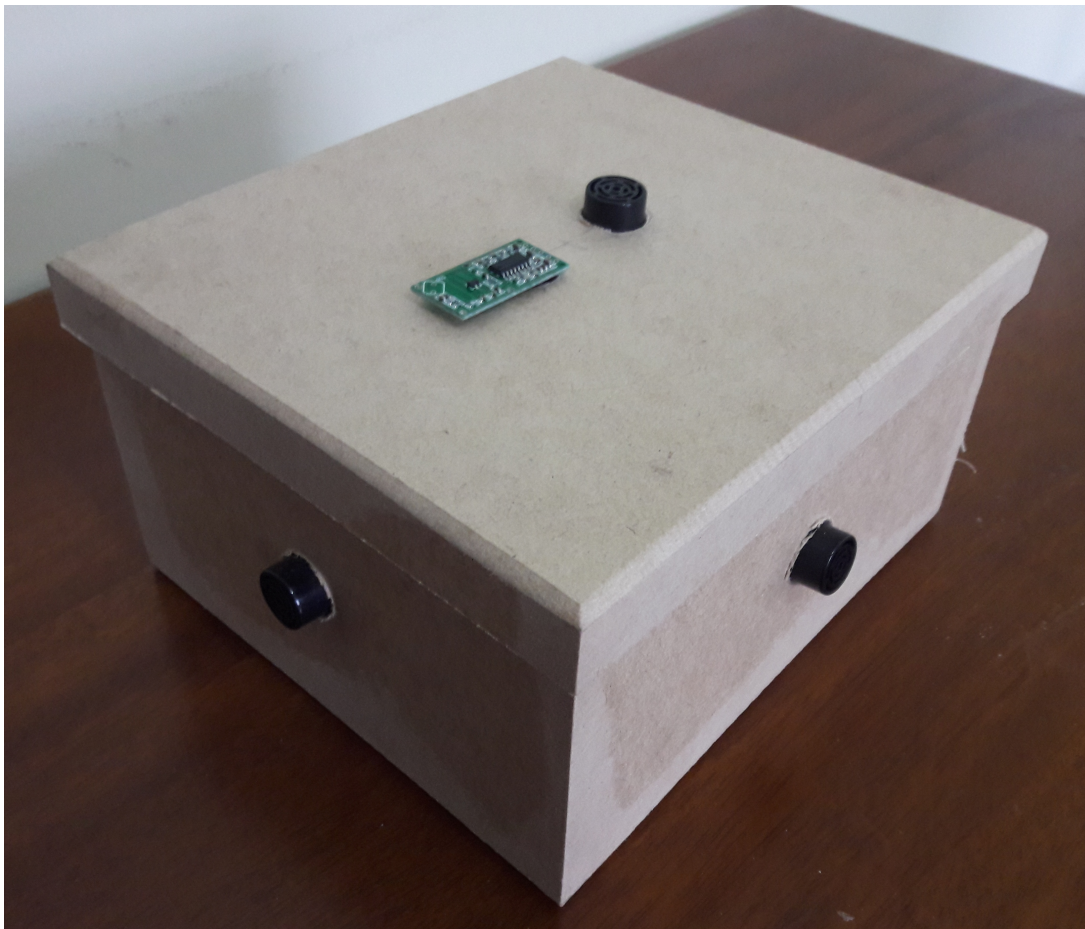
A respeito dos testes realizados, o alarme apresentou comportamento conforme o desejado em cada um dos procedimentos descritos e realizados, executando o envio da mensagem de texto pelo Telegram ou disparo do sinal sonoro através do *buzzer* no caso de movimentações e permanecendo inativo quando não havia intrusão no ambiente de testes empregado.

Figura 30: Fotografia evidenciando o interior da estrutura do alarme: pode-se identificar os componentes e dispositivos utilizados no projeto, dentre eles a Raspberry Pi 3, Arduino Uno, carregador portátil para alimentação do protótipo, além de componentes eletrônicos e suas conexões



Fonte: O autor

Figura 31: Fotografia da estrutura externa do alarme: pode-se identificar a presença dos sonares MB1003 na região central de cada uma das faces, assim como o radar RCWL-0516 no topo da caixa de MDF



Fonte: O autor

3 CONCLUSÃO

O modelo de sensoriamento proposto, apesar dos pontos cegos na cobertura dos sonares ultrassônicos, mostrou-se eficaz para a aplicação proposta, com medidas de alcance satisfatórios para sua utilização em ambientes fechados e, através de suas coberturas unidirecional e omnidirecional mapeadas, possibilitou o atingimento do grau de personalização oferecido para distintas necessidades e aplicações.

A escolha da natureza dos sensores utilizados, com sonares ultrassônicos no caso do sensoriamento unidirecional e radares Doppler do omnidirecional, mostrou-se adequada para o modelo especificado. Destaca-se também as vantagens dos componentes MB1003 e RCWL-0516 sobre seus potenciais substitutos HC-SR04 e HB100, respectivamente, de acordo com os testes de desempenho e graus de complexidade analisados.

A implementação do *chatbot* por meio da modelagem descrita resultou em uma intuitiva interface para o usuário, permitindo conforto e praticidade na configuração do comportamento do alarme conforme desejado, proporcionando a versatilidade de aplicações proposta pelo trabalho. Pela característica multiplataforma do mensageiro, garante-se a possibilidade de gerenciamento do alarme a partir dos mais diversos sistemas e dispositivos.

Com relação à autonomia do protótipo, essa se revelou vulnerável com o carregador portátil com carga de 10.000 mAh utilizado, não sendo esse capaz de manter o alarme em operação durante o período de um dia. Apesar de seu ambiente de utilização típico contar com adequada disponibilidade de tomadas passíveis de serem empregadas para sua alimentação, esse fator acaba por restringir a versatilidade e portabilidade de aplicação propostas.

3.1 Trabalhos Futuros

Para maior confiabilidade na utilização do alarme, devem ser implementadas alternativas para maior autonomia energética do projeto. Outras soluções para o acesso à internet garantiriam maior portabilidade, uma vez que a conexão do protótipo atual é estabelecida através de uma rede Wi-Fi previamente configurada.

Como melhoramentos, têm-se a sugestão de integração de diversas placas Arduino comunicando-se via *wireless* com uma única Raspberry Pi, possibilitando o acompanhamento de múltiplos ambientes através da mesma central de gerenciamento. Além disso, o produto poderia contar com possíveis extensões modulares, como a inclusão de uma câmera para registro fotográfico ao disparo do alarme, tal qual a de microfone e alto-falante para envio e recebimento de áudios por meio do Telegram.

REFERÊNCIAS

- CUTNELL, J. D.; JOHNSON, K. W. **Física**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. v. 1.
- CYTRON. **Product User's Manual: Hc-sr04 ultrasonic sensor**. 2013. Disponível em: <<https://www.cytron.io/p-hc-sr04-ultrasonic-sensor>>. Acesso em: 8 jun. 2019.
- DOWNLOAD the Arduino IDE. 2019. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/main/software>>. Acesso em: 2 ago. 2019.
- DOWNLOAD the latest source release. 2019. Disponível em: <<https://www.python.org/downloads/>>. Acesso em: 16 set. 2019.
- HILETGO HB100 microwave doppler radar detector probe wireless sensor module 10.525GHz. 2019. Disponível em: <https://www.amazon.com/HiLetgo-Microwave-Detector-Wireless-10-525GHz/dp/B01N6AIF1L/ref=sr_1_8?keywords=hb100&qid=1569769426&s=gateway&sr=8-8>. Acesso em: 28 jun. 2016.
- MAXBOTIX. **HRLV-MaxSonar® - EZ™ series**: high resolution, precision, low voltage ultrasonic range finder mb1003, mb1013, mb1023, mb1033, mb1043. 2005. Disponível em: <https://www.maxbotix.com/documents/HRLV-MaxSonar-EZ_Datasheet.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2019.
- RAWASHDEH, M. **All about Max Sonar EZ0 and Arduino**. [2013?]. Disponível em: <<https://www.instructables.com/id/Max-Sonar-EZ0/>>. Acesso em: 19 ago. 2019.
- RCWL-0516 Doppler radar sensor interface with Arduino. 2018. Disponível em: <<https://circuits4you.com/2018/10/23/rcwl-0516-radar-sensor-interface-arduino/>>. Acesso em: 13 ago. 2019.
- RCWL-0516 microwave radar motion detector. 2019. Disponível em: <<https://www.phippselectronics.com/product/rcwl-0516-microwave-radar-motion-detector/>>. Acesso em: 5 jul. 2019.
- RPI.GPIO 0.7.0. 2019. Disponível em: <<https://pypi.org/project/RPi.GPIO/>>. Acesso em: 10 out. 2019.
- STELECTRONICS. **MSAN-001**: X-band microwave motion sensor module - application note. Singapura, [2013?]. Disponível em: <https://www.limpkin.fr/public/HB100/HB100_Microwave_Sensor_Application_Note.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2019.
- THOMSEN, A. **Como conectar o sensor ultrassônico HC-SR04 ao Arduino**. 2011. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/sensor-ultrassonico-hc-sr04-ao-arduino/>>. Acesso em: 9 ago. 2019.
- WELCOME to Python Telegram Bot's documentation!. 2019. Disponível em: <<https://python-telegram-bot.readthedocs.io/en/stable/>>. Acesso em: 16 set. 2019.

Apêndices

APÊNDICE A – VÍDEO DEMONSTRATIVO DA UTILIZAÇÃO DO *CHATBOT*

O vídeo demonstrativo da utilização do robô de conversação através do qual é realizada a interação do usuário para com o protótipo se encontra disponível em: <https://youtu.be/ChReh8fHUo0>.