

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

César Melo Guedes Coelho

**Sistema de monitoramento de área próxima baseado em
SONAR**

São Carlos

2020

César Melo Guedes Coelho

**Sistema de monitoramento de área próxima baseado em
SONAR**

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. Carlos Dias Maciel

**São Carlos
2020**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO 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 com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

C672s Coelho, César Melo Guedes
 Sistema de monitoramento de área próxima baseado
 em SONAR / César Melo Guedes Coelho; orientador Carlos
 Dias Maciel. São Carlos, 2020.

 Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
 ênfase em Eletrônica) -- Escola de Engenharia de São
 Carlos da Universidade de São Paulo, 2020.

 1. SONAR. 2. UDP. 3. Monitoramento remoto. I.
 Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Cesar Melo Guedes Coelho

Título: “Sistema de monitoramento de área próxima baseado em SONAR”

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 03. / 12. / 2020,

com NOTA 8,7 (Oito. , Sete), pela Comissão Julgadora:

Prof. Associado Carlos Dias Maciel - Orientador - SEL/EESC/USP

Mestre Jordão Natal de Oliveira Júnior - Doutorando -
SEL/EESC/USP

Mestre Matheus de Souza Sant'Anna Fogliatto - Doutorando -
SEL/EESC/USP

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

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente como deve ser, por me desejar neste mundo.

A meus pais, por abrirem a mim as portas da vida, e ininterruptamente me educarem, prezando pelo ensino das virtudes e sendo exemplos imaculados de pessoas dignas e retas.

A meu saudoso avô, por ter sido um exemplo extraordinário de profissional empenhado no serviço ao próximo.

À minha esposa e companheira, Priscila, que mesmo conhecendo o pior que há em mim não cessa de me dar oportunidades de ser um homem melhor.

A meu orientador, por toda paciência em conduzir este trabalho apesar de minhas recorrentes falhas e por todo ensinamento passado, principalmente fora de sala de aula.

Aos grandes amigos, por todas as experiências proporcionadas para moldar minha vivência na sociedade, em especial: a Geni, Paula, Tiago, Bruno e Rafaela, por nunca me deixarem sentir a falta de um irmão; a Maria, Paulo, Cristina e João, por dividirem com meus pais fardos e glórias da minha caminhada; a Fernando, Diego, Vitor, Diogo e Petrônio por diminuírem as tristezas de viver longe dos familiares; a Yuri, Ailton, João Victor, Renata, Leandro, Rafael e Sérgio, colegas em decorrência das atividades acadêmicas, por se tornarem verdadeiras fontes de confiança, respeito e admiração; a Nilton, Osmar e Guilherme por nenhum motivo menos especial do que amizade sincera e gratuita a todo momento.

Enfim, a toda comunidade dedicada à disseminação de conhecimento por tudo que estão fazendo para a revolução cultural de ensino e aprendizagem em desenvolvimento.

*“É sempre assim o curso dos fatos que movem as rodas do mundo:
as mãos pequenas os realizam porque precisam,
enquanto os olhos dos grandes estão voltados para outros lugares.”*

John Ronald Reuel Tolkien

RESUMO

COELHO, C. **Sistema de monitoramento de área próxima baseado em SONAR**. 2020. 92p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

Monitorar a presença ou o movimento numa dada área e tomar ações instantâneas simples já se tornaram atividades cotidianas, por exemplo, sistemas de acendimento automático de luzes e bloqueio de fechamento de portões elétricos. Monitorar uma dada área também já é algo cotidiano feito por câmeras de segurança, mas caso haja a necessidade de monitorar uma área escura ou apenas um plano, as soluções disponíveis costumam ser voltadas para consumidores especiais e terem preços elevados, como é o caso de scanners de segurança industrial. O sistema implementado neste trabalho monitora constantemente uma área próxima ao hardware remoto, por meio de varredura de feixes de ondas ultrassônicas, e envia os dados necessários a uma central, pelo protocolo de camada de transporte UDP (*User datagram protocol*). A central se responsabiliza por exibir na tela os dados de modo instintivo e os armazena para futuras consultas e análises. O sistema criado responde bem dentro dos limites da tecnologia utilizada, podendo ser utilizado como ferramenta de prototipagem em ambientes controlados, no entanto não é indicado para situações onde é necessário performances superiores e não deve ser utilizado para manter ou garantir a segurança numa dada área.

Palavras-chave: Monitoramento de área remota. Transmissão de dados sem fio. Protocolo UDP. SONAR.

ABSTRACT

COELHO, C. **Proximity monitoring system based on SONAR**. 2020. 92p.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Escola de Engenharia de São Carlos,
Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

Monitoring the presence or movement in a given area and taking simple instant actions have already become usual activities for most people, for example, automatic light switching and blocking electric gates closing. Monitoring a given area is also a common thing done by security cameras, but if there is a need to monitor a dark area or only one plan, available solutions are usually aimed at special consumers and at high prices, like industrial security scanners. The system implemented in this work constantly monitors an area close to the remote hardware by scanning ultrasonic waves and sends data to a central via transport layer protocol, UDP (User datagram protocol). The central is responsible for instinctively displaying the data on the screen and stores them for future consultation and analysis. The system created responds well within the limits of the technology used, it can be used as a prototyping tool in controlled environments, however it is not indicated for situations where superior performance is required and must not be used to maintain or guarantee safety in a given area.

Keywords: Monitoring a remote area. Wireless data transmission. UDP protocol. SONAR

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação das inter-relações dos subsistemas, divididos em relação ao local de implementação, HR ou HC, e breve descrição de suas funções.	24
Figura 2 – Ideia fundamental da medição de distância por TOF.	25
Figura 3 – Sensor HC-SR04 utilizado no trabalho.	29
Figura 4 – Diagrama temporal do sensor HC-SR04.	30
Figura 5 – Conexão do sensor LM35.	31
Figura 6 – Placa NodeMCU V3.	33
Figura 7 – Conversor de nível lógico.	33
Figura 8 – Esquema elétrico do hardware remoto.	34
Figura 9 – Máscara para placa de circuito impresso.	34
Figura 10 – Fluxograma: à esquerda referente ao HR; à direita ao HC; setas pretas indicam retorno de laços de <i>loop</i> ; verdes, comunicação HR-HC.	37
Figura 11 – Protótipo final utilizando pedestal de uso industrial: a placa NodeMCU (A) fixada diretamente no pedestal com uso de espaçadores, nas laterais se encontram a bateria (B) e uma protoboard, no topo o sensor ultrassônico (C). O sensor de temperatura (D) está afastado dos demais dispositivos interfaceados pelo conversos de nível lógico (E). O servo motor não é visível apenas seu cabo (F). Finalmente, um conector (G) para alimentar diretamente os periféricos, aliviando a corrente na placa.	39
Figura 12 – Campo de testes 1.	41
Figura 13 – Mapa dos ambientes relevantes da casa	41
Figura 14 – Campo de testes 2.	42
Figura 15 – Resultados comparativos referentes ao teste 1.	43
Figura 16 – Resultados comparativos referentes ao teste 2.	44
Figura 17 – Efeito de <i>foreshortening</i> .	45
Figura 18 – Tela do sistema de exibição em momento do teste 2, varredura de retorno.	45
Figura 19 – Tela do sistema de exibição em momento do teste 2, varredura de avanço.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características do Sensor HC-SR04.	30
Tabela 2 – Características do Servo Motor MG90S.	32
Tabela 3 – Interfaces dos Periféricos.	32
Tabela 4 – Resumo de dados referentes a varreduras positivas do teste 1, de 5 a 34°.	63
Tabela 5 – Resumo de dados referentes a varreduras positivas do teste 1, de 35 a 74°.	64
Tabela 6 – Resumo de dados referentes a varreduras positivas do teste 1, de 75 a 114°.	65
Tabela 7 – Resumo de dados referentes a varreduras positivas do teste 1, de 115 a 154°.	66
Tabela 8 – Resumo de dados referentes a varreduras positivas do teste 1, de 155 a 175°.	67
Tabela 9 – Resumo de dados referentes a varreduras negativas do teste 1, de 5 a 34°.	68
Tabela 10 – Resumo de dados referentes a varreduras negativas do teste 1, de 35 a 74°.	69
Tabela 11 – Resumo de dados referentes a varreduras negativas do teste 1, de 75 a 114°.	70
Tabela 12 – Resumo de dados referentes a varreduras negativas do teste 1, de 115 a 154°.	71
Tabela 13 – Resumo de dados referentes a varreduras negativas do teste 1, de 155 a 175°.	72
Tabela 14 – Resumo de dados referentes a varreduras completas do teste 1, de 5 a 34°.	73
Tabela 15 – Resumo de dados referentes a varreduras completas do teste 1, de 35 a 74°.	74
Tabela 16 – Resumo de dados referentes a varreduras completas do teste 1, de 75 a 114°.	75
Tabela 17 – Resumo de dados referentes a varreduras completas do teste 1, de 115 a 154°.	76
Tabela 18 – Resumo de dados referentes a varreduras completas do teste 1, de 155 a 175°.	77
Tabela 19 – Resumo de dados referentes a varreduras positivas do teste 2, de 5 a 34°.	78
Tabela 20 – Resumo de dados referentes a varreduras positivas do teste 2, de 35 a 74°.	79
Tabela 21 – Resumo de dados referentes a varreduras positivas do teste 2, de 75 a 114°.	80
Tabela 22 – Resumo de dados referentes a varreduras positivas do teste 2, de 115 a 154°.	81
Tabela 23 – Resumo de dados referentes a varreduras positivas do teste 2, de 155 a 175°.	82

Tabela 24 – Resumo de dados referentes a varreduras negativas do teste 2, de 5 a 34°.	83
Tabela 25 – Resumo de dados referentes a varreduras negativas do teste 2, de 35 a 74°.	84
Tabela 26 – Resumo de dados referentes a varreduras negativas do teste 2, de 75 a 114°.	85
Tabela 27 – Resumo de dados referentes a varreduras negativas do teste 2, de 115 a 154°.	86
Tabela 28 – Resumo de dados referentes a varreduras negativas do teste 2, de 155 a 175°.	87
Tabela 29 – Resumo de dados referentes a varreduras completas do teste 2, de 5 a 34°.	88
Tabela 30 – Resumo de dados referentes a varreduras completas do teste 2, de 35 a 74°.	89
Tabela 31 – Resumo de dados referentes a varreduras completas do teste 2, de 75 a 114°.	90
Tabela 32 – Resumo de dados referentes a varreduras completas do teste 2, de 115 a 154°.	91
Tabela 33 – Resumo de dados referentes a varreduras completas do teste 2, de 155 a 175°.	92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

USP	Universidade de São Paulo
USPSC	Campus USP de São Carlos
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
SEL	Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação
SONAR	<i>Sound Navigation and Ranging</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
HR	<i>Hardware Remoto</i>
HC	<i>Hardware Central</i>
CSV	<i>Comma Separated Values</i>
TOF	<i>Time Of Flight</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RF	Rádio Frequência
RAM	<i>Random Access Memory</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
DHCP	<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>
MDF	<i>Medium-Density Fiberboard</i>
ADC	<i>Analogic Digital Converter</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
PRT	<i>Pulse Repetition Time</i>
PRF	<i>Pulse Repetition Frequency</i>
DC	<i>Direct Current</i>
SI	Sistema Internacional de Unidades

LISTA DE SÍMBOLOS

Δ	Letra grega delta utilizada para indicar variação da grandeza que a acompanha.
D	Distância.
V	Velocidade de propagação da onda no meio.
Δt	Intervalo de tempo.
Δt_{ida}	Tempo necessário à onda para se propagar do emissor ao alvo.
$\Delta t_{retorno}$	Tempo necessário à onda para se propagar do alvo ao receptor.
Δt_{vo0}	Tempo total da emissão à detecção da onda.
$D_{(\Delta t)}$	Distância medida em função exclusivamente do intervalo de tempo.
V_{som}	Velocidade do som.
T	Temperatura do ambiente, meio.
$D_{(\Delta t, T)}$	Distância medida em função do intervalo de tempo e da temperatura ambiente.
f	Frequência da onda.
τ	Período da onda.
D_{max}	Distância máxima livre de redundância.
V_S	Tensão de alimentação positiva do controlador.
T_0	Temperatura de referência, 0 °C.
T_1	Valor qualquer de temperatura.
T_2	Valor de temperatura superior a T_1 .
E_T	Erro de medição devido a assumir $T_1 = T_2$.
$E_{T_{max}}$	Erro máximo ao assumir $T_1 = T_2$.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	25
2.1	Influência da Temperatura	25
2.2	Onda Ultrassônica	26
3	DESENVOLVIMENTO	29
3.1	Hardware remoto	29
3.1.1	Sensoriamento	29
3.1.2	Varredura	31
3.1.3	Comunicação e processamento	32
3.2	Hardware central	34
3.3	Descrição do software	35
4	TESTES E RESULTADOS	39
4.1	Teste 1 - Distâncias de 1 a 3,5 metros	40
4.2	Teste 2 - Distâncias de 0,1 a 1,5 metros	40
4.3	Resultados dos testes	41
4.4	Tela do Software	43
5	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS	49
	ANEXOS	51
	ANEXO A – CÓDIGO COMENTADO DO PROGRAMA DO HR	53
	ANEXO B – CÓDIGO COMENTADO DO APLICATIVO DO HC	57
	ANEXO C – TABELAS COM DADOS DE LEITURA	63

1 INTRODUÇÃO

Prever e evitar colisões, acionar um sistema de segurança e guiar um veículo são atividades cotidianas de Matheus, um jovem menino de 3 anos que corre pela casa com seu velotrol escondido da mãe. Assim como o homem desde cedo evolui seus sentidos para melhor se relacionar com o ambiente e executar sua atividade, os sistemas computadorizados se difundem e se tornam mais comuns no mundo.

Um problema crítico de diversos campos como realidade mista (FOXLIN; HARRINGTON; PFEIFER, 1998) e localização computadorizada (HIGHTOWER; BORRIELLO, 2001) é estimar o posicionamento de pessoas e dispositivos móveis, seja para evitar colisões, monitorar um comportamento ou endereçar uma tarefa. Para ambientes abertos, e com grandes margens, sinais do sistema de posicionamento global, GPS, fornecem dados de localização com facilidade, no entanto, em ambientes fechados eles podem se tornar inutilizáveis (HASHIZUME et al., 2005).

Dentre os sistemas utilizados para monitorar uma área interna estão os baseados em infravermelho (WANT et al., 1992), radiofrequência (BAHL; PADMANABHAN, 2000) e visão computacional (BRUMITT et al., 2000). Segundo Hashizume et al. (2005) o grande ponto negativo desses sistemas é a baixa precisão, ou seja, a estimativa de erro varia de poucos centímetros a alguns metros e sistemas baseados em ultrassom apresentam medidas mais precisas.

Savvides, Han e Strivastava (2001) já observavam que com o avanço das comunicações sem fio, e dos sistemas embarcados, as redes de dispositivos sensores estavam em difusão, se comportando essencialmente como grandes computadores distribuídos monitorando determinados ambientes. Indo de acordo com esta observação, adaptar o sistema apresentado por Nedelkovski (2015) para utilizar comunicação sem fio entre as partes é uma evolução esperada. Além disso, aumenta o leque de aplicações possíveis, permitindo adquirir dados a partir de um objeto que se movimenta livremente no espaço, desde que dentro da cobertura do sinal de comunicação. Tal evolução é justamente o escopo deste trabalho.

Segundo Tanenbaum e David (2011) o protocolo de datagrama de usuário, UDP, apesar de não ser confiável e não realizar controle de fluxo ou verificação de erros, é muito usado em situações onde não há necessidade de espera de confirmação. A taxa de envio, e a entrega imediata de dados, são mais importantes do que receber todos os dados e os receber corretos. Por permitir aumentar a taxa de atualização e aliviar o processamento de comunicação escolhi este protocolo para trocas de informações, o controle de erros pode ser feito por análise posterior de dados, não é necessário confirmar recebimento e

verificar erros constantemente. Para permitir tal análise posterior, mais uma adaptação é necessária, armazenar os dados colhidos.

Após estabelecer os principais fundamentos teóricos no [Capítulo 2](#) os passos seguidos, para o desenvolvimento do *Sistema de monitoramento de área próxima baseado em SONAR*, são explicados no [Capítulo 3](#). No [Capítulo 4](#), descrevo os testes propostos e apresento os resultados cujas análises são feitas junto à conclusão no [Capítulo 5](#). O sistema proposto é fisicamente dividido em duas partes: [Hardware remoto](#), HR, responsável por adquirir os dados do ambiente e enviar ao [Hardware central](#), HC, que exhibe em tempo real os dados e os armazena. Fiz ainda uma divisão didática em seis subsistemas:

Sensoriamento: Medir o tempo de voo da onda, do ponto fixo ao obstáculo próximo, e a temperatura do ambiente.

Varredura: Posicionar precisamente o sensor na direção desejada.

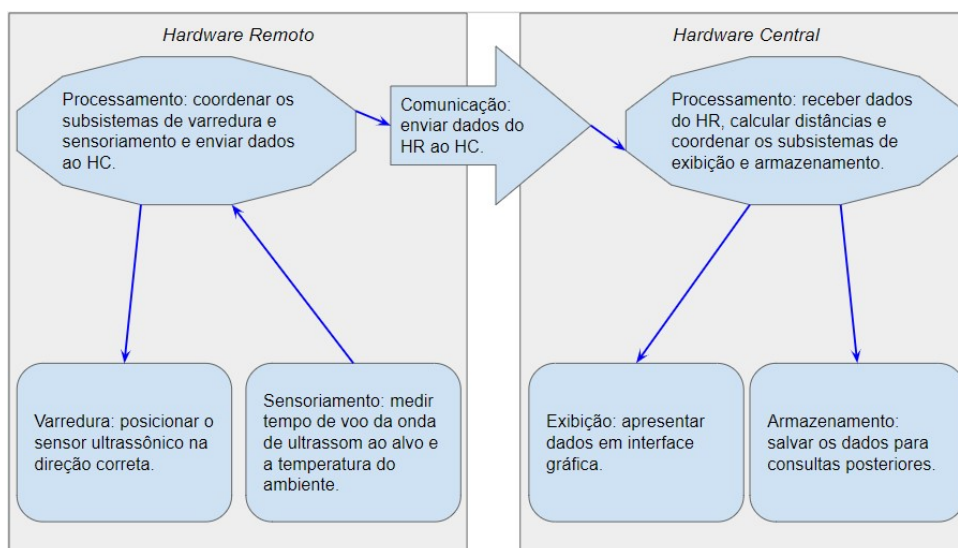
Comunicação: Enviar dados do HR ao HC, utilizando tecnologia sem fio e com boa taxa de atualização.

Processamento: Monitorar a presença numa dada área aberta a partir de um ponto fixo em três etapas que se repetem indefinidamente uma após a outra: definir a direção para a atuação do sensor; medir a distância ao próximo objeto; verificar se o objeto está dentro da área monitorada.

Exibição: Apresentar os dados em interface gráfica intuitiva.

Armazenamento: Armazenar os dados utilizados em arquivos .csv (Comma Separated Values).

Figura 1 – Representação das inter-relações dos subsistemas, divididos em relação ao local de implementação, HR ou HC, e breve descrição de suas funções.

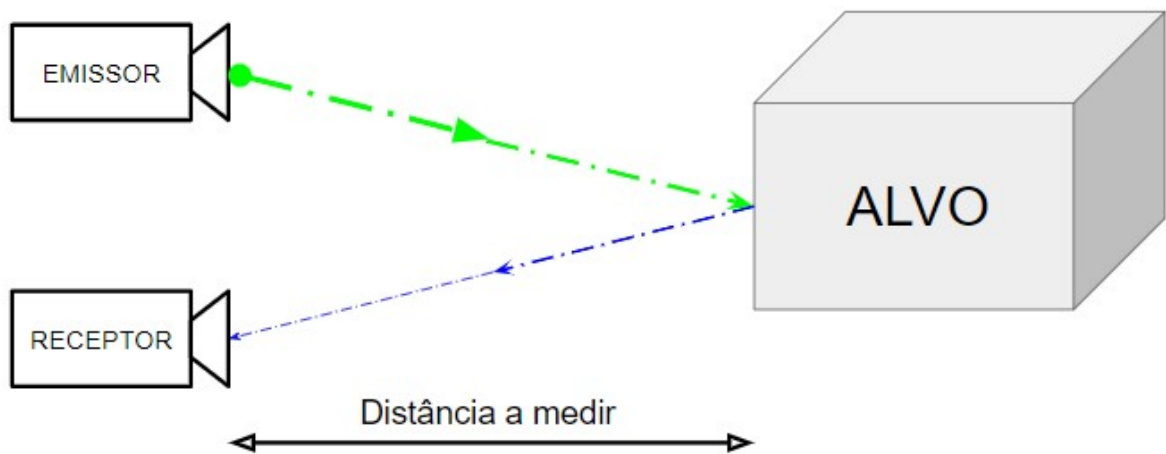


Fonte: Elaborada pelo autor

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A técnica de medição de distâncias por tempo de voo, TOF, consiste em medir o tempo levado por uma onda, para ir da fonte emissora ao alvo e retornar ao detector. A [Figura 2](#) ilustra a ideia da técnica.

Figura 2 – Ideia fundamental da medição de distância por TOF.



Fonte: Elaborada pelo autor

Na [Equação 2.1](#), V é a velocidade de propagação da onda no meio, conhecida a priori e suposta constante durante todo o processo, Δt_{ida} é o tempo necessário à onda para se propagar da fonte emissora ao obstáculo ao qual se deseja medir a distância, D , e $\Delta t_{retorno}$ o tempo gasto no percurso de retorno ao receptor. Na prática, os tempos não são medidos distintamente, e sim o tempo total da emissão da onda à sua detecção, Δt_{voo} , ou simplesmente Δt . Deste modo, a distância é dada em função exclusivamente do tempo de voo, $D_{(\Delta t)}$, pela [Equação 2.2](#):

$$2 * D = V \times \Delta t_{ida} + V \times \Delta t_{retorno} \quad (2.1)$$

$$D_{(\Delta t)} = V \times \frac{\Delta t}{2} \quad (2.2)$$

2.1 Influência da Temperatura

Até este ponto a velocidade da onda no meio vem sendo tratada como uma constante, o que não é verdade para o caso do som no ar. Resultados apresentados por [Bohn \(1988\)](#) expõem a relação entre a velocidade do som no ar e algumas variáveis, das quais a mais

significativa e impactante é a temperatura. Na [Equação 2.3 Bohn \(1988\)](#) apresenta a relação entre velocidade do som, V_{som} , em metros por segundos [m s^{-1}], e a temperatura ambiente, T , em Kelvin [K], 331.45 m s^{-1} é o valor de referência para a velocidade do som, considerando ar seco, ao nível do mar, 760 mmHg e 273.15 K.

$$V_{som(T)} = 331,45 \times \sqrt{\frac{T}{273,15}} \quad (2.3)$$

Ao longo do ano ficam evidentes as variações da temperatura de um local, além das estações definidas há também variações abruptas que podem ocorrer devido a fenômenos climáticos, como frentes frias ou massas de ar quente. Também é possível ter diferentes zonas térmicas num mesmo ambiente como a padaria de um supermercado próxima ao açougue do mesmo. Conforme [Barbosa \(2009\)](#) a cidade de São Carlos está sujeita a grandes amplitudes térmicas diariamente.

Utilizando a [Equação 2.3](#) e os estudos de [Barbosa \(2009\)](#), a velocidade do som pode variar de 341.61 m s^{-1} a 350.33 m s^{-1} , num dia com temperatura mínima de 17°C e máxima de 32°C . O erro absoluto ao se desconsiderar a variação da velocidade do som para uma distância 3m seria de 9 cm, um valor relevante em sistemas de monitoramento. Considerando que ao longo do ano a temperatura pode variar além do exemplificado, é necessário levar em conta a temperatura do ambiente no momento de se calcular a distância. Substituindo $V_{som(T)}$ da [Equação 2.3](#) no lugar de V na [Equação 2.2](#), a distância medida, $D_{(\Delta t)}$, passa a ser expressa, a partir de agora, em função de duas variáveis, $D_{(\Delta t, T)}$, conforme a [Equação 2.4](#).

$$D_{(\Delta t, T)} = 331,45 \times \sqrt{\frac{T}{273,15}} \times \frac{\Delta t}{2} \quad (2.4)$$

2.2 Onda Ultrassônica

Os sons são ondas mecânicas longitudinais cuja frequência se encontra na faixa audível ao ouvido humano, de 20 hertz, [Hz], a aproximadamente 20 kHz, os ultrassons possuem frequências superiores a esta faixa. ([ANSI/ASA, 2013](#)).

O intervalo de tempo necessário para um ponto ser atingido por dois picos de onda é seu período τ , onde $f = \frac{1}{\tau}$ é a frequência da onda em Hz. O conceito de 'pulso' pode causar confusão nessa área, não é uma excitação constante, mas sim oscilatória, por um dado período, iniciando o processo de medição, é constituído por "n" períodos de oscilação. Os estados dos dispositivos sensores podem ser divididos em dois momentos: emissão, ou pulso, e; detecção, ou repouso. O tempo de repetição de pulso, PRT do inglês *Pulse Repetition Time*, é a soma total dos tempos desses estados, ou seja o tempo total entre os inícios de dois pulsos consecutivos. De modo similar a frequência de repetição de pulsos,

PRF do inglês *Pulse Repetition Frequency*, é o inverso do PRT e indica a quantidade de pulsos emitidos por segundo, também expressa em Hz. (SPRING, 1998).

Trabalhar com maior frequência de operação melhora a resolução de sistemas tais como ultrassom diagnósticos pois é possível identificar as reflexões de objetos próximos separadamente. (HUSSEY, 1985). Utilizar uma PRF elevada melhora o monitoramento em tempo real da característica monitorada, permitindo identificar prontamente um evento crítico, ou esperado. Hussey (1985) aponta um efeito negativo de se ter uma baixa PRF, ao realizar o deslocamento do transdutor, para esses casos é necessário ter uma boa relação PRF/velocidade do transdutor.

Ambos, Hussey (1985) e Spring (1998), apontam que elevar indiscriminadamente a PRF pode causar perda de leituras, a onda refletida pode ser detectada apenas após a nova emissão, registrando um erro grosseiro de medida, assim a distância máxima, D_{max} , coberta tem uma relação direta com o PRT, e com a PRF conseqüentemente, expressa na Equação 2.5, onde a máxima distância possível de detecção não pode ter um tempo de voo superior ao próprio PRT do sistema. Uma taxa de atualização baixa no entanto acaba por tornar o sistema lento, de modo que grandes variações da característica medida podem passar despercebidos em momentos cruciais.

$$D_{max} < \frac{V_{som} \times PRT}{2} \quad (2.5)$$

Como o sistema proposto é genérico e as velocidades possíveis dentro da região não são conhecidas a priori, o valor utilizado para a PRF será o maior possível, desde que respeite as características limitantes dos dispositivos disponíveis. Objetos inclinados e angulados podem acabar desviando o feixe refletido para outra direção diferente à do receptor, acarretando erro de leitura, pois o sensor identificará timeout, ou seja, nenhum objeto à frente. Segundo Cytron (2013), dentro duma faixa de 15° em torno da direção frontal ao sensor a ocorrência deste fenômeno é mínima.

3 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo apresenta como as limitações dos dispositivos a disposição são superadas para alcançar os objetivos deste trabalho. Como a premissa do sistema é ser fisicamente composto por um dispositivo remoto e um supervisor, este capítulo também será dividido assim para evidenciar as opções adotadas durante a elaboração e execução.

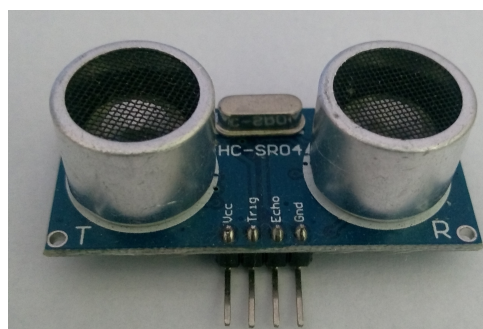
3.1 Hardware remoto

O HR consiste no módulo a ser instalado no local defronte ao qual a área será monitorada. Para maximizar sua versatilidade, foi desenvolvido focado em autonomia. Alimentado por uma bateria pode ser instalado em objetos móveis e é menos sujeito a quedas de comunicação e danos devido a instabilidades e picos no fornecimento de energia elétrica. O carregamento da bateria deve ser tratado de acordo com a aplicação. Para este trabalho foi utilizado um carregador de celular de 15 W conectado à rede elétrica residencial, assumindo que a dificuldade de projetar uma fonte alternativa de energia extrapola a planejada.

3.1.1 Sensoriamento

O principal sensor utilizado para a implementação do sistema é o modelo HC-SR04, apresentado na [Figura 3](#), de baixo custo, R\$ 10,39¹, suas características são apresentadas na [Tabela 1](#).

Figura 3 – Sensor HC-SR04 utilizado no trabalho.



Fonte: Elaborada pelo autor

Ao manter o pino *Trigger* em nível lógico alto por 10 μ s, o transdutor emissor é acionado, gera oito pulsos de onda ultrassônica, 40 kHz, e eleva o nível lógico do pino *Echo*. A onda ao refletir no obstáculo retorna ao transdutor receptor, se sua potência estiver

¹ Os preços dos componentes apresentados ao longo deste trabalho foram consultados dia 27 de julho de 2020 no site Baú da Eletrônica, <https://www.baudaeletronica.com.br/>

Tabela 1 – Características do Sensor HC-SR04.

Característica	Módulo Ultrassônico HC-SR04
Tensão de operação (DC)	5 V
Frequência da onda Ultrassônica	40 kHz
Alcance máximo	4 m
Alcance mínimo	2 cm
Ângulo de medida	15°
<i>Timeout</i>	38 ms

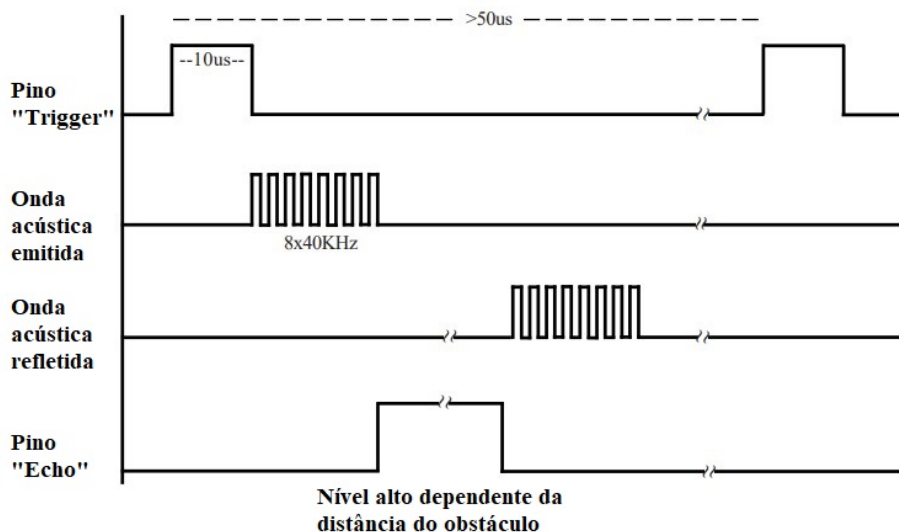
Fonte: [Cytron \(2013\)](#)

acima do limiar de sensibilidade mínima do sensor o nível lógico do pino *Echo* é abaixado. O tempo no qual o pino *Echo* mantém nível lógico alto é o tempo de voo, Δt . Caso a potência da onda refletida não seja suficiente para excitar o transdutor receptor, o nível lógico de *Echo* é abaixado por *timeout* após 38 ms.

Há aqui o primeiro limitante para a PRF do sistema, o pulso no pino *Trigger* não deve ser repetido dentro de um intervalo menor do que 50 μ s, este comportamento é ilustrado na [Figura 4](#). (MPJA,)

Além disso o timeout sendo de 38 ms indica o PRT máximo a ser utilizado, substituindo esse valor em [Equação 2.5](#) e considerando $V_{som} = 340m/s$ obtemos a máxima distância possível a ser medida, 6.42 m, muito além do valor limite, 4 m informado pelo fabricante. O sistema foi desenvolvido para não forçar um novo pulso após determinado tempo, mas trabalhar com PRF dinâmica, variando em função da resposta apresentada.

Figura 4 – Diagrama temporal do sensor HC-SR04.

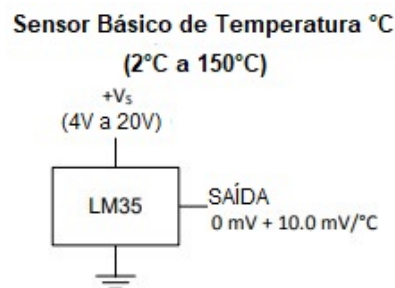


Fonte: [MPJA \(\)](#), tradução nossa.

Entre as causas para *timeout* estão: atenuação do meio à onda propagante, alvo além do alcance; reflexão especular, o ângulo de incidência da onda no alvo provoca reflexão em outra direção; absorção ou 'transparência' do obstáculo, objetos que absorvem a energia da onda ou que sejam muito pequenos não refletem uma quantidade necessária para a detecção no receptor. (EVERETT, 1995; MURPHY, 2000).

Como destacado no capítulo anterior, é necessário levar em consideração a temperatura do ambiente, para isso é utilizado o sensor LM35, largamente difundido, de baixo custo, R\$ 9,41, e implementação simples, conforme a Figura 5. Onde, V_S é a tensão de alimentação positiva do controlador e SAÍDA é a tensão que deve ser conectada a uma entrada analógica do controlador, cada 10 mV representa 1 °C na faixa de 2 °C a 150 °C.

Figura 5 – Conexão do sensor LM35.



Fonte: Texas instruments (1999), tradução nossa.

3.1.2 Varredura

A precisão de posicionamento do sensor é fundamental para o bom funcionamento do sistema, para realizar esta tarefa foi utilizado um pequeno servo motor disponível localmente. O modelo utilizado a princípio, SG 90 da *TOWER PRO*, escolhido por seu baixo custo, R\$ 14,90, suas engrenagens de nylon apresentaram uma curta vida útil, motivando sua substituição pelo MG 90S, com engrenagens de alumínio, da mesma fabricante, ao custo de R\$ 25,59. Apesar de possuírem ângulo de trabalho de 180° a varredura implementada é de 5° a 175°, com resolução de 1°, demais características pertinentes se encontram na Tabela 2, valores não apresentados pela fonte em grandezas do SI foram convertidos, o valor da alimentação foi aproximado para o usual, 5 V.

O chicote de conexão já é embutido no dispositivo, o cabo vermelho deve ser conectado à alimentação positiva, o marrom à referência e o laranja, sinal de controle, deve ser conectado a uma saída do controlador com função PWM, na sigla em inglês para *Pulse Width Modulation*. Num intervalo de 20 ms o nível lógico ativo por 1 ms corresponde à posição de -90°; ativo por 2 ms corresponde à posição de 90°; valores intermediários são relacionados linearmente. Neste momento surge mais um limitante para a PRF, como a velocidade do servo é de 1.67 ms⁻¹ deve haver um tempo mínimo entre o posicionamento

Tabela 2 – Características do Servo Motor MG90S.

Característica	Servo Motor MG90S (4.8V)
Velocidade de operação	0.1 s/60°
Torque	17.6 N cm
<i>Dead Band</i>	5 μ s
Controle	PWM
Período do PWM	20 ms
Posição -90°	1 ms de sinal ativo
Posição 90°	2 ms de sinal ativo

Fonte: [Baú da Eletrônica \(2020\)](#)

do servo e o disparo do pulso no pino *Trigger*.

3.1.3 Comunicação e processamento

Tendo autonomia como orientação, as tecnologias de comunicação para troca de dados entre os hardwares que eliminam a necessidade de cabeamento disponíveis localmente são Wi-Fi e rádio frequência, RF. A grande vantagem do RF sobre o Wi-Fi é o alcance, cerca de 200 vezes maior, no entanto a diferença de custo ainda é decisiva para este estudo, cerca de R\$ 600 contra R\$40. Foi utilizada a solução baseada em Wi-Fi, cujo hardware é a plataforma NodeMCU V3, apresentada na [Figura 6](#), que também possui a capacidade de ser o hardware de processamento remoto, controlando e colhendo os dados dos periféricos.

A [Tabela 3](#) lista os dispositivos utilizados no hardware remoto e a interface necessária com o controlador, NodeMCU, que apresenta recursos suficientes para se conectar a todos. Os periféricos selecionados até agora utilizam nível lógico alto de 5 V, mas os pinos de entrada e saída da placa escolhida operam em nível lógico alto de 3.3 V. Para conectar os diversos componentes à placa controladora foi necessário utilizar um conversor de nível lógico, apresentado na [Figura 7](#), também disponível localmente e de baixo custo, R\$ 7,00.

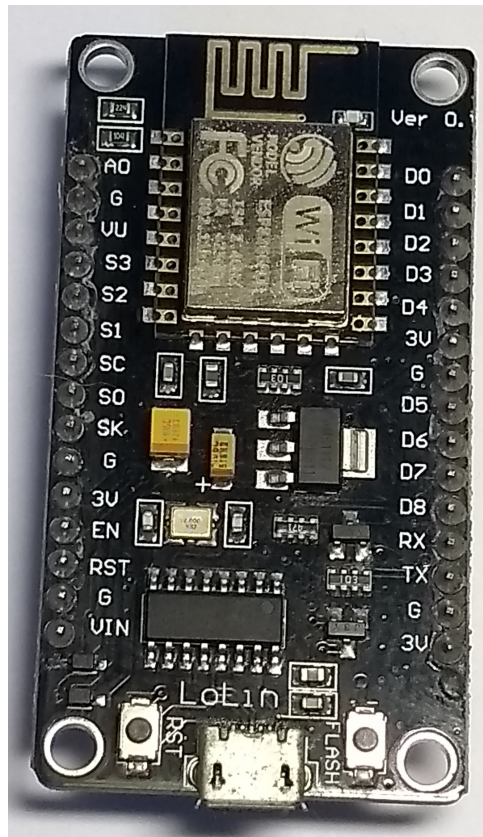
Tabela 3 – Interfaces dos Periféricos.

Periférico	Interface Necessária do Controlador	Nível lógico
Sensor Ultrassônico HC-SR04	1 Saída Digital + 1 Entrada Digital	5 V
Sensor LM 35	1 Entrada Analógica	Não se aplica
Servo Motor MG 90S	1 Saída Digital PWM 50 Hz	5 V

Na [Figura 8](#) apresento o esquema elétrico do HR e na [Figura 9](#) uma sugestão de placa de circuito impresso².

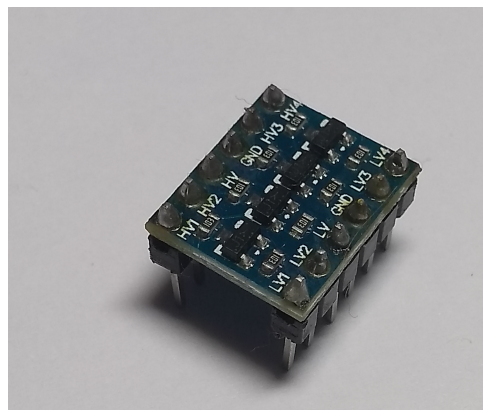
² Ambas as imagens foram geradas com auxílio da ferramenta [Fritzing](#)

Figura 6 – Placa NodeMCU V3.



Fonte: Elaborada pelo autor

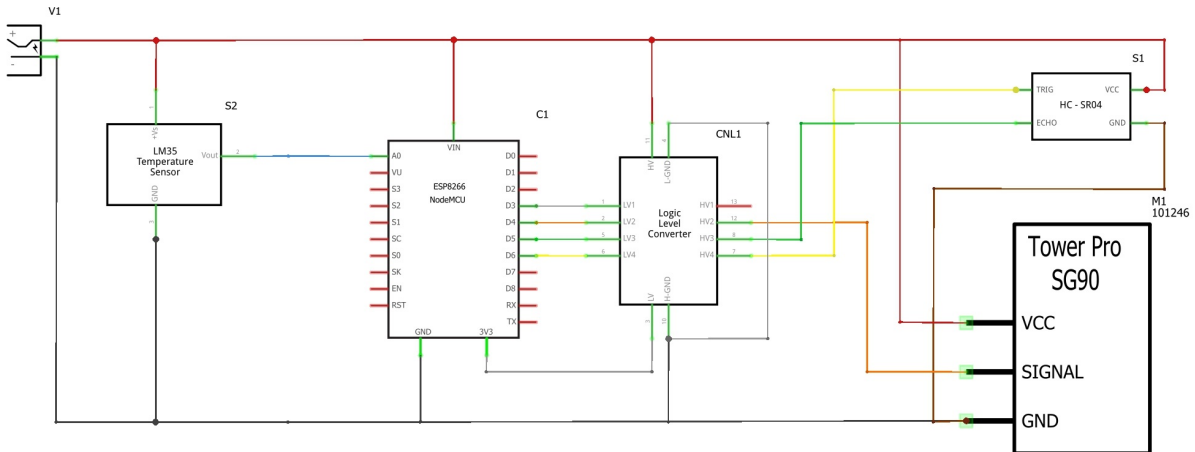
Figura 7 – Conversor de nível lógico.



Fonte: Elaborada pelo autor

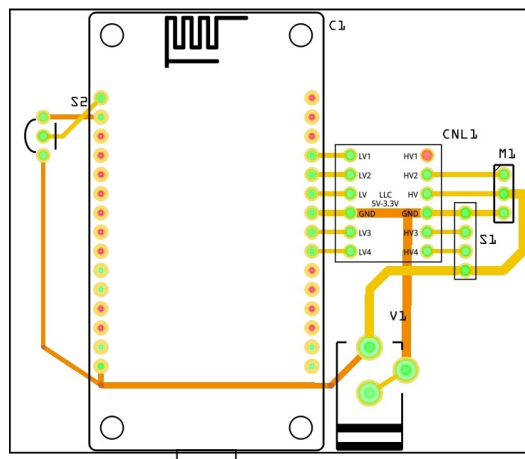
Para aumentar a taxa de aquisição, e evitar o consumo de bateria em processamento de dados, o sistema remoto não realiza cálculos para informar a distância do obstáculo. Apenas faz a aquisição dos dados naturais dos sensores, tempo de voo em μs e temperatura, valor decimal proveniente do conversor analógico digital, e os envia ao hardware central. O código do programa embarcado se encontra comentado no [Apêndice A](#).

Figura 8 – Esquema elétrico do hardware remoto.



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 9 – Máscara para placa de circuito impresso.



Fonte: Elaborada pelo autor

3.2 Hardware central

Para o processamento de cálculos, exibição e armazenamento de dados adaptei o aplicativo apresentado por [Nedelkovski \(2015\)](#) na plataforma [Processing](#). O código comentado se encontra no [Apêndice B](#). Para a elaboração deste trabalho foi utilizado um notebook *Acer Aspire E5-574G*, equipado com processador *Intel Core i5-6200U*, 8GB de memória RAM e placa de vídeo *NVIDIA GEFORCE 920M*, com 2GB de memória dedicada, sistema operacional *Windows 10*, versão 1803. Este trabalho não especifica um hardware com características mínimas exigidas, apenas relata o utilizado.

Para que o HR envie informações diretamente ao HC utilizando o protocolo UDP, ambos devem estar conectados à mesma rede. Não é necessário manter o endereço de IP, *Internet Protocol*, do HR conhecido, ele é atribuído automaticamente no momento

de conexão com o roteador (DHCP, *Dynamic Host Configuration Protocol*), mas o HC necessita ter seu endereço IP conhecido, pois este deve ser declarado como destinatário das mensagens no programa do HR. Durante a realização do desenvolvimento e dos testes a rede WiFi utilizada foi estabelecida por um roteador residencial, modelo *Archer C20*, fabricado pela [TP-LINK \(2017\)](#).

O aplicativo adéqua-se à tela do dispositivo atual onde está sendo executado, seu funcionamento é conforme o seguinte: primeiramente ele gera a tela de fundo do radar a ser utilizada durante toda a exibição; ao receber os dados via UDP calcula a temperatura do ambiente e a real distância entre sensor e obstáculo; atualiza o visor com o resultado dos cálculos realizados; armazena os dados numa tabela temporária; a cada incremento de hora a atual tabela temporária é salva em um arquivo *.csv* e reinicializada para receber novos dados.

3.3 Descrição do software

A sequência lógica do software de controle foi explicada ao longo do texto, mas pra melhorar o entendimento e a didática deste documento, apresento na [Figura 10](#) o fluxograma de controle. As setas em preto indicam retornos de laços de *loop*, símbolos e setas verdes indicam comunicação entre HR e HC.

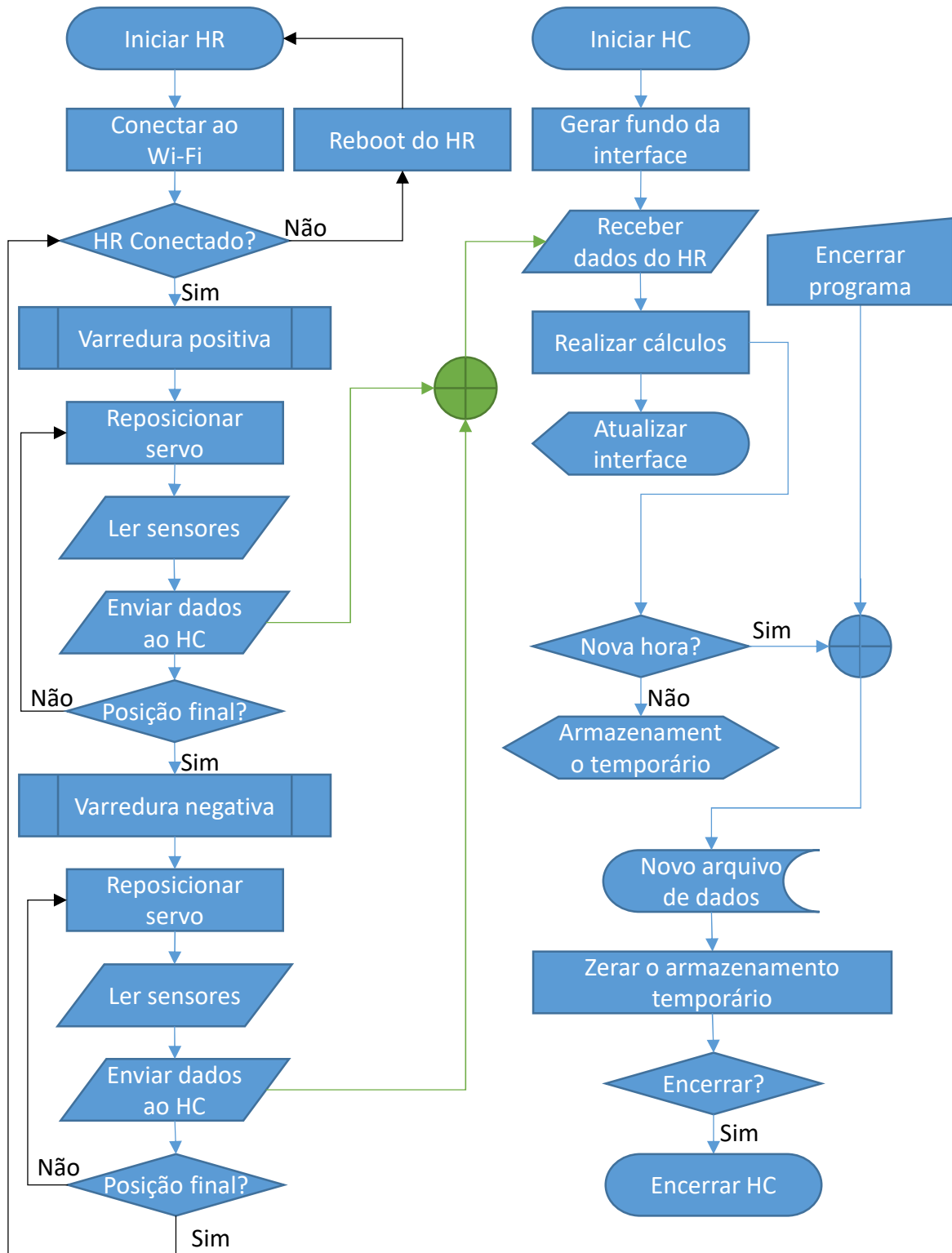
À esquerda está representado o fluxograma do HR, composto basicamente por quatro laços de *loop* interconectados: primeiramente o *loop de conexão*, a cada novo ciclo de varredura é feita uma conferência se a comunicação com a rede Wi-Fi está ativa, caso tenha ocorrido uma perda de conexão o HR é reiniciado; o próximo é o *loop de varredura com sentido positivo* no qual o HR reposiciona o servo motor, realiza a leitura dos sensores e envia dados ao HC até atingir a posição final pré-definida; analogamente e logo após o *loop de varredura com sentido negativo* é realizado até que a posição inicial seja alcançada; os dois últimos compõem juntos o *loop de varredura*. Para maior dinamismo do sistema, a conferência da comunicação é realizada apenas no início de cada ciclo, aplicações mais criteriosas podem aumentar essa taxa de confirmação para se repetir a cada novo envio de dados.

É importante observar que o HR funciona independentemente da existência do HC, sendo sua existência ou não indiferente para o HR. A conferência realizada no *loop de conexão* é apenas sobre o status do próprio HR à rede, como é utilizado o protocolo UDP não há espera por confirmação de recebimento do HC, o HR simplesmente envia os dados rotineiramente até que seja desconectado.

Já o programa de controle do HC, à direita, é conceitualmente diferente. Não possui laços próprios, mas rotinas com início e fim bem definidos que são acionadas por entradas externas de dados, sendo assim é profundamente dependente do HR. Caso

haja uma desconexão o HC permanecerá inalterado aguardando novos dados do HR, ao recebê-los, a primeira ação é calcular a distância medida, a atualização da tela da interface ocorre imediatamente após os cálculos e os resultados são armazenados numa tabela. Para minimizar o impacto de se ter o sistema parado e evitar o esgotamento da memória do HC um novo arquivo com os dados salvos na tabela é salvo periodicamente, sempre que o recebimento do novo dado ocorrer numa hora diferente da leitura anterior, ou quando for executado o comando de encerrar a execução.

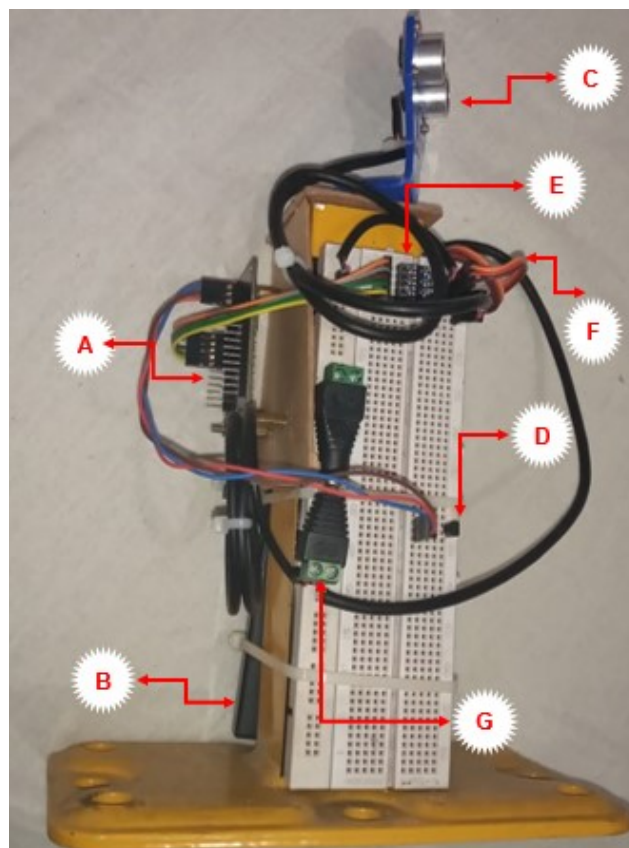
Figura 10 – Fluxograma: à esquerda referente ao HR; à direita ao HC; setas pretas indicam retorno de laços de *loop*; verdes, comunicação HR-HC.



4 TESTES E RESULTADOS

Para testar o funcionamento completo do sistema foram montados alguns protótipos. A versão final se encontra na [Figura 11](#), sua principal característica é o peso total de 1.439 kg. Em versões anteriores, com HR mais leve, a movimentação do servo provocava seu deslocamento, alternativas de solução a este problema são: fixar definitivamente o dispositivo no local ou; aumentar o momento de inércia do HR. A primeira opção é inviável neste caso, estão apenas sendo realizados testes e não a instalação para uso contínuo. Para a segunda é utilizado parte de um pedestal de fixação para grades de proteção industrial, secção quadrada de 40 mm em chapa de ferro de 2 mm e base retangular, 100 mm por 180 mm em chapa de ferro reforçada de 5 mm.

Figura 11 – Protótipo final utilizando pedestal de uso industrial: a placa NodeMCU (A) fixada diretamente no pedestal com uso de espaçadores, nas laterais se encontram a bateria (B) e uma protoboard, no topo o sensor ultrassônico (C). O sensor de temperatura (D) está afastado dos demais dispositivos interfaceados pelo conversor de nível lógico (E). O servo motor não é visível apenas seu cabo (F). Finalmente, um conector (G) para alimentar diretamente os periféricos, aliviando a corrente na placa.



Fonte: Elaborada pelo autor

Uma base de MDF, *Medium-Density Fiberboard*, é utilizada para fixação do servo cujos mecanismos não são visíveis pois estão dentro da seção reta do pedestal. Uma protoboard fixa por fita dupla face auxilia na montagem do conversor de nível lógico e serve como suporte também para o sensor de temperatura, reforçando sua fixação, duas abraçadeiras de nylon prendem também a bateria.

Até o momento a PRF deveria ser a máxima possível, respeitando um delay de 1.67 ms entre comando de posicionamento do servo motor e disparo do sinal de *Trigger*. Para que os testes sejam comparáveis é necessário que a PRF tenha a mesma ordem de grandeza em ambos. Já que não é possível impor uma PRF constante, pois o tempo de resposta do sensor ultrassônico influencia no tempo da medida, pelo menos suas ordem de grandeza deve ser próxima.

O teste 2 foi planejado para ocorrer em ambiente interno da casa, utilizar uma PRF muito alta implica em o servo motor gerar muito ruído, incomodando o descanso dos moradores, para minimizar esse distúrbio o delay foi arbitrado em 60 ms. O ponto positivo dessa extremamente baixa PRF é que as ondas ultrassônicas tem tempo suficiente para serem atenuadas à indetectabilidade, ou seja, não ha chances de o sinal detectado ser devido a reflexão de ondas anteriores.

Também foi realizado um curto testes buscando aumentar ao máximo a PRF, porém o processador do HR acaba gastando muito tempo para executar as instruções e seu período de atualização acaba sendo superior a 50 μ s, mesmo removendo o delay de controle do servo.

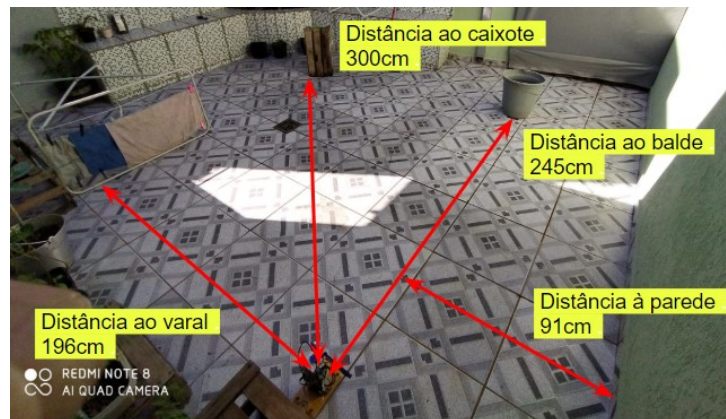
4.1 Teste 1 - Distâncias de 1 a 3,5 metros

Foi montado um campo de testes, apresentado na [Figura 12](#), para se testar o funcionamento completo do sistema: nele foram distribuídos obstáculos fixos a distâncias variadas dentro do limite de 3.5 m; o local escolhido é uma área externa, por estar susceptível às variações de temperatura, principalmente durante a madrugada; o roteador que estabelece a rede Wi-Fi se encontra num cômodo interno. A [Figura 13](#) apresenta um mapa dos ambientes relevantes da casa onde os testes foram conduzidos em escala.

4.2 Teste 2 - Distâncias de 0,1 a 1,5 metros

Um segundo campo de testes foi montado, [Figura 14](#), para comparar resultados obtidos em meios externos e internos com diferentes alcances: nele o sonar foi posicionado próximo a diversos objetos, limitadores e uma área frontal aberta variável, máximo de 1.5 m; o roteador se encontra no mesmo cômodo.

Figura 12 – Campo de testes 1.



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 13 – Mapa dos ambientes relevantes da casa



Fonte: Elaborada pelo autor

4.3 Resultados dos testes

O aplicativo do HC salva os dados em arquivos *.csv* a cada hora, permitindo a análise dos dados em um período reduzido ou maior, cabendo ao usuário mesclar os arquivos desejados em um único.

O teste 1 foi realizado das 20:36 do dia 26 de maio de 2019 às 17:26 do dia seguinte, quando parou de funcionar pelo esgotamento da bateria, foram salvos 960.297 envios de dados e perdidos 24.248. O teste 2 foi realizado entre 03:00 do dia 07 de agosto e 20:02 de 10 de agosto, com 4.858.863 dados enviado com sucesso e 223 perdidos. Nestes teste foi possível observar que mesmo em distâncias pouco inferiores a 4m ocorria timeout, realizando medidas separadamente para garantir incidência normal ainda foi observado timeout, indicando que a atenuação da onda pelo meio foi suficientemente grande para não ser considerado pelo receptor.

As temperaturas mínimas e máximas registradas foram respectivamente 6.45 °C e 20 °C no teste 1, e 18.39 °C e 24.52 °C no teste 2, no entanto a leitura dessas temperaturas

Figura 14 – Campo de testes 2.



Fonte: Elaborada pelo autor

foram intermitentes, indicando que o conversor AD estava atuando no limiar entre valores. A variação da temperatura em curtos intervalos de tempos pode indicar que algum componente não está em boas condições de funcionamento, ou sensor de temperatura ou conversor AD do HR. Monitorando a tensão no pino de saída do sensor com um multímetro digital, modelo ET-1002 da minipa, foi verificada a estabilidade do sinal analógico até a casa de unidade de mili Volts. O conversor AD do HR tem 10 bits de resolução para converter valores entre 0 V e 3.3 V, ou seja, $322.58 \mu\text{V}$ de resolução, o que não pôde ser verificado com o instrumento disponível.

A maior oscilação na leitura da temperatura observada foi de 5 níveis do conversor AD, aproximadamente 1.45°C , observada no teste 2. Assumindo T_1 , valor qualquer de temperatura e $T_2 = T_1 + 1,45$, valor incorreto de leitura de T_1 , a partir de [Equação 2.3](#), consegue-se estimar E_T , o erro de cálculo da distância D cometido em [Equação 2.4](#) por se

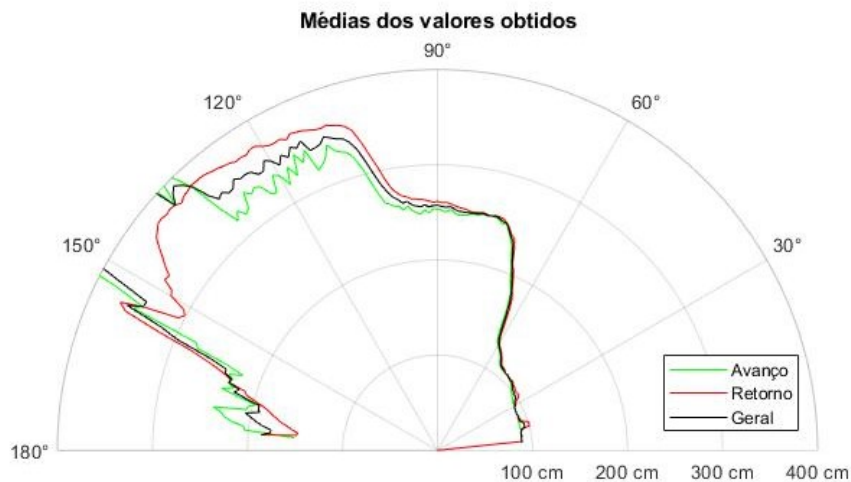
utilizar T_2 no lugar de T_1 , [Equação 4.1](#), onde T_0 é 273.15 K.

$$E_T = \frac{D}{\sqrt{\frac{T_1}{T_0}}} \times \left(\sqrt{\frac{T_2}{T_0}} - \sqrt{\frac{T_1}{T_0}} \right) \quad (4.1)$$

Para maximizar E_T , $\frac{T_1}{T_0}$ deve ser mínimo e D máximo, fazendo $T_1 = T_0$, um caso ainda pior que o registrado, e $D = 3,5$, maior distância de interesse deste trabalho, $E_{T_{max}} < 0,8cm$, um erro desprezível.

Na [Figura 15](#) os resultados referentes ao teste 1 são apresentados, ilustrando os valores médios de varreduras: com sentido positivo, em verde; negativo, em vermelho e; geral, em preto. Os valores utilizados para gerar a imagem podem ser consultados nas tabelas presentes no [Apêndice C](#), por serem extensas sua apresentação em meio ao texto é inviável. De modo análogo são apresentados os resultados referentes ao teste 2.

Figura 15 – Resultados comparativos referentes ao teste 1.



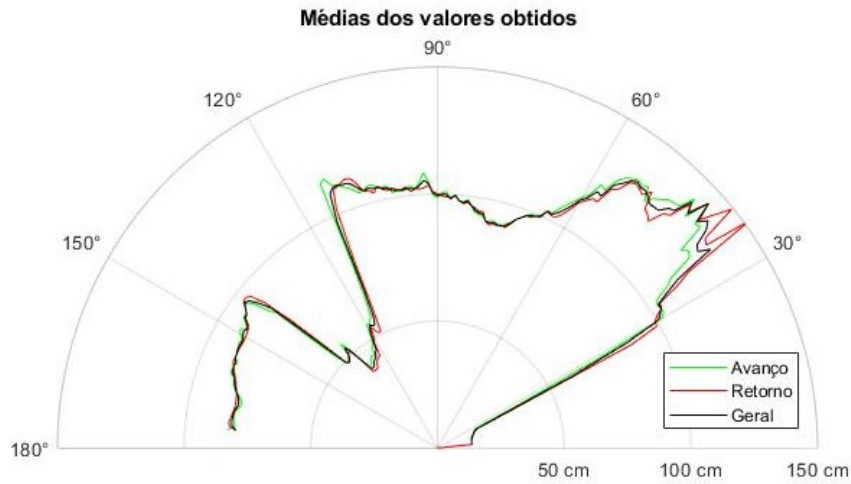
Fonte: Elaborada pelo autor

Os valores diferentes do esperado para leituras de distâncias da parede ocorrem devido ao efeito de *foreshortening*, a incidência da onda ultrassônica na parede não é perpendicular, causando reflexões antecipadas, a [Figura 17](#) ilustra o efeito. (MURPHY, 2000). Valores muito discrepantes entre as varreduras positivas e negativas podem ser atribuídos à falta de precisão de posicionamento do servo nos diferentes sentidos de rotação.

4.4 Tela do Software

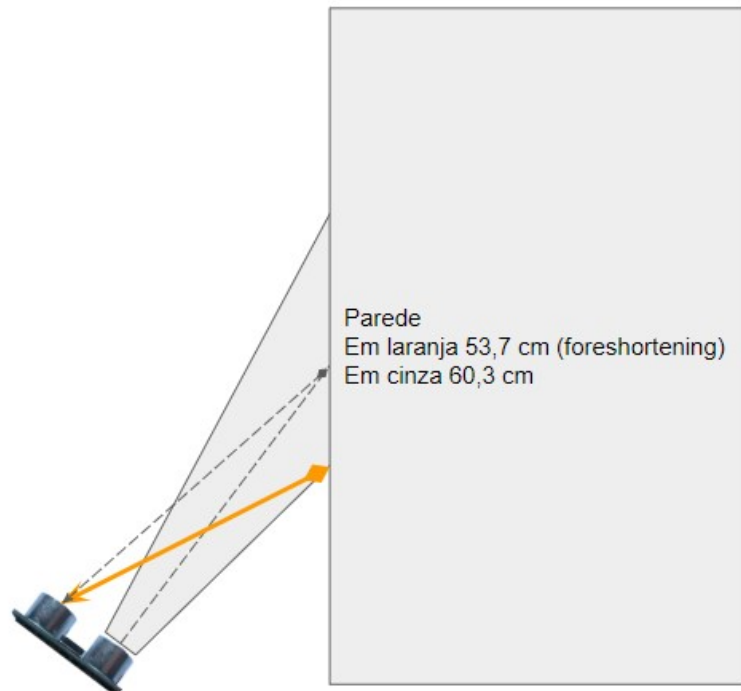
Nas figuras desta seção são apresentadas leituras da tela software para ilustrar a intuitividade do sistema de exibição. Pelo esmaecimento é possível assumir o sentido atual de varredura, a [Figura 18](#) representa um instante de varredura negativa enquanto a [Figura 19](#) positiva.

Figura 16 – Resultados comparativos referentes ao teste 2.



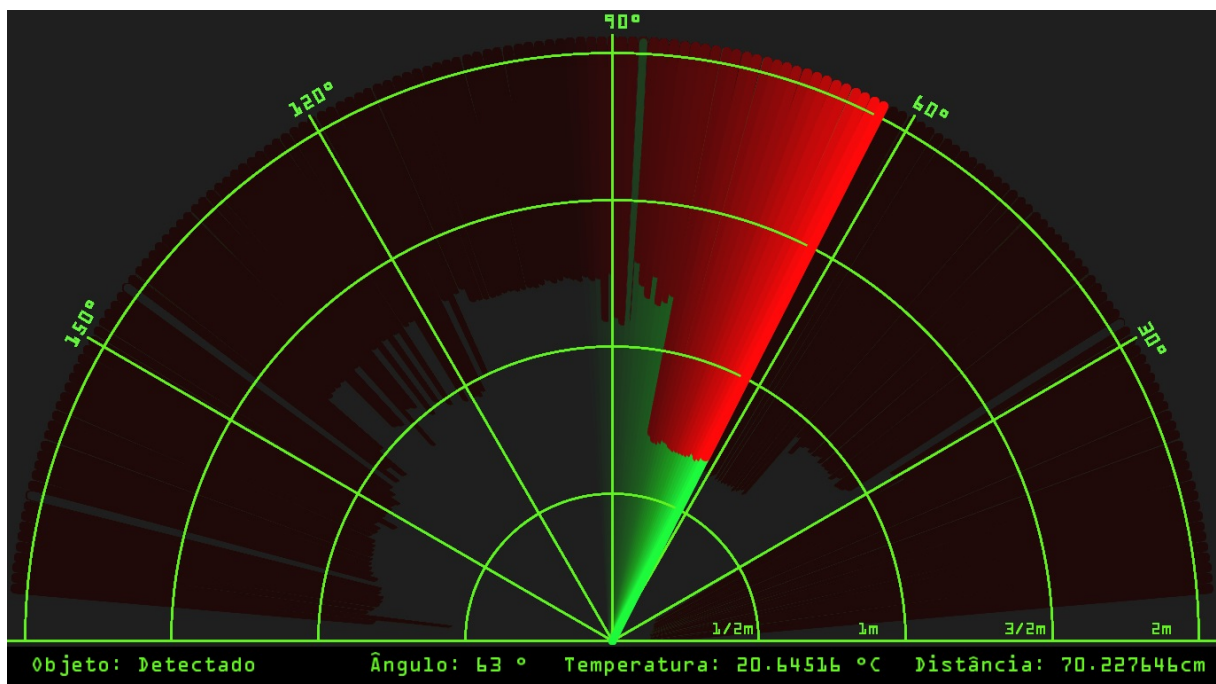
Fonte: Elaborada pelo autor

É possível observar que a varredura positiva apresenta muitas leituras falsas entre 100 e 160°, além de muitas inconsistências ao longo de todo o percurso. A curva da fronteira da região livre é muito mais suave na varredura negativa, ocasionando valores de desvio padrão mais baixos. Como mostrado na [Figura 19](#) uma grande área à frente do HR é variável, ou seja, é acessado por pessoas e objetos móveis, elevando muito o desvio padrão das medidas dessa região, principalmente se forem analisados curtos intervalos de tempo.

Figura 17 – Efeito de *foreshortening*.

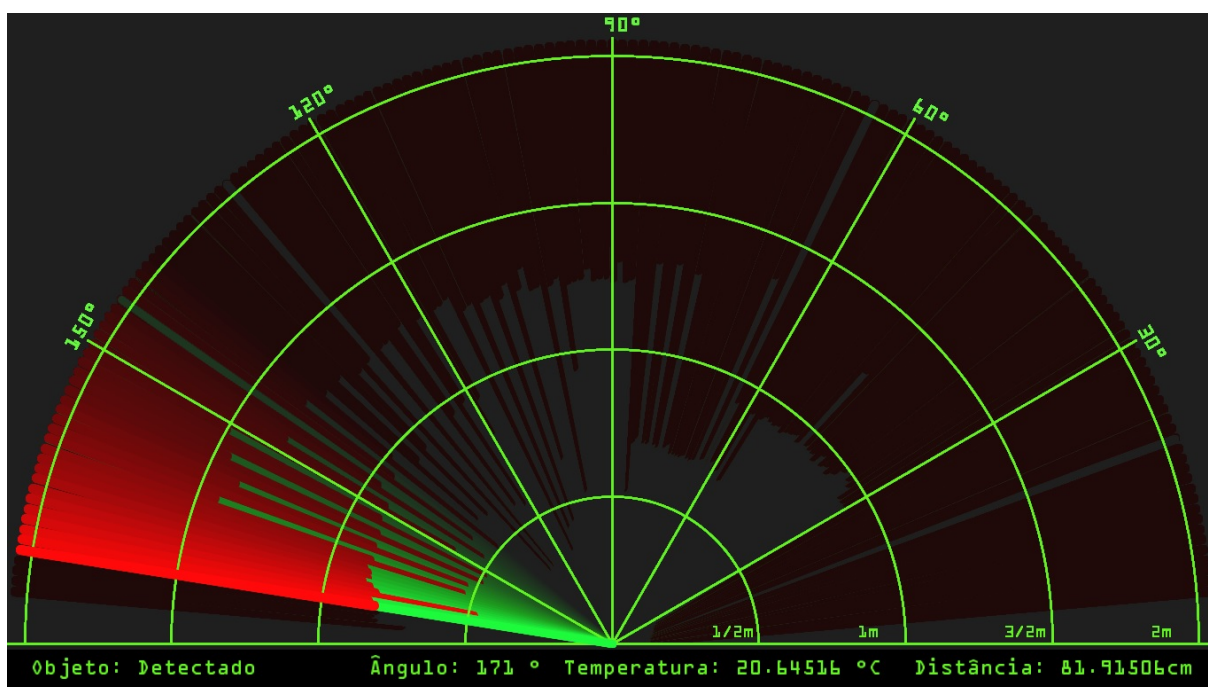
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 18 – Tela do sistema de exibição em momento do teste 2, varredura de retorno.



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 19 – Tela do sistema de exibição em momento do teste 2, varredura de avanço.



Fonte: Elaborada pelo autor

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do trabalho foi importante para familiarização com as dificuldades enfrentadas no desenvolvimento de novos produtos tecnológicos, principalmente onde a instrumentação de medição é um ponto crucial. O estudo de diferentes protocolos de comunicação, linguagens de desenvolvimento, análise de dados e critérios para organização também fazem parte das contribuições deste trabalho para a formação do aluno.

O objetivo inicial, montar um sistema de monitoramento de área próxima remoto e autônomo baseado em SONAR, com exibição instintiva em tempo real a baixo custo foi atingido. No entanto a tecnologia utilizada, principalmente o sensor ultrassônico, limita o uso do sistema. Erros de *foreshortening* em superfícies contínuas não perpendiculares à direção da onda emitida somente podem ser minimizados trocando-se o sensor por um mais preciso, ou mesmo mais de um sensor. A taxa de atualização da leitura da área inteira é grande, cerca de 25s para o teste 1, o que impede seu uso como equipamento de segurança. Algumas leituras espúrias observadas fazem ser necessário levar em consideração a média de algumas voltas em aplicações de tomada de ações e não apenas uma única medida fora da normalidade. Ademais, trocando-se o sistema de sensoriamento e varredura por outros mais rápidos e precisos, o sistema de comunicação, exibição e armazenamento funcionam satisfatoriamente bem, sem maiores considerações.

Caso se queira utilizar o HR para fazer o escaneamento de uma área e enviar os dados a um dispositivo qualquer basta conectá-los à mesma rede e definir as variáveis globais ssid, senha, IPdestino e portaDestino no código apresentado no [Apêndice A](#) conforme necessário, além disso o dispositivo parceiro deve ser programado para receber dados utilizando protocolo UDP. Para utilizar o sistema completo HC e HR é necessário instalar a plataforma *Processing*, se certificar de que a variável global porta no [Apêndice B](#) esteja de acordo com portaDestino no [Apêndice A](#) e executar o programa, por padrão o programa será executado em tela cheia e pressionar qualquer botão o encerrará. Também é possível criar um arquivo executável para outras plataformas através da plataforma *Processing* caso seja desejado.

Este trabalho pode ser utilizado como parte, ou ponto de partida, de trabalhos futuros, como por exemplo, onde seja necessário monitorar e interagir constantemente com uma dada área. O sistema de varredura precisa ser aprimorado para garantir a maior fidelidade possível entre os sentidos de varredura. O sistema de exibição poderia informar as estatísticas das últimas amostras, mas isso é algo que depende da necessidade da aplicação. Extrapolando o nível de dificuldade proposto para esse trabalho seria de grande interesse o desenvolvimento de um sistema de alimentação para a bateria baseado em energias renováveis. Também seria interessante a integração do sistema como ferramenta

de navegação de um veículo autônomo, sem perder a característica de comunicação Wi-Fi de monitoramento remoto, ainda seria possível utilizar a comunicação já estabelecida para enviar comandos ao sistema de navegação.

REFERÊNCIAS

- AC 750 - Wireless Dual Band Router - Archer C20 V1.0. TP-LINK, 2017. Datasheet do modelo do roteador utilizado. Disponível em: <www.static.tp-link.com/resources/document/Archer_C20_V1_Storage_Sharing_Application_Guide.pdf>. Acesso em: 30 may. 2020.
- ANSI/ASA. Ansi/asa s1.1 s3.20 standard acoustical bioacoustical terminology database. EUA, 2013. Disponível em: <<https://asastandards.org/asa-standard-term-database/>>. Acesso em: 25 de sep. de 2020.
- BAHL, P.; PADMANABHAN, V. N. Radar: an in-building rf-based user location and tracking system. In: **Proceedings IEEE INFOCOM 2000. Conference on Computer Communications. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (Cat. No.00CH37064)**. [S.l.: s.n.], 2000. v. 2, p. 775–784 vol.2.
- BARBOSA, R. V. R. **Estudo do Campo Térmico Urbano de São Carlos (SP): Análise da Intensidade da Ilha de Calor Urbano em Episódio Climático de Verão**. 2009. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
- BAÚ da Eletrônica. Baú da Eletrônica, 2020. Micro Servo MG90 Tower-Pro - Engrenagens de Metal. Disponível em: <www.baudaeletronica.com.br/micro-servo-mg90-towerpro-engrenagens-de-metal.html>. Acesso em: 25 may. 2020.
- BOHN, D. A. Environmental effects on the speed of sound. **J. Audio Eng. Soc.**, v. 36, n. 4, p. 223–231, 1988. Disponível em: <<http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=5156>>.
- BRUMITT, B. et al. Easyliving: Technologies for intelligent environments. In: **Proceedings of the 2nd International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing**. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2000. (HUC '00), p. 12–29. ISBN 3540410937.
- DATASHEET LM35. Texas Instruments, 1999. Datasheet do sensor de temperatura. Disponível em: <www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf?ts=1590657619531>. Acesso em: 25 may. 2020.
- EVERETT, H. R. Sensors for mobile robots: theory and application. In: . [S.l.: s.n.], 1995.
- FOXLIN, E.; HARRINGTON, M.; PFEIFER, G. Constellation: A wide-range wireless motion-tracking system for augmented reality and virtual set applications. In: **Proceedings of the 25th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 1998. (SIGGRAPH '98), p. 371–378. ISBN 0897919998. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/280814.280937>>.
- HASHIZUME, H. et al. Fast and accurate positioning technique using ultrasonic phase accordance method. In: **TENCON 2005 - 2005 IEEE Region 10 Conference**. [S.l.: s.n.], 2005. p. 1–6.

HC-SR04 User Guide. MPJA. Guia do usuário. Disponível em: <https://www.mpja.com/download/hc-sr04_ultrasonic_module_user_guidejohn.pdf>. Acesso em: 20 sep. 2020.

HIGHTOWER, J.; BORRIELLO, G. Location systems for ubiquitous computing. **Computer**, IEEE Computer Society Press, Washington, DC, USA, v. 34, n. 8, p. 57–66, aug. 2001. ISSN 0018-9162. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/2.940014>>.

HUSSEY, M. **Basic Physics and Technology of Medical Diagnostic Ultrasound**. 1. ed.. ed. [S.l.]: MACMILLAN PUBLISHERS LTD, 1985. ISBN 978-0-333-36605-9.

MURPHY, R. R. Introduction to ai robotics. In: . [S.l.: s.n.], 2000.

NEDELKOVSKI, D. Arduino radar project. Macedônia, dec. 2015. *Open access*. Disponível em: <<https://howtomechatronics.com/projects/arduino-radar-project/>>. Acesso em: 25 de maio de 2020.

PRODUCT User’s Manual - HC-SR04 Ultrasonic Sensor. Cytron, 2013. Datasheet do sensor ultrassônico. Disponível em: <<https://www.cytron.io/p-hc-sr04-ultrasonic-sensor?src=search.instant>>. Acesso em: 25 may. 2020.

SAVVIDES, A.; HAN, C.-C.; STRIVASTAVA, M. B. Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors. In: **Proceedings of the 7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2001. (MobiCom ’01), p. 166–179. ISBN 1581134223. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/381677.381693>>.

SPRING, S. Basic radar systems. jan. 1998. *Open access*. Disponível em: <<https://fas.org/man/dod-101/navy/docs/es310/radarsys/radarsys.htm>>. Acesso em: 10 de outubro de 2020.

TANENBAUM, A. S.; DAVID, W. **Redes de Computadores**. Tradução de Daniel Vieira. 5. ed.. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. Revisão técnica de Isaías Lima. ISBN 9788576059240. Disponível em: <http://dedalus.usp.br/F/2RE1Y3X7JBC4HYJY9LLMBSAY6HMJPCX9IUEAJTK4BFX85YNFF7-11995?func=full-set-set&set_number=000771&set_entry=000005&format=999>.

WANT, R. et al. The active badge location system. **ACM Trans. Inf. Syst.**, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 10, n. 1, p. 91–102, jan. 1992. ISSN 1046-8188. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/128756.128759>>.

Anexos

ANEXO A – CÓDIGO COMENTADO DO PROGRAMA DO HR

```

/* Créditos:
Este trabalho utiliza partes de terceiros, consultadas e disponíveis em:
1 - https://howtomechatronics.com/projects/arduino-radar-project/
2 - https://github.com/jrowberg/i2cdevlib/blob/master/Arduino/MPU6050/
  examples/MPU6050\_DMP6\_ESPWi-Fi/MPU6050\_DMP6\_ESPWi-Fi.ino
Também foram largamente consultados fóruns das comunidades open source:
https://discourse.processing.org/
https://github.com/
https://stackoverflow.com/
https://www.w3schools.com/
*/

// 1 - Inclusão de bibliotecas:
// 1.1 - Atualizadas automaticamente pela IDE Arduino 1.8.12
#include <ESP8266WiFi.h>      // Para conexão Wi-Fi.
#include <WiFiUdp.h>         // Para utilizar o protocolo UDP.
#include <Servo.h>           // Para controle do servo motor.
// 1.2 - Providas por comunidades open source, último acesso em 18/05/20.
#include <OSCMessages.h>     // https://github.com/CNMAT/OSC
#include <WiFiManager.h>    // https://github.com/tzapu/WiFiManager
// 2 Declaração de variáveis globais:
// 2.1 - Para conexão à rede Wi-Fi.
const char* ssid = "NomeDaRedeAqui";
const char* senha = "SenhaDaRedeAqui1234";
// 2.2 - Para utilizar o protocolo UDP:
WiFiUDP Udp;      // Objeto 'Udp', para utilizar o socket de comunicação.
const char nome[] = "HardwareRemoto";    // Nome do dispositivo.
const IPAddress IPdestino(192, 168, 0, 105); // IP do destino, HC.
const unsigned int portaDestino = 8888;   // Porta do destino, HC.
// 2.3 - Definição dos pinos.
const int trigger = 12;
const int echo = 14;
const int termometro = A0;    // Entrada analógica.
// 2.4 - Definição dos parâmetros de varedura do sonar.
const int anguloInferior = 5; // Ângulo mínimo de orientação.
const int anguloSuperior = 175; // Ângulo máximo de orientação.

```

```
const int largPasso = 1;    // Largura do passo de varredura.
long delayServo = 60;     // Tempo mínimo entre leituras.
// 2.5 - Variáveis de dados.
int duracao;             // Auxiliar para medir o tempo de voo.
int orientacao;         // Ângulo de orientação do motor em graus.
int tempoDeVoo;         // Variável de tempo de voo em micro segundos.
int temperatura;        // Valor informado pelo conversor analógico digital.
Servo meuServo;         // Objeto 'meuServo', para controle do servo motor.

void setup() {
// Conectar à internet e informa IP.
  Serial.begin(115200);
  WiFiManager wifiManager;
  wifiManager.autoConnect(nome);
  Serial.print(F("WiFi conectado! IP: "));
  Serial.println(WiFi.localIP());
// Mapeando pinos de interface.
  pinMode(trigger, OUTPUT); // Pino de trigger como saída.
  pinMode(echo, INPUT);    // Pino de echo como entrada.
  digitalWrite(trigger, LOW); // Reset do sensor ultrassônico.
  meuServo.attach(2);      // Pino de controle do servo motor.
}

void loop() {
// Fazer reboot para reconectar ao Wi-Fi em caso de desconexão.
  if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.println();
    Serial.println("*** Desconectado, rebootando! ***");
    Serial.println();
    ESP.reset();
  }
// Rotaciona o servo motor no sentido positivo.
  for(int i=anguloInferior;i<anguloSuperior;i=i+largPasso){
    meuServo.write(i); // Mover o servo motor para a posição 90+i.
    delay(delayServo); // Delay para estabilizar o movimento.
    orientacao = i; // Armazena a variável de orientação.
    tempoDeVoo = medicao(); // Medir tempo de voo.
    temperatura = analogRead(termometro); // Medir temperatura.
    enviar(orientacao,tempoDeVoo,temperatura); // Enviar ao HC.
  }
}
```

```
    }  
    // Rotaciona o servo motor no sentido negativo.  
    for(int i=anguloSuperior;i>anguloInferior;i=i-largPasso){  
        meuServo.write(i);  
        delay(delayServo);  
        orientacao = i;  
        tempoDeVoo = medicao();  
        temperatura = analogRead(termometro);  
        enviar(orientacao,tempoDeVoo,temperatura);  
    }  
}  
  
int medicao(){  
    // Interfaceamento com sensor ultrassônico.  
    digitalWrite(trigger, HIGH);    // Disparar trigger.  
    delayMicroseconds(10);    // Delay para habilitar o sensor.  
    digitalWrite(trigger, LOW);    // Reset do trigger.  
    duracao = pulseIn(echo, HIGH);    // Medição de tempo ativo no pino.  
    return int(duracao);    // Retorno do valor medido.  
}  
  
void enviar(int x, int y, int z) {  
    // Construção e envio da mensagem.  
    OSCMessage msg("/dado");    // Criar cabeçalho da mensagem.  
    msg.add(x);    // Adição dos dados.  
    msg.add(y);  
    msg.add(z);  
    // Envio da mensagem por protocolo UDP.  
    Udp.beginPacket(IPdestino, portaDestino);    // Endereçamento.  
    msg.send(Udp);    // Envio da mensagem.  
    Udp.endPacket();    // Fim do pacote.  
    msg.empty();    // Reset da mensagem.  
}
```


ANEXO B – CÓDIGO COMENTADO DO APLICATIVO DO HC

```

/* Créditos:
Este trabalho utiliza partes de terceiros, consultadas e disponíveis em:
1 - https://howtomechatronics.com/projects/arduino-radar-project/
2 - https://www.hackster.io/rayburne/tardis-time-esp8266-ap-webserver-gps-6b5d2a
Também foram largamente consultados fóruns das comunidades open source:
https://discourse.processing.org/
https://github.com/
https://stackoverflow.com/
https://www.w3schools.com/
https://processing.org/reference/
*/

// 1 - Importação de bibliotecas:
import hypermedia.net.*;    // Para a comunicação UDP.
import java.nio.ByteBuffer; // Para converção 'bytearray'/'integer'.
// 2 - Declaração de variáveis globais:
// 2.1 - Variáveis de conexão:
int porta = 8888;    // Porta usada para comunicação.
UDP udp;    // Objeto 'udp', para receber os dados.
// 2.2 - Variáveis de dados:
String momentoRecepcao;    // Instante de recepção dos dados.
int orientacao;    // Ângulo de orientação do motor em graus.
byte[] tdv=new byte[4];    // Auxiliar para delimitar os dados.
int tempoDeVoo;    // Variável de tempo de voo em micro segundos.
int temperaturaADC;    // Valor da saída do conversor analógico digital.
float temperatura;    // Valor da temperatura calculado em graus Celsius.
float velocidadeSom;    // Velocidade do som calculada em metros/segundo.
float distancia;    // Distância calculada em centímetros.
// 2.3 - Variáveis para gerar interface gráfica:
String obstaculo;    // Auxiliar para determinar presença próxima.
float distanciaPixels;    // Distância proporcional aos traços em pixels.
float alturaNovaCoord=0.074;    // Limite relativo inferior do sonar.
int fundoDeEscala=5;    // Fator fundo de escala, X, 1=40cm, 2=80cm...
PFont orcFont;    // Objeto 'orcFont', para elementos textuais.
// 2.4 - Variáveis para exportar arquivo .csv:

```

```
Table tabela;    // Objeto 'tabela', para preenchimento interno.
String arquivo;  // Nome do arquivo a ser criado.
int horaAnterior=hour();    // Hora inicial do arquivo gerado.

void setup() {
  fullScreen();    // Ajustar a visualização para tela cheia.
  smooth();    // Filtro anti-aliasing para renderização.
  orcFont=loadFont("OCRAExtended-20.vlw");
  // Carregar a fonte previamente criada para ser utilizada.
  // No menu 'Ferramentas' -> 'Criar Fonte...' -> Crie o arquivo com
  // as configurações desejadas e altere a linha acima.
  udp=new UDP(this,porta); // Ativar conexão UDP.
  udp.listen(true);    // Disponibilizar para receber mensagens.
  tabela=new Table();    // Criar tabela.
  // Adicionar colunas à tabela, as linhas serão os dados recebidos.
  tabela.addColumn("Momento de Recepcao");
  tabela.addColumn("Orientacao");
  tabela.addColumn("Tempo de Voo");
  tabela.addColumn("Temperatura ADC");
  tabela.addColumn("Temperatura Real");
  tabela.addColumn("Velocidade do Som");
  tabela.addColumn("Distancia");
}

void draw() {    // Função cíclica principal.
  fill(98,245,31);    // Cor de preenchimento padrão, RGB.
  textFont(orcFont);    // Selecionar fonte a utilizar.
  noStroke();    // Não exibir contornos das formas gráficas.
  fill(0,4);    // fill(nívelCinza, opacidade), //'nívelCinza' de 0 a 1.
  rect(0,0,width,height*(1-0.065)); // Gerar o retângulo inferior
  // do sonar, onde serão apresentados os dados resumo.
  drawSonar();    // Chamar função geradora dos traços do sonar.
  drawLine();    // Chamar função geradora da linha na direção atual.
  drawObject();    // Chamar função geradora da linha vermelha, invasão.
  drawText();    // Chamar função geradora dos textos apresentados.
}
```

```

void receive(byte[] data) { // Interrupção por recebimento de dados.
    // Armazenar momento de recepção do dado.
    momentoRecepcao=nf(hour(),2,0)+":"+nf(minute(),2,0)+":"+nf(second(),2,0)+":"+nf(millis(),3,0);
    orientacao = Byte.toUnsignedInt(data[19]); // Conversão de dado.
    tdv[0]=data[20]; // O valor do tempo de voo não pode ser
    tdv[1]=data[21]; // armazenado num Byte, é necessário reorganizar
    tdv[2]=data[22]; // os bytes recebidos e converter o dado.
    tdv[3]=data[23];
    tempoDeVoo=ByteBuffer.wrap(tdv).getInt(); // Conversão de dado.
    temperaturaADC=Byte.toUnsignedInt(data[27]); // Conversão de dado.
    // Cálculo dos dados.
    temperatura=temperaturaADC*0.322580645;
    velocidadeSom=331.45*(float)Math.sqrt((temperatura+273.15)/273.15);
    distancia=0.00005*tempoDeVoo*velocidadeSom;
    // Criar novo arquivo a cada trasição de hora do dia.
    if (horaAnterior!=hour()) {
        arquivo="dadosSonarWiFi_"+year()+nf(month(),2,0)+nf(day(),2,0)+"_"+nf(hour(),2,0)+nf(minute(),2,0)+".csv";
        saveTable(tabela, arquivo); // Salvar novo arquivo.
        horaAnterior=hour(); // Redefinir hora de criação da tabela.
        tabela.clearRows(); // Reinicializar tabela, cabeçalho permanece.
    }
    // Salvar dados recebidos na tabela.
    TableRow novaLinha=tabela.addRow();
    novaLinha.setString("Momento de Recepcao", momentoRecepcao);
    novaLinha.setString("Orientacao", str(orientacao));
    novaLinha.setString("Tempo de Voo", str(tempoDeVoo));
    novaLinha.setString("Temperatura ADC", str(temperaturaADC));
    novaLinha.setString("Temperatura Real", str(temperatura));
    novaLinha.setString("Velocidade do Som", str(velocidadeSom));
    novaLinha.setString("Distancia", str(distancia));
}

void drawSonar() { // Função geradora dos traços do sonar.
    pushMatrix(); // Salvar o atual sistema de coordenadas.
    // Transladar eixos de coordenadas, horizontalmente centralizado.

```

```

translate(width/2,height*(1-alturaNovaCoord));
noFill(); // Desabilitar o preenchimento.
strokeWeight(2); // Determinar largura dos traços.
stroke(98,245,31); // Cor utilizada.
// Gerar arcos elípticos concêntricos:
arc(0,0,(width*4*(0.25-0.0074)),(width*4*(0.25-0.0074)),PI,TWO_PI);
arc(0,0,(width*3*(0.25-0.0074)),(width*3*(0.25-0.0074)),PI,TWO_PI);
arc(0,0,(width*2*(0.25-0.0074)),(width*2*(0.25-0.0074)),PI,TWO_PI);
arc(0,0,(width*1*(0.25-0.0074)),(width*1*(0.25-0.0074)),PI,TWO_PI);
// Gerar as retas dos ângulos principais.
line(-width/2,0,width/2,0); // Linha inferior.
line(0,0,(-width/2)*cos(radians(30)),(-width/2)*sin(radians(30)));
line(0,0,(-width/2)*cos(radians(60)),(-width/2)*sin(radians(60)));
line(0,0,(-width/2)*cos(radians(90)),(-width/2)*sin(radians(90)));
line(0,0,(-width/2)*cos(radians(120)),(-width/2)*sin(radians(120)));
line(0,0,(-width/2)*cos(radians(150)),(-width/2)*sin(radians(150)));
popMatrix(); // Retornar ao sistema de coordenadas salvo.
}

```

```

void drawLine() { // Função geradora da linha na direção atual.
  pushMatrix();
  translate(width/2,height*(1-alturaNovaCoord));
  strokeWeight(9);
  stroke(30,250,60);
  // Gerar linha em toda a extensão do sonar.
  line(0,0,(height-height*0.12)*cos(radians(orientacao)),
      -(height-height*0.12)*sin(radians(orientacao)));
  popMatrix();
}

```

```

void drawObject() { // Função geradora da linha vermelha, invasão.
  pushMatrix();
  translate(width/2,height*(1-alturaNovaCoord));
  strokeWeight(11);
  stroke(255,10,10);
  // Ajustar distância calculada para proporção da tela.
  distanciaPixels=distancia*((width*4*(0.25-0.0074))*0.0125/

```

```
        fundoDeEscala);
// Gerar linha vermelha a partir do ponto de invasão, se houver.
if (distancia<1+40*fundoDeEscala) {
    line(distanciaPixels*cos(radians(orientacao)),
        -distanciaPixels*sin(radians(orientacao)),
        (width-width*0.505)*cos(radians(orientacao)),
        -(width-width*0.505)*sin(radians(orientacao)));
}
popMatrix();
}

void drawText() { // Função geradora dos textos apresentados.
    pushMatrix();
    // Indicar se o anteparo foi 'detectado' ou se está 'fora de alcance'.
    if(distancia>1+40*fundoDeEscala) {
        obstaculo="Fora de alcance";
    } else {
        obstaculo="Detectado";
    }
    fill(0,0,0);
    noStroke();
    rect(0,height*(1-0.0648),width,height); // Traçar fundo do radar.
    fill(98,245,31);
    // Indicar marcações dos arcos concêntricos.
    textSize(20); // Configurar tamanho da fonte.
    // Primeira marcação após arco para evitar superposição.
    text(10*fundoDeEscala+"cm",width*160/256,height-height*0.0833);
    text(20*fundoDeEscala+"cm",width*178/256,height-height*0.0833);
    text(30*fundoDeEscala+"cm",width*209/256,height-height*0.0833);
    text(40*fundoDeEscala+"cm",width*240/256,height-height*0.0833);
    // Indicar marcações dos dados.
    textSize(25);
    text("Objeto: "+obstaculo,width*1/50,height-height*0.0277);
    text("Ângulo: "+orientacao+" °",width*15/50,height-height*0.0277);
    text("Temperatura: "+temperatura+" °C",width*23/50,
        height-height*0.0277);
    text("Distância: "+distancia+" cm",width*15/20,height-height*0.0277);
    // Indicar marcações das linhas radiais.
```

```
textSize(25);
fill(98,245,60);
translate((width*(1-0.4994))+width/2*cos(radians(30)),
          (height-height*0.0907)-width/2*sin(radians(30)));
rotate(-radians(-60)); // Rotacionar o sistema de coordenadas.
text("30°",0,0);
resetMatrix();
translate((width-width*0.503)+width/2*cos(radians(60)),
          (height-height*0.0888)-width/2*sin(radians(60)));
rotate(-radians(-30));
text("60°",0,0);
resetMatrix();
translate((width-width*0.507)+width/2*cos(radians(90)),
          (height-height*0.0833)-width/2*sin(radians(90)));
rotate(radians(0));
text("90°",0,0);
resetMatrix();
translate((width-width*0.513)+width/2*cos(radians(120)),
          (height-height*0.07129)-width/2*sin(radians(120)));
rotate(radians(-30));
text("120°",0,0);
resetMatrix();
translate((width-width*0.5104)+width/2*cos(radians(150)),
          (height-height*0.0574)-width/2*sin(radians(150)));
rotate(radians(-60));
text("150°",0,0);
popMatrix();
}

void keyPressed() {
// Salvar tabela e encerrar execução ao pressionar qualquer tecla.
arquivo="dadosSonarWiFi_"+year()+nf(month(),2,0)+nf(day(),2,0)+"_"+
        nf(hour(),2,0)+nf(minute(),2,0)+".csv";
saveTable(tabela,arquivo);
exit();
}
```

ANEXO C – TABELAS COM DADOS DE LEITURA

A seguir as tabelas contendo o resumo do dados colhidos, como uma única tabela por teste seria muito extensa, 170 linhas e 10 colunas, elas foram divididas quanto às colunas: varreduras positivas, varreduras negativas e varreduras completas; e quanto às linhas: de 5 a 34°, de 35 a 74°, de 75 a 114°, de 115 a 154° e de 155 a 175°.

Tabela 4 – Resumo de dados referentes a varreduras positivas do teste 1, de 5 a 34°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
5	2869	89,36	5,89
6	2861	89,25	3,17
7	2870	89,39	2,24
8	2870	89,45	2,03
9	2866	89,44	2,47
10	2870	90,66	53,97
11	2861	89,63	1,91
12	2863	89,71	2,30
13	2874	89,95	1,10
14	2861	90,04	0,63
15	2863	90,11	1,72
16	2859	90,17	1,89
17	2854	90,17	2,99
18	2857	90,43	1,48
19	2864	90,56	1,54
20	2861	90,62	3,30
21	2852	90,78	3,91
22	2854	90,77	3,04
23	2846	93,02	75,67
24	2839	91,45	1,85
25	2849	91,58	3,32
26	2844	92,32	18,58
27	2841	91,87	5,74
28	2847	92,22	4,59
29	2835	92,40	1,40
30	2834	93,01	10,12
31	2835	94,13	53,80
32	2838	93,36	1,59
33	2842	93,72	1,34
34	2833	95,51	54,29

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 5 – Resumo de dados referentes a varreduras positivas do teste 1, de 35 a 74°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
35	2830	96,23	56,38
36	2835	96,03	2,95
37	2832	98,31	55,18
38	2829	98,52	4,06
39	2828	99,79	4,25
40	2818	101,50	4,57
41	2824	102,58	4,69
42	2822	104,55	56,07
43	2824	104,66	5,54
44	2818	105,76	5,35
45	2819	106,32	3,51
46	2817	106,90	2,70
47	2810	107,63	4,68
48	2817	107,83	2,32
49	2814	107,99	1,11
50	2810	108,29	1,44
51	2808	108,54	2,47
52	2807	108,90	1,30
53	2799	109,82	3,34
54	2800	111,67	6,50
55	2806	114,21	6,90
56	2803	118,04	7,80
57	2804	120,80	7,51
58	2801	122,87	7,40
59	2800	125,09	8,04
60	2806	127,09	8,50
61	2803	129,89	11,32
62	2803	136,02	16,92
63	2810	149,89	29,53
64	2805	167,69	39,96
65	2812	182,12	67,49
66	2810	188,77	50,24
67	2805	196,20	58,89
68	2808	207,78	111,30
69	2806	215,33	72,76
70	2802	228,73	91,79
71	2803	235,35	73,19
72	2813	241,80	66,36
73	2812	248,78	76,58
74	2805	247,18	46,01

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 6 – Resumo de dados referentes a varreduras positivas do teste 1, de 75 a 114°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
75	2807	250,89	38,20
76	2806	252,09	32,74
77	2796	252,87	32,06
78	2804	251,58	33,86
79	2814	252,69	62,67
80	2807	250,57	63,39
81	2812	250,98	32,28
82	2808	250,40	63,02
83	2807	248,97	36,69
84	2813	248,38	39,16
85	2812	248,01	43,18
86	2805	250,72	42,83
87	2806	253,07	42,39
88	2803	250,50	47,85
89	2813	252,40	50,39
90	2813	253,37	49,71
91	2811	253,81	71,62
92	2807	249,48	55,85
93	2809	253,29	51,12
94	2805	248,69	54,35
95	2811	250,32	55,27
96	2802	253,06	54,97
97	2809	258,72	52,84
98	2816	254,61	57,14
99	2799	259,70	60,36
100	2803	260,27	82,23
101	2801	263,37	66,58
102	2810	265,67	70,78
103	2813	276,45	72,29
104	2808	290,96	106,28
105	2812	306,75	88,06
106	2810	319,80	99,21
107	2818	327,26	77,15
108	2820	329,22	106,22
109	2822	333,20	127,98
110	2821	341,33	99,55
111	2829	328,71	91,72
112	2827	323,34	108,95
113	2826	319,71	153,36
114	2816	345,15	214,47

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 7 – Resumo de dados referentes a varreduras positivas do teste 1, de 115 a 154°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
115	2825	333,39	164,25
116	2820	345,58	197,04
117	2819	324,06	132,96
118	2832	336,89	197,88
119	2833	319,34	131,49
120	2825	333,31	151,18
121	2835	337,06	158,23
122	2835	318,79	118,11
123	2828	321,81	148,04
124	2832	334,14	182,68
125	2827	336,92	200,33
126	2834	332,74	175,28
127	2831	339,25	124,86
128	2827	322,81	149,75
129	2834	319,51	105,60
130	2836	328,04	107,32
131	2840	319,70	116,71
132	2836	339,95	191,16
133	2837	376,77	214,57
134	2844	395,66	222,43
135	2844	407,60	331,39
136	2838	399,86	342,89
137	2841	376,20	221,95
138	2842	452,11	407,96
139	2848	540,71	458,89
140	2849	545,32	447,35
141	2847	574,30	451,64
142	2852	533,02	462,87
143	2851	639,98	511,54
144	2849	584,63	485,97
145	2846	618,94	533,28
146	2843	651,36	572,27
147	2843	529,90	447,38
148	2849	604,15	594,75
149	2857	481,18	427,54
150	2843	575,08	573,94
151	2844	538,94	550,68
152	2845	459,00	452,63
153	2849	380,25	374,12
154	2849	346,12	355,54

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 8 – Resumo de dados referentes a varreduras positivas do teste 1, de 155 a 175°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
155	2855	352,39	434,84
156	2852	277,42	311,95
157	2847	274,24	329,29
158	2845	237,44	267,28
159	2850	219,26	204,19
160	2846	233,59	281,56
161	2843	227,81	261,11
162	2838	231,75	296,74
163	2836	224,26	277,49
164	2848	236,54	325,62
165	2852	216,56	239,18
166	2854	197,45	158,40
167	2844	204,54	234,79
168	2835	205,66	217,39
169	2841	240,07	343,46
170	2841	231,72	358,02
171	2840	227,37	376,97
172	2844	218,78	362,30
173	2842	205,47	336,32
174	2834	204,28	345,64
175	19	151,51	23,56

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 9 – Resumo de dados referentes a varreduras negativas do teste 1, de 5 a 34°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
5	0	0,00	0,00
6	2860	89,10	3,20
7	2858	89,06	3,25
8	2866	89,14	3,16
9	2860	89,29	6,27
10	2858	89,18	3,51
11	2854	89,48	5,84
12	2848	89,86	2,56
13	2846	90,77	7,22
14	2840	92,15	15,75
15	2832	100,63	47,75
16	2836	99,48	49,87
17	2838	101,06	51,77
18	2834	98,28	54,59
19	2837	94,30	30,76
20	2831	92,29	20,88
21	2833	93,41	55,27
22	2832	91,64	6,94
23	2832	91,77	9,14
24	2840	91,80	6,73
25	2837	91,39	2,40
26	2832	91,67	2,32
27	2830	91,94	2,99
28	2831	92,19	12,61
29	2835	92,93	17,38
30	2824	94,59	22,56
31	2822	96,25	37,52
32	2825	97,66	40,74
33	2826	100,86	67,01
34	2829	103,04	103,67

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 10 – Resumo de dados referentes a varreduras negativas do teste 1, de 35 a 74°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
35	2824	104,00	72,02
36	2818	101,93	59,81
37	2827	103,12	37,44
38	2819	103,91	36,98
39	2817	103,93	24,35
40	2815	105,87	31,94
41	2814	104,96	31,84
42	2808	107,01	25,96
43	2809	107,25	59,17
44	2812	106,86	17,25
45	2817	107,45	15,22
46	2812	107,42	14,15
47	2803	108,72	13,94
48	2801	107,79	14,15
49	2803	108,15	12,40
50	2810	110,46	15,27
51	2803	110,68	17,11
52	2807	111,60	12,79
53	2798	112,43	11,46
54	2799	114,98	12,46
55	2799	118,39	13,45
56	2795	120,56	13,27
57	2796	123,32	11,64
58	2793	125,40	11,49
59	2795	127,16	12,08
60	2801	130,87	14,21
61	2799	136,61	22,20
62	2793	150,40	33,10
63	2810	167,31	38,99
64	2800	179,66	43,87
65	2805	185,95	49,55
66	2796	195,71	93,78
67	2799	205,08	85,69
68	2790	210,73	73,33
69	2796	225,63	92,51
70	2795	236,73	74,02
71	2800	239,32	65,82
72	2800	245,42	58,94
73	2804	250,06	42,91
74	2801	252,76	61,91

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 11 – Resumo de dados referentes a varreduras negativas do teste 1, de 75 a 114°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
75	2792	253,65	28,47
76	2792	254,40	60,03
77	2792	252,55	29,32
78	2786	253,14	28,16
79	2796	254,36	58,79
80	2795	253,62	24,67
81	2793	253,13	25,82
82	2792	252,90	27,69
83	2794	254,47	27,46
84	2790	255,68	30,40
85	2795	256,20	30,68
86	2797	257,70	33,22
87	2803	259,58	36,06
88	2807	260,60	37,70
89	2793	260,22	37,28
90	2803	261,55	39,39
91	2797	260,75	40,15
92	2799	262,02	39,47
93	2808	263,55	40,05
94	2806	264,37	40,93
95	2798	265,09	41,34
96	2799	265,70	42,10
97	2799	268,36	43,93
98	2798	269,87	44,92
99	2798	273,72	47,81
100	2798	279,50	50,67
101	2798	289,61	54,37
102	2802	304,31	55,91
103	2802	318,24	54,08
104	2811	333,99	47,41
105	2812	347,51	35,87
106	2813	353,78	27,13
107	2805	357,10	20,28
108	2803	358,62	16,43
109	2815	361,15	70,19
110	2809	359,78	13,04
111	2812	360,64	8,12
112	2810	362,62	69,07
113	2819	364,70	99,27
114	2816	365,88	110,41

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 12 – Resumo de dados referentes a varreduras negativas do teste 1, de 115 a 154°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
115	2820	367,23	120,89
116	2825	362,82	49,17
117	2817	366,66	110,60
118	2820	365,55	85,84
119	2815	366,00	86,46
120	2823	368,63	113,16
121	2827	372,71	140,23
122	2821	372,75	131,30
123	2823	369,68	86,34
124	2828	370,89	85,76
125	2828	370,06	51,71
126	2820	372,62	85,64
127	2820	374,04	71,65
128	2819	375,79	73,45
129	2819	376,93	73,17
130	2826	379,05	101,79
131	2835	379,91	88,90
132	2834	379,91	71,92
133	2834	380,80	88,25
134	2838	378,51	12,03
135	2835	377,62	55,97
136	2833	374,04	81,23
137	2831	377,53	76,03
138	2826	378,96	92,58
139	2836	377,40	78,49
140	2834	379,15	91,98
141	2825	378,40	75,92
142	2829	374,11	82,19
143	2834	370,43	85,53
144	2846	361,76	103,76
145	2837	352,90	131,20
146	2839	345,47	143,86
147	2845	336,64	170,20
148	2842	338,44	214,08
149	2831	326,11	187,76
150	2843	323,77	250,23
151	2842	305,28	222,66
152	2839	301,32	298,26
153	2840	306,72	390,08
154	2840	342,69	539,43

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 13 – Resumo de dados referentes a varreduras negativas do teste 1, de 155 a 175°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
155	2839	368,49	625,72
156	2837	359,33	625,76
157	2834	319,24	550,39
158	2839	279,40	452,69
159	2845	257,24	392,32
160	2844	241,75	336,68
161	2835	230,87	303,66
162	2838	229,80	310,02
163	2848	211,89	229,82
164	2839	208,74	235,80
165	2838	198,49	196,58
166	2844	188,58	155,87
167	2844	182,48	123,72
168	2838	177,52	113,40
169	2843	171,64	81,93
170	2844	167,08	60,99
171	2840	159,82	25,82
172	2845	154,84	60,24
173	2833	148,12	64,07
174	2831	149,55	90,59
175	2821	186,48	292,37

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 14 – Resumo de dados referentes a varreduras completas do teste 1, de 5 a 34°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
5	2869	89,36	5,89
6	5728	89,17	3,20
7	5728	89,22	2,80
8	5736	89,30	2,66
9	5726	89,36	4,76
10	5728	89,92	38,29
11	5715	89,56	4,34
12	5711	89,78	2,44
13	5720	90,36	5,17
14	5701	91,09	11,18
15	5695	95,34	34,10
16	5695	94,81	35,52
17	5692	95,60	37,02
18	5691	94,34	38,73
19	5701	92,42	21,81
20	5692	91,45	14,94
21	5685	92,09	39,13
22	5686	91,20	5,37
23	5678	92,40	53,96
24	5679	91,62	4,94
25	5686	91,48	2,90
26	5676	92,00	13,26
27	5671	91,90	4,58
28	5678	92,20	9,48
29	5670	92,67	12,33
30	5658	93,80	17,49
31	5657	95,19	46,41
32	5664	95,50	28,87
33	5668	97,28	47,45
34	5662	99,27	82,81

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 15 – Resumo de dados referentes a varreduras completas do teste 1, de 35 a 74°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
35	5654	100,11	64,78
36	5653	98,97	42,38
37	5659	100,71	47,21
38	5648	101,21	26,42
39	5645	101,86	17,58
40	5633	103,68	22,91
41	5638	103,77	22,77
42	5630	105,78	43,74
43	5633	105,96	41,99
44	5630	106,31	12,77
45	5636	106,88	11,05
46	5629	107,16	10,18
47	5613	108,18	10,41
48	5618	107,81	10,13
49	5617	108,07	8,80
50	5620	109,38	10,90
51	5611	109,61	12,26
52	5614	110,25	9,19
53	5597	111,12	8,54
54	5599	113,33	10,08
55	5605	116,30	10,89
56	5598	119,30	10,95
57	5600	122,06	9,87
58	5594	124,13	9,74
59	5595	126,13	10,31
60	5607	128,98	11,86
61	5602	133,25	17,93
62	5596	143,20	27,24
63	5620	158,60	35,66
64	5605	173,67	42,38
65	5617	184,03	59,24
66	5606	192,23	75,25
67	5604	200,64	73,63
68	5598	209,25	94,31
69	5602	220,47	83,36
70	5597	232,72	83,48
71	5603	237,33	69,63
72	5613	243,60	62,79
73	5616	249,42	62,09
74	5606	249,97	54,60

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 16 – Resumo de dados referentes a varreduras completas do teste 1, de 75 a 114°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
75	5599	252,27	33,72
76	5598	253,24	48,33
77	5588	252,71	30,72
78	5590	252,36	31,16
79	5610	253,52	60,77
80	5602	252,09	48,16
81	5605	252,05	29,26
82	5600	251,65	48,73
83	5601	251,72	32,53
84	5603	252,01	35,26
85	5607	252,09	37,69
86	5602	254,20	38,49
87	5609	256,32	39,48
88	5610	255,55	43,36
89	5606	256,30	44,51
90	5616	257,45	45,04
91	5608	257,27	58,19
92	5606	255,74	48,77
93	5617	258,42	46,20
94	5611	256,53	48,74
95	5609	257,69	49,37
96	5601	259,38	49,36
97	5608	263,53	48,83
98	5614	262,21	51,97
99	5597	266,71	54,90
100	5601	269,88	68,98
101	5599	276,48	62,18
102	5612	284,96	66,64
103	5615	297,31	67,18
104	5619	312,48	85,03
105	5624	327,13	70,25
106	5623	336,80	74,66
107	5623	342,14	58,40
108	5623	343,87	77,51
109	5637	347,16	104,18
110	5630	350,54	71,66
111	5641	344,63	67,13
112	5637	342,93	93,35
113	5645	342,18	131,14
114	5632	355,51	170,87

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 17 – Resumo de dados referentes a varreduras completas do teste 1, de 115 a 154°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
115	5645	350,29	145,20
116	5645	354,20	143,79
117	5636	345,35	124,12
118	5652	351,19	153,29
119	5648	342,60	113,76
120	5648	350,96	134,69
121	5662	354,86	150,56
122	5656	345,70	127,74
123	5651	345,72	123,54
124	5660	352,50	143,90
125	5655	353,49	147,21
126	5654	352,63	139,47
127	5651	356,61	103,31
128	5646	349,26	120,92
129	5653	348,14	95,30
130	5662	353,50	107,65
131	5676	349,79	108,02
132	5670	359,92	145,80
133	5671	378,78	164,08
134	5682	387,09	157,81
135	5679	392,63	238,28
136	5671	386,96	249,58
137	5672	376,86	166,00
138	5668	415,64	298,41
139	5684	459,23	339,47
140	5683	462,45	333,81
141	5672	476,73	338,87
142	5681	453,89	342,37
143	5685	505,61	391,18
144	5695	473,25	368,68
145	5683	486,13	410,71
146	5682	498,52	444,49
147	5688	433,23	351,92
148	5691	471,46	466,46
149	5688	404,00	339,63
150	5686	449,43	460,18
151	5686	422,15	435,98
152	5684	380,24	391,37
153	5689	343,54	383,90
154	5689	344,41	456,65

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 18 – Resumo de dados referentes a varreduras completas do teste 1, de 155 a 175°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
155	5694	360,42	538,55
156	5689	318,27	495,67
157	5681	296,69	453,79
158	5684	258,40	372,19
159	5695	238,23	313,21
160	5690	237,67	310,34
161	5678	229,34	283,13
162	5676	230,78	303,42
163	5684	218,06	254,78
164	5687	222,66	284,67
165	5690	207,55	219,13
166	5698	193,02	157,19
167	5688	193,51	187,96
168	5673	191,58	173,90
169	5684	205,84	251,95
170	5685	199,38	258,75
171	5680	193,60	269,29
172	5691	186,79	261,57
173	5677	176,84	243,90
174	5670	176,91	254,06
175	2840	186,25	291,41

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 19 – Resumo de dados referentes a varreduras positivas do teste 2, de 5 a 34°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
5	14292	13,54	0,19
6	14292	13,59	0,14
7	14292	13,58	0,13
8	14291	13,60	0,12
9	14290	13,64	0,07
10	14291	13,65	0,10
11	14291	13,67	0,12
12	14291	13,68	0,15
13	14291	13,68	0,15
14	14291	13,72	0,18
15	14290	13,81	0,22
16	14291	13,93	0,23
17	14291	14,09	0,18
18	14291	14,24	0,22
19	14290	14,42	0,25
20	14289	14,67	0,25
21	14291	14,90	0,27
22	14290	15,17	0,24
23	14291	15,38	0,26
24	14291	15,65	0,31
25	14289	15,98	0,31
26	14291	16,35	0,45
27	14291	16,91	0,99
28	14290	34,22	34,21
29	14289	72,56	42,11
30	14291	102,27	15,35
31	14291	104,07	44,99
32	14291	103,76	52,11
33	14291	103,32	37,69
34	14291	104,52	52,31

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 20 – Resumo de dados referentes a varreduras positivas do teste 2, de 35 a 74°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
35	14290	110,53	130,75
36	14292	114,17	157,26
37	14290	124,36	222,70
38	14291	125,94	231,24
39	14291	123,76	209,41
40	14291	135,42	274,59
41	14290	134,47	263,37
42	14291	144,01	314,68
43	14290	133,71	268,42
44	14289	140,88	300,52
45	14289	134,88	264,43
46	14291	134,07	260,03
47	14290	133,73	258,01
48	14290	131,48	246,66
49	14289	130,11	232,83
50	14291	126,89	196,03
51	14291	132,37	223,76
52	14291	130,93	202,49
53	14290	132,02	203,67
54	14291	130,93	193,16
55	14291	129,76	188,03
56	14289	126,99	181,56
57	14290	121,07	157,51
58	14289	122,26	187,25
59	14289	116,23	154,97
60	14290	113,75	154,27
61	14287	110,83	141,20
62	14290	108,27	127,24
63	14289	105,56	118,19
64	14288	102,89	110,18
65	14288	103,06	127,91
66	14288	100,26	101,72
67	14289	99,11	90,90
68	14289	99,25	107,37
69	14288	98,03	96,74
70	14290	96,38	82,78
71	14291	95,27	72,76
72	14289	93,30	58,15
73	14291	92,27	73,75
74	14291	90,58	52,42

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 21 – Resumo de dados referentes a varreduras positivas do teste 2, de 75 a 114°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
75	14291	91,13	72,86
76	14291	92,08	82,11
77	14291	91,65	70,18
78	14291	91,37	68,36
79	14291	93,10	88,77
80	14291	93,28	57,24
81	14290	94,00	51,19
82	14291	96,39	81,61
83	14291	98,56	92,45
84	14291	97,40	67,54
85	14291	97,58	70,39
86	14290	99,96	112,40
87	14289	97,82	78,45
88	14291	100,95	114,13
89	14291	100,58	112,54
90	14291	98,50	76,43
91	14291	99,60	93,96
92	14291	105,13	151,89
93	14291	108,40	166,39
94	14290	104,66	114,69
95	14291	102,38	71,73
96	14292	103,86	104,62
97	14291	102,35	86,16
98	14289	102,21	77,43
99	14290	102,60	84,36
100	14290	102,05	71,61
101	14290	105,08	101,45
102	14291	105,04	101,55
103	14290	104,84	98,71
104	14291	106,82	109,28
105	14290	106,87	125,73
106	14291	105,56	108,10
107	14290	105,06	109,30
108	14289	106,51	101,21
109	14290	108,31	106,83
110	14290	109,27	118,02
111	14290	111,07	127,53
112	14290	111,31	148,84
113	14289	115,03	176,80
114	14290	113,75	211,82

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 22 – Resumo de dados referentes a varreduras positivas do teste 2, de 115 a 154°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
115	14290	77,49	133,38
116	14289	64,77	128,07
117	14290	57,68	121,94
118	14289	57,16	144,02
119	14290	55,67	148,21
120	14290	56,02	163,17
121	14290	50,48	126,08
122	14290	48,09	123,03
123	14290	47,44	123,05
124	14290	44,62	80,69
125	14290	44,05	80,50
126	14290	44,72	85,18
127	14289	43,74	71,79
128	14290	42,05	56,06
129	14290	41,80	55,73
130	14290	42,37	66,51
131	14290	46,36	109,27
132	14290	52,39	146,55
133	14290	56,01	153,61
134	14290	49,94	75,15
135	14290	48,93	47,21
136	14288	48,23	45,94
137	14289	49,13	38,77
138	14289	53,53	31,38
139	14289	62,71	33,00
140	14288	82,84	29,37
141	14290	85,73	27,22
142	14289	92,22	20,51
143	14290	94,93	18,97
144	14290	93,67	16,69
145	14290	92,12	16,92
146	14290	92,15	16,14
147	14290	90,12	13,60
148	14290	88,70	12,63
149	14289	90,85	13,81
150	14289	89,91	12,10
151	14291	88,30	10,43
152	14291	88,48	10,08
153	14291	88,31	9,74
154	14291	88,00	10,89

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 23 – Resumo de dados referentes a varreduras positivas do teste 2, de 155 a 175°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
155	14291	87,48	11,34
156	14291	87,25	12,48
157	14290	85,63	13,97
158	14291	86,61	14,25
159	14291	86,83	12,62
160	14291	86,77	11,01
161	14291	84,97	8,90
162	14290	84,64	6,15
163	14291	83,99	5,31
164	14291	83,15	5,97
165	14291	81,49	7,65
166	14291	80,04	7,53
167	14290	79,45	7,20
168	14291	79,34	7,62
169	14291	80,44	6,15
170	14291	81,11	5,22
171	14290	81,27	5,43
172	14291	80,96	6,43
173	14291	80,79	6,76
174	14289	80,31	7,19
175	2	83,20	0,50

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 24 – Resumo de dados referentes a varreduras negativas do teste 2, de 5 a 34°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
5	0	0,00	0,00
6	14292	13,58	0,15
7	14292	13,60	0,15
8	14292	13,60	0,16
9	14292	13,65	0,16
10	14292	13,66	0,17
11	14292	13,68	0,20
12	14292	13,74	0,23
13	14292	13,84	0,25
14	14292	13,98	0,26
15	14292	14,14	0,24
16	14291	14,24	0,25
17	14292	14,37	0,27
18	14292	14,58	0,28
19	14292	14,78	0,26
20	14292	15,03	0,25
21	14292	15,24	0,28
22	14292	15,45	0,29
23	14291	15,73	0,35
24	14292	16,09	0,38
25	14291	16,55	1,25
26	14292	17,87	8,59
27	14290	31,70	31,21
28	14292	86,56	33,51
29	14291	99,01	33,17
30	14292	99,02	47,68
31	14293	101,09	86,05
32	14291	104,38	97,47
33	14292	104,52	89,33
34	14292	114,06	191,93

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 25 – Resumo de dados referentes a varreduras negativas do teste 2, de 35 a 74°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
35	14291	121,04	204,51
36	14291	152,13	348,48
37	14291	132,77	249,46
38	14292	134,00	256,99
39	14292	149,21	302,46
40	14291	143,04	286,37
41	14292	136,79	251,50
42	14292	144,02	299,93
43	14291	136,53	252,01
44	14292	137,71	263,30
45	14292	129,55	207,73
46	14292	128,34	208,58
47	14291	122,06	171,52
48	14291	123,89	186,03
49	14291	124,64	170,04
50	14292	131,56	205,76
51	14292	128,30	169,45
52	14291	129,39	178,15
53	14290	130,25	162,85
54	14291	129,03	161,38
55	14292	124,39	165,54
56	14290	122,78	182,00
57	14291	115,47	143,46
58	14292	115,87	163,96
59	14292	113,57	162,69
60	14292	111,48	155,00
61	14291	107,16	132,10
62	14291	103,83	104,62
63	14292	101,94	102,62
64	14292	101,88	108,33
65	14291	102,73	130,32
66	14291	99,40	94,81
67	14292	99,08	97,53
68	14291	98,03	85,96
69	14292	97,89	87,10
70	14291	96,62	77,94
71	14292	95,03	77,67
72	14292	92,61	72,52
73	14292	90,67	57,94
74	14292	91,46	68,59

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 26 – Resumo de dados referentes a varreduras negativas do teste 2, de 75 a 114°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
75	14292	90,65	53,21
76	14292	90,75	64,96
77	14292	90,15	49,44
78	14292	91,16	37,90
79	14292	94,62	74,94
80	14292	94,64	61,88
81	14292	95,59	52,30
82	14292	96,31	36,55
83	14291	97,44	60,21
84	14292	96,76	36,70
85	14292	97,87	61,06
86	14292	99,57	90,87
87	14291	98,74	76,90
88	14291	98,98	82,60
89	14291	99,31	91,24
90	14291	100,14	100,13
91	14292	100,94	88,21
92	14293	103,44	96,17
93	14292	102,54	77,53
94	14291	102,25	74,78
95	14291	102,40	80,65
96	14292	101,52	63,72
97	14292	103,58	100,13
98	14292	102,64	78,09
99	14292	102,94	71,52
100	14291	104,00	101,78
101	14292	103,31	95,35
102	14291	104,08	104,99
103	14291	105,83	127,05
104	14292	103,50	93,19
105	14291	104,99	112,42
106	14290	104,99	98,65
107	14291	108,54	114,57
108	14292	111,45	131,15
109	14292	112,04	126,14
110	14291	111,31	114,09
111	14293	110,33	114,59
112	14292	109,69	102,70
113	14292	102,26	110,60
114	14290	81,50	107,49

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 27 – Resumo de dados referentes a varreduras negativas do teste 2, de 115 a 154°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
115	14290	60,49	126,85
116	14291	51,10	107,31
117	14291	51,07	111,57
118	14288	52,08	126,81
119	14290	55,10	163,77
120	14291	49,95	131,66
121	14292	48,46	134,32
122	14291	42,90	61,23
123	14292	42,60	55,75
124	14292	42,22	55,04
125	14291	41,71	48,32
126	14292	40,29	41,25
127	14291	39,16	46,91
128	14292	39,26	48,71
129	14291	39,10	40,99
130	14292	39,49	16,67
131	14292	45,49	96,31
132	14292	50,63	116,65
133	14292	51,68	107,78
134	14292	50,45	78,72
135	14291	49,39	46,57
136	14291	48,79	28,11
137	14290	49,42	26,59
138	14291	61,49	30,07
139	14290	76,38	28,76
140	14290	88,86	19,98
141	14290	94,89	11,10
142	14291	96,08	7,77
143	14291	95,81	8,34
144	14290	93,71	8,83
145	14291	91,84	8,90
146	14291	91,38	9,95
147	14290	88,99	5,69
148	14289	88,14	4,64
149	14291	87,70	3,81
150	14291	87,45	3,98
151	14290	87,33	3,41
152	14290	87,25	2,88
153	14292	87,43	3,14
154	14290	87,52	3,49

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 28 – Resumo de dados referentes a varreduras negativas do teste 2, de 155 a 175°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
155	14291	87,35	3,98
156	14290	87,42	3,51
157	14290	87,55	3,80
158	14290	86,84	3,31
159	14291	85,99	2,28
160	14290	85,19	2,32
161	14291	84,42	2,62
162	14291	83,73	2,18
163	14291	83,11	2,13
164	14291	82,50	2,27
165	14290	82,04	2,56
166	14290	81,78	1,75
167	14291	81,66	2,18
168	14291	81,53	2,60
169	14291	81,66	2,83
170	14291	81,94	2,50
171	14289	82,22	2,34
172	14291	82,58	2,15
173	14290	82,94	1,22
174	14291	82,65	3,35
175	14289	79,83	8,42

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 29 – Resumo de dados referentes a varreduras completas do teste 2, de 5 a 34°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
5	14292	13,54	0,19
6	28584	13,59	0,15
7	28584	13,59	0,14
8	28583	13,60	0,14
9	28582	13,64	0,12
10	28583	13,66	0,14
11	28583	13,68	0,17
12	28583	13,71	0,19
13	28583	13,76	0,22
14	28583	13,85	0,26
15	28582	13,97	0,28
16	28582	14,08	0,29
17	28583	14,23	0,27
18	28583	14,41	0,30
19	28582	14,60	0,31
20	28581	14,85	0,31
21	28583	15,07	0,33
22	28582	15,31	0,30
23	28582	15,55	0,36
24	28583	15,87	0,41
25	28580	16,27	0,95
26	28583	17,11	6,13
27	28581	24,30	23,29
28	28582	60,39	42,80
29	28580	85,79	40,14
30	28583	100,64	35,45
31	28584	102,58	68,68
32	28582	104,07	78,15
33	28583	103,92	68,56
34	28583	109,29	140,74

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 30 – Resumo de dados referentes a varreduras completas do teste 2, de 35 a 74°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
35	28581	115,78	171,72
36	28583	133,15	271,00
37	28581	128,57	236,49
38	28583	129,97	244,48
39	28583	136,49	260,44
40	28582	139,23	280,56
41	28582	135,63	257,50
42	28583	144,02	307,39
43	28581	135,12	260,34
44	28581	139,29	282,52
45	28581	132,21	237,78
46	28583	131,20	235,73
47	28581	127,89	219,15
48	28581	127,68	218,49
49	28580	127,38	203,88
50	28583	129,22	200,96
51	28583	130,34	198,48
52	28582	130,16	190,71
53	28580	131,13	184,39
54	28582	129,98	177,98
55	28583	127,08	177,16
56	28579	124,88	181,79
57	28581	118,27	150,68
58	28581	119,07	176,02
59	28581	114,90	158,88
60	28582	112,62	154,64
61	28578	108,99	136,73
62	28581	106,05	116,50
63	28581	103,75	110,69
64	28580	102,38	109,26
65	28579	102,90	129,12
66	28579	99,83	98,32
67	28581	99,10	94,27
68	28580	98,64	97,25
69	28580	97,96	92,04
70	28581	96,50	80,40
71	28583	95,15	75,25
72	28581	92,96	65,73
73	28583	91,47	66,32
74	28583	91,02	61,05

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 31 – Resumo de dados referentes a varreduras completas do teste 2, de 75 a 114°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
75	28583	90,89	63,80
76	28583	91,41	74,03
77	28583	90,90	60,70
78	28583	91,26	55,26
79	28583	93,86	82,15
80	28583	93,96	59,61
81	28582	94,79	51,76
82	28583	96,35	63,23
83	28582	98,00	78,02
84	28583	97,08	54,35
85	28583	97,72	65,88
86	28582	99,77	102,20
87	28580	98,28	77,68
88	28582	99,97	99,63
89	28582	99,94	102,45
90	28582	99,32	89,07
91	28583	100,27	91,13
92	28584	104,28	127,12
93	28583	105,47	129,83
94	28581	103,46	96,82
95	28582	102,39	76,32
96	28584	102,69	86,62
97	28583	102,97	93,41
98	28581	102,42	77,76
99	28582	102,77	78,20
100	28581	103,03	88,00
101	28582	104,19	98,45
102	28582	104,56	103,28
103	28581	105,34	113,76
104	28583	105,16	101,57
105	28581	105,93	119,26
106	28581	105,28	103,48
107	28581	106,80	111,98
108	28581	108,98	117,17
109	28582	110,17	116,90
110	28581	110,29	116,08
111	28583	110,70	121,23
112	28582	110,50	127,87
113	28581	108,64	147,60
114	28580	97,62	168,73

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 32 – Resumo de dados referentes a varreduras completas do teste 2, de 115 a 154°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
115	28580	68,99	130,43
116	28580	57,93	118,34
117	28581	54,37	116,92
118	28577	54,62	135,71
119	28580	55,38	156,18
120	28581	52,98	148,28
121	28582	49,47	130,27
122	28581	45,49	97,20
123	28582	45,02	95,55
124	28582	43,42	69,07
125	28581	42,88	66,40
126	28582	42,51	66,96
127	28580	41,45	60,68
128	28582	40,66	52,53
129	28581	40,45	48,93
130	28582	40,93	48,50
131	28582	45,92	102,99
132	28582	51,51	132,45
133	28582	53,84	132,70
134	28582	50,20	76,95
135	28581	49,16	46,89
136	28579	48,51	38,08
137	28579	49,28	33,25
138	28580	57,51	30,99
139	28579	69,54	31,70
140	28578	85,85	25,30
141	28580	90,31	21,28
142	28580	94,15	15,63
143	28581	95,37	14,66
144	28580	93,69	13,35
145	28581	91,98	13,52
146	28581	91,77	13,41
147	28580	89,55	10,44
148	28579	88,42	9,52
149	28580	89,28	10,25
150	28580	88,68	9,09
151	28581	87,81	7,78
152	28581	87,86	7,44
153	28583	87,87	7,25
154	28581	87,76	8,09

Fonte: Coelho, C. M. G.

Tabela 33 – Resumo de dados referentes a varreduras completas do teste 2, de 155 a 175°.

Orientação do motor [°]	Total de amostras	Distância média [cm]	Desvio padrão [cm]
155	28582	87,42	8,50
156	28581	87,33	9,17
157	28580	86,59	10,28
158	28581	86,73	10,35
159	28582	86,41	9,08
160	28581	85,98	7,99
161	28582	84,70	6,57
162	28581	84,18	4,63
163	28582	83,55	4,07
164	28582	82,83	4,53
165	28581	81,77	5,71
166	28581	80,91	5,53
167	28581	80,55	5,43
168	28582	80,43	5,79
169	28582	81,05	4,82
170	28582	81,53	4,11
171	28579	81,75	4,21
172	28582	81,77	4,86
173	28581	81,87	4,97
174	28580	81,48	5,73
175	14291	79,83	8,42

Fonte: Coelho, C. M. G.