

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SANTO ANDRÉ
CURSO DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

MEDIDOR DE DISTÂNCIA POR EFEITO DOPPLER

GABRIEL RODRIGUES DA SILVA

SANTO ANDRÉ

2022

GABRIEL RODRIGUES DA SILVA

MEDIDOR DE DISTÂNCIA POR EFEITO DOPPLER

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial.

Orientador: Prof. Edson Caoru Kitani

Coorientador: Prof. Wesley Torres

SANTO ANDRÉ

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

S586m

Silva, Gabriel Rodrigues da
Medidor de distância por efeito dopper / Gabriel Rodrigues da
Silva. - Santo André, 2022. – 53f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Edson Caoru Kitani

1. Mecatrônica. 2. Projeto. 3. Radar. 4. Tecnologia. 5. Ondas
contínuas. 6. Desenvolvimento. 7. Sensor HB100. 8. Despositivo
eletrônico. 9. Efeito dopper. 10. Deterinação de distância. I.
Medidor de distância por efeito dopper.

629.892

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 14 de dezembro de 2022.

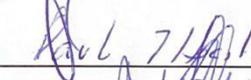
LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA:
“MEDIDOR DE DISTÂNCIA POR EFEITO DOPPLER” DOS
ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

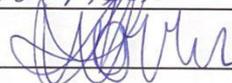
PRESIDENTE:
PROF. EDSON CAORU KITANI



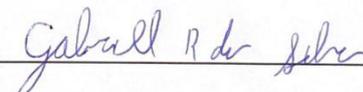
MEMBROS:
PROF. PAULO TETSUO HOASHI



PROF. WESLEY MEDEIROS TORRES


_____**ALUNO:**

GABRIEL RODRIGUES DA SILVA



DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho as minha avós Ivone Rodrigues e Maria da Conceição e aos meus pais Luciano da Silva e Margarete Rodrigues da Silva que sempre me incentivaram a estudar e a buscar conhecimento, se cheguei até aqui é porque vocês me deram todo apoio de que precisei.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado forças para lutar e chegar até aqui, aos meus pais por terem me incentivado e apoiado, a todos os docentes do curso de Mecatrônica Industrial e ao Centro Paula Souza por terem me dado a oportunidade de aprimorar e aplicar os meus conhecimentos.

Agradeço ao meu orientador, Edson Caoru Kitani, pela paciência, orientação e apoio necessário durante a elaboração deste projeto. Ao professor Fernando Garup, meu muito obrigado por me ensinar, ajudar e incentivar a não desistir.

Por último, quero deixar meu agradecimento ao auxiliar docente Mauricio Oliveira, aos meus amigos Nátali Naiane da Silva Cabral, Michel Gomes de Souza, Vitor Borges de Melo e ao Henrique Batista Botelho e Luan Pereira de Araújo pelo auxílio e assistência para construção do projeto.

“Uma Mudança deixa sempre patamares
para uma nova mudança.”

NICOLAU MAQUIAVEL

RESUMO

Este projeto tem como objetivo, mostrar que é possível detectar um objeto parado utilizando um radar de onda contínua, e desenvolver um dispositivo utilizando o sensor HB100, e que seja capaz de medir a distância entre o sensor e o objeto. O sensor HB100 é um módulo radar de onda contínua que funciona por meio do efeito Doppler, e através das ondas eletromagnéticas refletidas por um objeto com esse sensor é possível determinar a velocidade de deslocamento do objeto analisando a frequência da onda refletida.

Palavras-chave: Radar. Onda Contínua. Efeito Doppler. Determinação da Distância.

ABSTRACT

This project aims to show that it is possible to detect a stationary object using a continuous wave radar, and to develop a device using the HB100 sensor, which can measure the distance between the sensor and the object. The HB100 sensor is a continuous wave radar module that works through the Doppler effect, and through the electromagnetic waves reflected by an object with this sensor it is possible to determine the speed of displacement of the object by analyzing the frequency of the reflected wave.

Keywords: Radar. Continuous Wave. Doppler Effect. Distance Determination.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Representação de um radar.....	16
Figura 2: Representação do funcionamento de um radar	17
Figura 3: Representação do funcionamento de um radar de pulso.....	19
Figura 4: Representação do funcionamento de um radar de onda contínua.....	20
Figura 5: Representação do efeito Doppler.....	20
Figura 6: módulo sensor HB100.....	21
Figura 7: Diagrama módulo sensor HB100	21
Figura 8: Sinal do HB100 visto pelo osciloscópio.....	22
Figura 9: Servo MG90S.....	23
Figura 10: Arduino™ Uno.....	25
Figura 11: Ligações físicas do protótipo.....	26
Figura 12: Diagrama do Protótipo 1	27
Figura 13: Montagem em protoboard	27
Figura 14: Montagem física do circuito amplificador	28
Figura 15: Suporte do Servo Motor	29
Figura 16: Suporte do Sensor HB100	29
Figura 17: Monitor serial.....	29
Figura 18: Circuito amplificador melhorado.....	31
Figura 19: Montagem física do circuito amplificador melhorado.....	31
Figura 20: Ambiente de testes.....	32
Figura 21: Teste 1 detecção de objeto	33
Figura 22: Teste 2 detecção de objeto	34
Figura 23: Teste 3 detecção de objeto	35
Figura 24: Teste 4 detecção de objeto	35
Figura 25: Montagem Final.....	38
Figura 26: Protótipo.....	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Comparação entre as medições dos circuitos 1 e 2.....	36
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RADAR	<i>Radio Detection and Ranging</i>
CW	<i>Continuous Wave</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
DC	Corrente Continua
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
PLA	Ácido Poliláctico
Km/h	Quilómetro por Hora
km	Quilómetro
GHz	Gigahertz
μs	Microssegundos
μF	Microfarad
°	Grau
V	Volt
mV	Milivolt
μV	Microvolt
GND	<i>Graduated Neutral Density filter</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Objetivo	14
1.2	Motivação	15
1.3	Conteúdo	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Radares	16
2.2	Origem dos radares	17
2.3	Tipos de Radares	18
2.3.1	Radares pulsado.....	18
2.3.2	Radares de onda contínua	19
2.4	Efeito Doppler	20
2.5	HB100.....	21
2.6	Servo Motor	23
2.7	Arduino™	23
2.7.1	Arduino Uno™	24
3	METODOLOGIA	26
3.1	Construção do circuito amplificador.....	26
3.2	Estruturas de suporte	28
3.3	Teste do HB100.....	29
3.4	Teste do servo motor.....	30
3.5	Modificações na placa	31
3.6	Testes de detecção	32
3.6.1	Com o sensor parado	33
3.6.2	Com o Sensor em movimento	34
4	RESULTADOS	37
4.1	Resultados Esperados.....	37

4.2	Resultados Obtidos	37
4.3	Imagem do protótipo.....	37
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
5.1	Conclusão.....	39
5.2	Propostas Futuras	39
	REFERÊNCIAS	40
	APÊNDICE A – SUPORTE DO SERVO MOTOR.....	42
	APÊNDICE B – SUPORTE DO SENSOR HB100	43
	APÊNDICE C – DIAGRAMA DO PRIMEIRO PROTÓTIPO.....	44
	APÊNDICE D – LISTA DE MATERIAIS DO PRIMEIRO PROTÓTIPO.....	45
	APÊNDICE E – CÓDIGO TESTE DO HB100.....	46
	APÊNDICE F – CÓDIGO TESTE DO SERVO MOTOR.....	48
	APÊNDICE G – DIAGRAMA ELÉTRICO DO SEGUNDO PROTÓTIPO	49
	APÊNDICE H – LISTA DE MATERIAIS DO SEGUNDO PROTÓTIPO	50
	APÊNDICE I – CÓDIGO FINAL.....	51

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia de detecção por radar ao longo dos anos evoluiu consideravelmente até chegar nos tipos de radares que conhecemos atualmente, isso é devido a inúmeras pesquisas e descobertas feitas por diversas mentes brilhantes que através de seus estudos proporcionaram um melhor entendimento dessa tecnologia e suas aplicações. Não muito tempo atrás os radares eram equipamentos de aplicação restrita ao ambiente militar e aeroespacial, mas nos últimos anos houve um aumento considerável do uso de radares em aplicações automotivas e no ambiente civil.

Com os constantes avanços que essa tecnologia sofreu ao longo do tempo foram surgindo diversas possibilidades para sua utilização, ocasionando no surgimento de novos tipos de radares com algumas alterações para atender de forma mais eficiente essas aplicações específicas. Embora os radares possuam uma grande variedade, podemos resumir em dois grandes grupos, sendo eles os radares pulsados e os radares de onda contínua que daremos um foco maior.

Os radares de onda contínua por meio do efeito Doppler conseguem determinar a velocidade e o sentido de direção de um objeto, entretanto atualmente esse tipo de radar não consegue determinar a distância desse objeto. A proposta desse trabalho é conseguir medir a distância de um objeto e determinar a sua posição no espaço utilizando um radar de onda contínua, com isso buscamos expandir as possibilidades de aplicação desse tipo de radar.

1.1 Objetivo

Este trabalho tem como finalidade demonstrar e implementar um radar de onda contínua com a capacidade de determinar a distância e a posição de um objeto utilizando o sensor HB100, acoplá-lo a um servo motor e desenvolver toda a eletrônica necessária para que ele possa realizar a varredura de um ambiente e indicar a distância de um objeto parado.

1.2 Motivação

Dado ao grande interesse das empresas na aplicação da tecnologia de radares no ambiente automotivo, nota-se um grande aumento na procura desse tipo de tecnologia, no desenvolvimento de um carro autônomo, é utilizado inúmeros tipos de sensores para a realização das mais variadas funções, uma delas é a detecção de obstáculos, entretanto esse tipo de sensor possui um custo elevado, uma das ideias desse trabalho é desenvolver uma solução que possa realizar a mesma função com um menor custo. Desta forma, tornando mais acessível aos consumidores, os confortos que essa tecnologia pode oferecer. E para demonstrar esse potencial a ideia original era desenvolver esse radar e acoplá-lo em um carrinho e mostrar seu funcionamento e viabilidade.

1.3 Conteúdo

O presente trabalho encontra-se dividido da seguinte forma:

O Capítulo 1, dará a introdução ao tema e expressara o objetivo deste trabalho.

O Capítulo 2, falará sobre todos os conhecimentos que foram necessários para a elaboração desse projeto.

O Capítulo 3, descreve toda a metodologia utilizada para a construção do projeto.

O Capítulo 4, descreve cada etapa realizada durante todo desenvolvimento.

O Capítulo 5, descreve os resultados obtidos.

O Capítulo 6, expressa as considerações finais, e as propostas futuras para melhorar esse projeto.

No Capítulo 7, contêm todas as referências que foram utilizadas no desenvolvimento desse trabalho. E em seguida o apêndice do projeto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo contém os elementos teóricos mais importantes utilizados na elaboração deste projeto. As pesquisas bibliográficas para a realização deste projeto foram feitas por meio digital utilizando sites, trabalhos acadêmicos, artigos e outros materiais com informação ligada ao tema do projeto.

2.1 Radares

Os radares (exemplificado na Figura 1) são utilizados como meio de detecção e telemetria de objetos distantes, e nada mais são do que um dispositivo transceptor, ou seja, capaz de emitir e receber ondas eletromagnéticas, ondas essas que são transmitidas por uma antena e refletidas por objetos que cruzam o seu caminho, como pode ser observado na Figura 2, esse contato do objeto com a onda eletromagnética provoca uma refração de parte dessas ondas que em decorrência do efeito Doppler são refletidas com uma variação na frequência em direção a antena que as emitiu, a relação existente entre a frequência emitida, a frequência recebida e o tempo decorrido dessa ação é o que permite determinar a direção, distância e a velocidade de um objeto, (WOLFF, Christian, 2021).

Figura 1: Representação de um radar



[Extraído de: www.naval.com.br/blog/2010/12/08/o-laboratorio-de-radar-e-guerra-eletronica-da-escola-naval/]

aproximadamente o ângulo da posição de um navio em um raio de até 3 km, porém era incapaz de indicar sua distância.

Embora a tecnologia de detecção de objetos por ondas de rádio tivessem um enorme potencial, só foram dadas as devidas atenções em meados da segunda guerra mundial, pesquisadores de inúmeros países iniciaram estudos de forma sigilosa e independente para o desenvolvimento de radares, e os primeiros a conseguirem explorar essa tecnologia de forma eficiente como meio de defesa foram os britânicos, que utilizando os radares conseguiam identificar com muita precisão e antecedência a distância e a velocidade dos bombardeiros alemães conseguindo dessa forma tempo para se preparar para os ataques, (WOLFF, Christian, 2021).

2.3 Tipos de Radares

A tecnologia de detecção de objetos por ondas eletromagnéticas evoluiu muito com o passar dos anos e a sua versatilidade permitiu que suas propriedades pudessem ser exploradas com inúmeras finalidades, a evolução dessa tecnologia também provocou avanços nos sistemas de radares sendo não apenas melhorias, mas também no desenvolvimento de inúmeros modelos para atender as mais diversas necessidades indo desde o monitoramento do clima e do espaço aéreo ao monitoramento de estrelas e de outros planetas. Embora possua uma grande variedade é possível agrupar em dois grupos distintos de radares, sendo eles pulsado e de onda contínua. Vale ressaltar que em todos os tipos de radares o controle preciso da medida do tempo é imprescindível, (WOLFF, Christian, 2021).

2.3.1 Radares pulsado

Os radares pulsados também conhecidos como radares de pulso simples foram projetados para detecção de objetos em longas distâncias, esse tipo de radar intercala períodos de transmissão com os de detecção, como pode ser observado na Figura 3, seu funcionamento consiste em durante um curto período de transmissão são emitidos

pulsos eletromagnéticos extremamente energéticos e com alta frequência, o período de transmissão dura algo entre 0.1 a 1 μ s, após esse período o radar entra no modo de silêncio onde é aguardado o retorno das ondas anteriormente enviadas, esse período é chamado de tempo de recebimento e normalmente sua duração é de 1ms. (WOLFF, Christian, 2021).

Figura 3: Representação do funcionamento de um radar de pulso



[Fonte: Autor, 2022.]

2.3.2 Radares de onda contínua

Os radares de onda contínua ou CW (*Continuous Wave*) como o próprio nome indica, funcionam transmitindo ondas eletromagnética de alta frequência de forma contínua, por estarem sempre transmitindo ao contrário dos radares pulsados esse tipo de radar necessita de duas antenas separadas sendo uma para transmissão e outra para recepção, se algum sinal refletido for detectado é um indicativo preliminar da existência de um objeto refletor se movimentando da direção de propagação das ondas do radar, entretanto o tamanho, a geometria e o material do objeto interferem na força do sinal refletido. Os radares CW funcionam por meio do efeito Doppler e detectam a variação da frequência do sinal refletido, como pode ser observado na Figura 4, essa característica permite medir a velocidade de movimento de um objeto e distinguir facilmente se o objeto está parado ou em movimento, entretanto um radar CW não consegue diferenciar mais de um objeto refletor e caso o objeto se movimente de forma tangencial em relação ao radar parado, não haverá variação da frequência portanto não será detectado, (WOLFF, Christian, 2021).

Figura 4: Representação do funcionamento de um radar de onda contínua

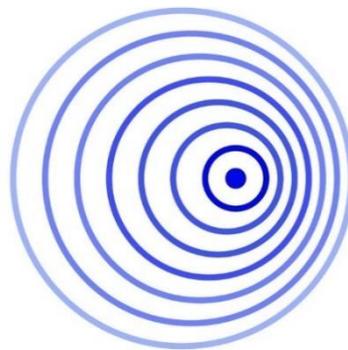


[Fonte: Autor, 2022.]

2.4 Efeito Doppler

É um fenômeno físico que pode ser observado em qualquer tipo de onda seja ela de natureza mecânica ou eletromagnética, foi descoberto no ano de 1842 pelo físico austríaco Christian Johann Doppler.

Figura 5: Representação do efeito Doppler



[Extraído de: www.todoestudo.com.br/fisica/efeito-doppler]

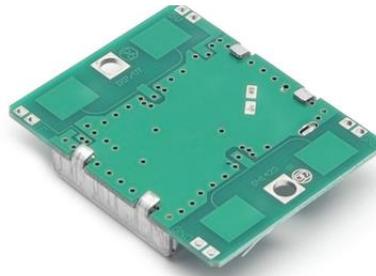
O efeito Doppler provoca uma variação no comprimento de onda captada por um receptor, sem alterar a velocidade percebida pelo mesmo; isso ocorre quando há um movimento relativo de aproximação ou distanciamento entre um emissor e um receptor, provocando uma percepção distorcida da frequência da onda originalmente emitida, como pode-se observar na Figura 5.

A velocidade de propagação de uma onda é única e exclusivamente dependente do meio de propagação, ou seja, a velocidade de movimento de um emissor em relação ao receptor ou vice-versa não influenciará na velocidade de propagação da onda, (HELERBROCK, Rafael, 2021).

2.5 HB100

O módulo sensor HB100, como mostra a Figura 6, é um radar CW de baixo custo, que opera na Banda-X com frequência de 10.525 GHz, é um radar Doppler monoestático e que possui um oscilador ressonador dielétrico (DRO), (ST ELECTRONICS, [2008]).

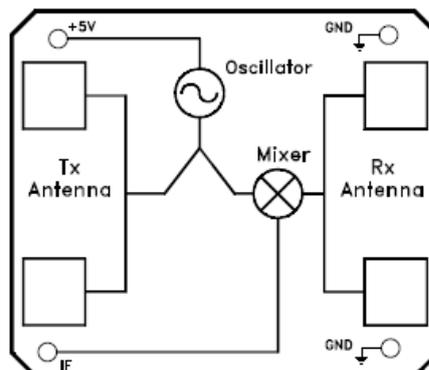
Figura 6: módulo sensor HB100



[Extraído de: nettigo.eu/products/hb100-microwave-motion-sensor-module]

Esse modulo possui um alcance de 20 metros de distância, foi projetado com a finalidade de possibilitar a detecção de movimento de pessoas ou objetos dentro de um ambiente utilizando como base no funcionamento do efeito Doppler. Como pode ser observado na figura 7, o modulo radar funciona da seguinte forma, ao alimentar o sensor HB100 com 5V, o “Oscillator” produzira uma frequência de 10,525GHz, essa frequência será emitida pela “Tx Antenna”, e se houver reflexão das ondas, a “Rx Antenna” recebera uma frequência na ordem de gigahertz (GHz) com uma certa variação. Ao passar as duas frequências pelo “Mixer” será obtido uma resultante com a diferença entre as duas frequências, que passara por um filtro passa baixa e o sinal resultante sairá pelo pino “If”.

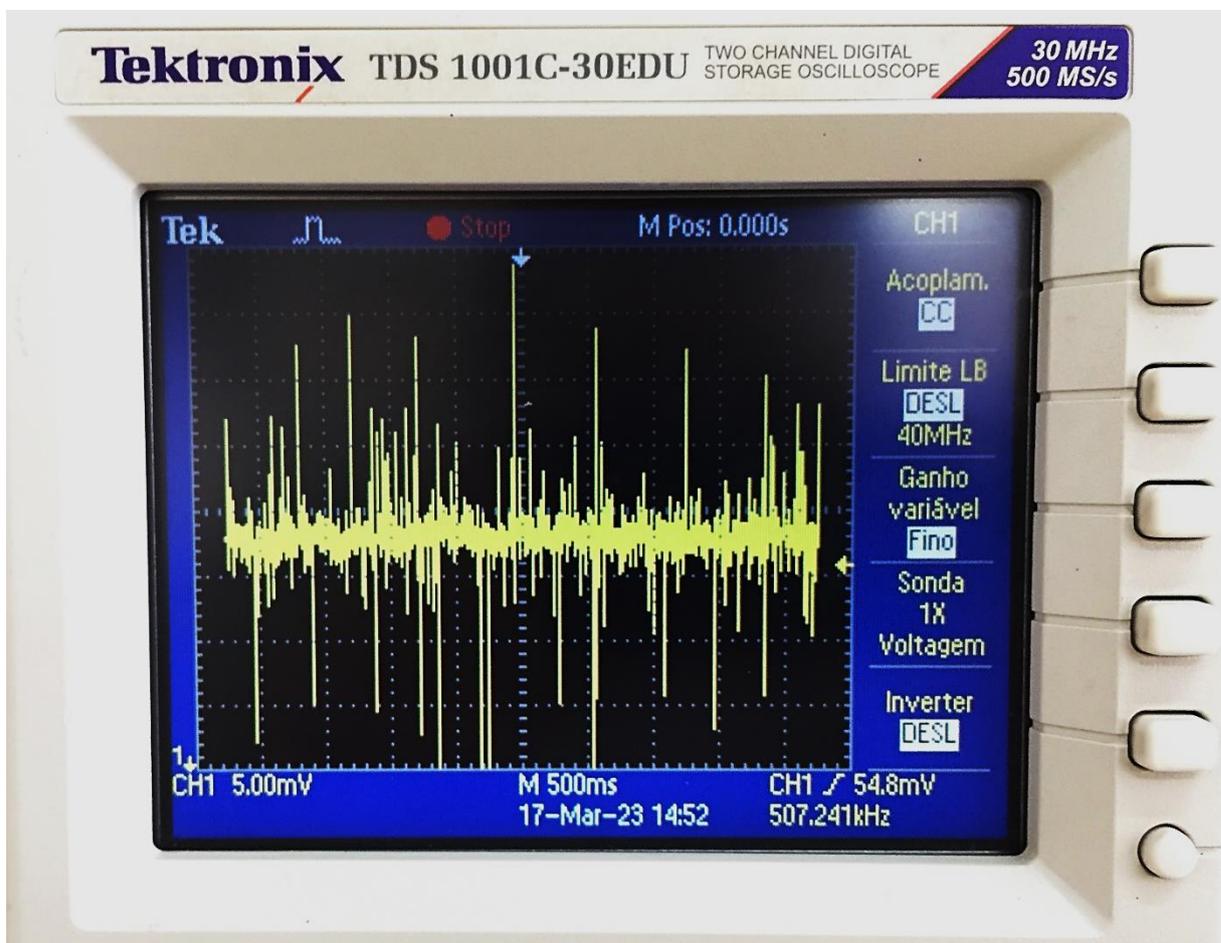
Figura 7: Diagrama módulo sensor HB100



[Extraído de: limpkin.fr/public/HB100/HB100_Microwave_Sensor_Application_Note.pdf]

O sinal de saída resultante pode ser analisado através do osciloscópio, como é demonstrado na Figura 8, o sinal de saída do sensor possui tensão na faixa de milivolt (mV) e possui frequência em kilohertz (kHz). Entretanto sua implementação com o Arduino™ Uno é um pouco complicada, pois o valor da saída do modulo sensor é muito baixo para se trabalhar com o Arduino™ Uno, impossibilitando a leitura do sinal de saída do modulo sensor, fazendo necessário a utilização de um circuito amplificador de baixa frequência de alto ganho conectado ao sensor para possibilitar a utilização e a leitura do sinal de saída, (ST ELECTRONICS, [2008]).

Figura 8: Sinal do HB100 visto pelo osciloscópio



[Fonte: Autor, 2023.]

2.6 Servo Motor

O servo motor é um atuador rotativo que ao contrário dos motores DC (Corrente Direta) convencionais permite o controle da velocidade e do posicionamento, pois em seu interior possui um motor elétrico DC conectado a uma caixa de redução, também ligada a um encoder que por sua vez está ligado a um circuito de malha fechada realizando o controle do servo motor, (GRACHTEN, Eduardo, [2022]).

Para a realização do projeto foi escolhido o servo motor do modelo MG90S *TowerPro* 180°, representado na Figura 9, pois possui engrenagens de metal com maior resistência, precisão e confiabilidade, mais que os servos da série SG90, (TOWER PRO, 2022).

Figura 9: Servo MG90S



[Extraído de: www.makernow.com.br/servo-motor-mg90s/]

2.7 Arduino™

O Arduino é uma placa versátil que possui tanto o *hardware* quanto o *software* com o código aberto, desenvolvido com o intuito de facilitar o desenvolvimento de prototipagem eletrônica. Desde que foi lançado em 2005, até os dias atuais foram criados e lançados diversos modelos da placa Arduino, como por exemplo o Arduino™ Nano em 2008 e o Arduino™ Uno em 2010, entre outros, cada modelo possui suas particularidades, mas em geral, toda placa Arduino possui um microcontrolador de 8-bit da Família Atmel AVR, uma interface serial, pinos digitais e pinos analógicos, (THOMSEN, Adilson, 2022).

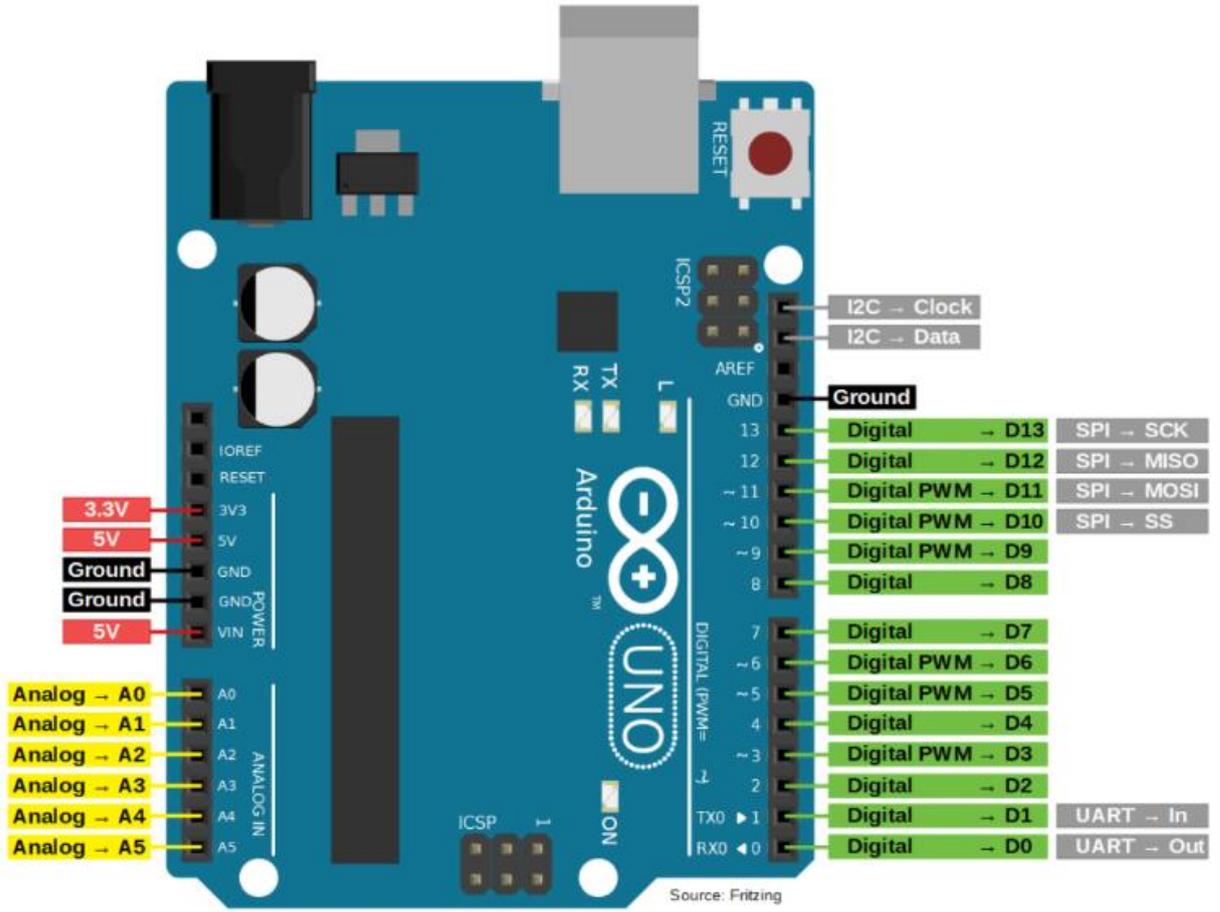
A programação do Arduino™ é realizada através do *software* de código aberto Arduino IDE (*Integrated Development Environment*), essa ferramenta fornece uma camada de abstração e utiliza uma linguagem de programação derivada da linguagem C/C++, e foi desenvolvida com o propósito de facilitar a programação do microcontrolador de todos os modelos de placa Arduino™, (STRAUB, Matheus Gebert).

2.7.1 Arduino Uno™

O Arduino™ Uno, representado na Figura 10, possui o microcontrolador ATmega328P, 6 portas analógicas e 14 portas digitais I/O (*Input/Output*) onde 6 dessas portas possuem o recurso de PWM (*Pulse Width Modulation*), (DIAS, Mateus, 2022).

Para realizar o controle do servo motor e a leitura dos dados do sensor HB100, foi escolhido o Arduino™ Uno por ser um modelo que particularmente possui mais familiaridade. Na implementação do projeto não será necessário ligar muitos componentes eletrônicos a placa, tornando-o uma opção viável.

Figura 10: Arduino™ Uno



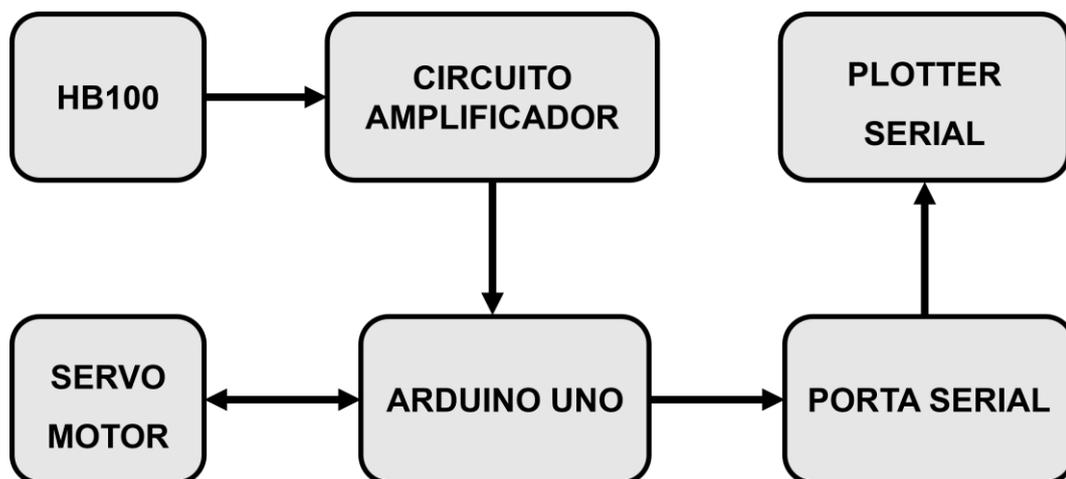
[Extraído de: lobodarobotica.com/blog/arduino-uno-pinout/]

3 METODOLOGIA

Para a elaboração desse protótipo o sensor HB100 foi conectado a entrada do amplificador, o Arduino™ será responsável por receber a leitura da saída do amplificador e realizará o controle do servo motor que está acoplado ao sensor HB100, as informações serão enviadas do Arduino para o computador através da porta serial e serão exibidas na forma de gráfico através do Plotter Serial.

Para mostrar as ligações físicas do protótipo foi elaborado um diagrama de blocos, demonstrado na Figura 11.

Figura 11: Ligações físicas do protótipo



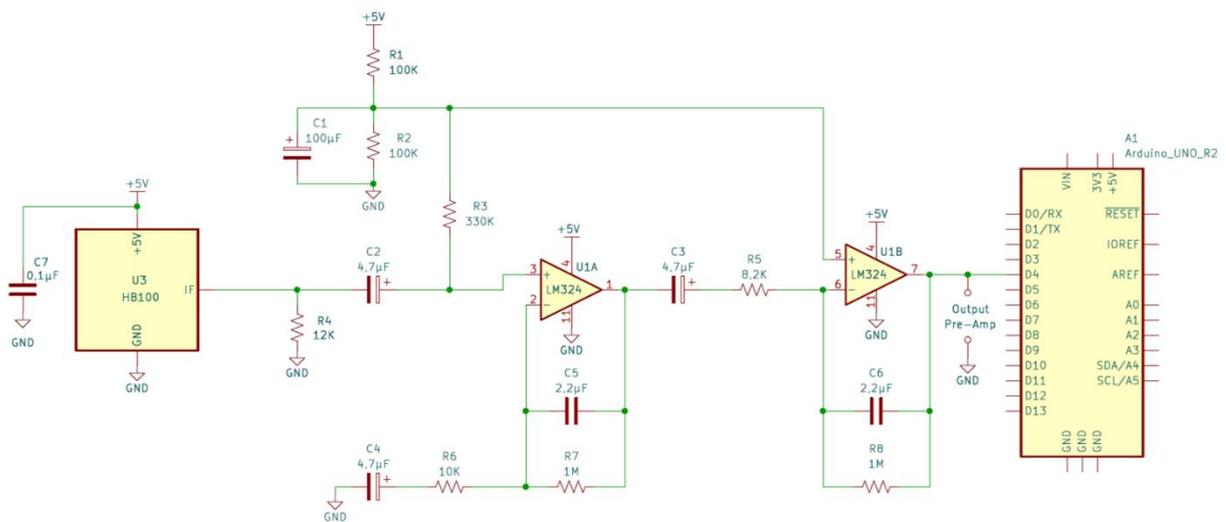
[Fonte: Autor, 2022.]

3.1 Construção do circuito amplificador

Como abordado anteriormente o sinal de saída do sensor HB100 é muito baixo para se trabalhar com o Arduino™, para que os testes se iniciassem, primeiro foi necessário a construção de um placa eletrônica para amplificar o sinal de saída. Para montar a placa, foi utilizado o diagrama eletrônico disponibilizado pelo próprio fabricante nas notas de utilização do sensor e que pode ser observado na Figura 12, (ST ELECTRONICS, [2008]), o diagrama da placa e a lista de materiais podem ser observados com mais detalhes nos Apêndices C e D.

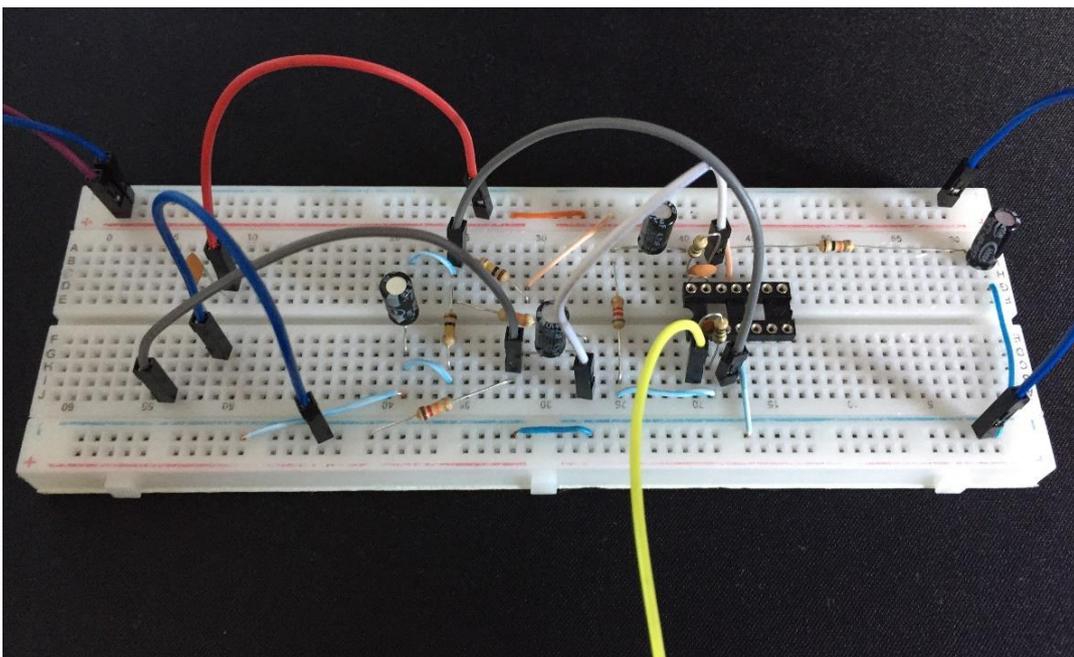
Antes de montar a placa em circuito impresso, foi montado uma versão no protoboard, mostrada na Figura 13, com o objetivo de saber se o amplificador e o sensor estavam funcionando corretamente, entretanto como o circuito amplificador é muito sensível, fez com que a combinação de ruído com mal contato atrapalhassem o seu funcionamento, produzindo dados inconsistentes.

Figura 12: Diagrama do Protótipo 1



[Fonte: Autor, 2022.]

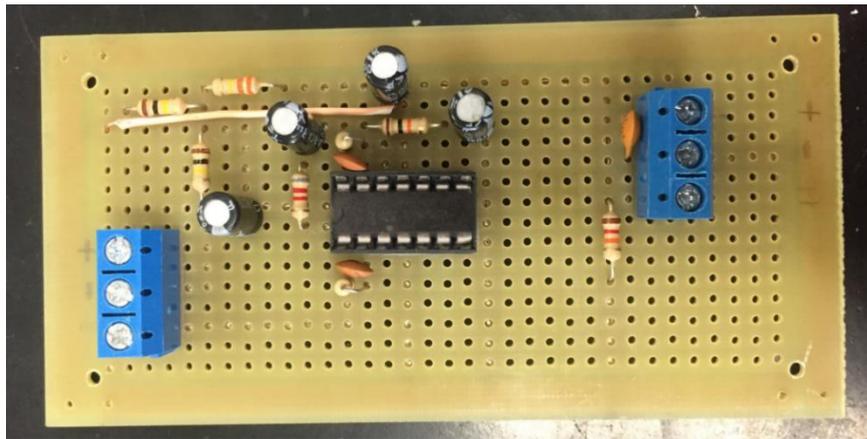
Figura 13: Montagem em protoboard



[Fonte: Autor, 2022.]

Após entender que o problema estava na montagem no protoboard, iniciou-se a montagem da placa em um circuito impresso, que pode ser vista na Figura 14, um ponto importante a ser mencionado, é a necessidade da utilização de bornes que facilitam a troca de cabos entre as ligações do sensor com a placa e da placa com o Arduino™, e dão mais agilidade no processo.

Figura 14: Montagem física do circuito amplificador



[Fonte: Autor, 2022.]

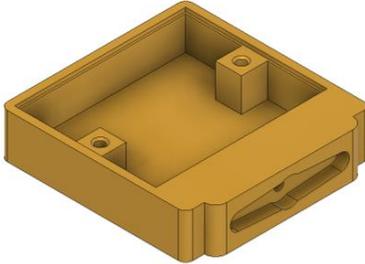
3.2 Estruturas de suporte

Durante a realização dos primeiros experimentos foi notado uma necessidade de desenvolver estruturas que servissem como suporte tanto para o servo motor quanto para o sensor HB100. Para solucionar esse problema foram desenvolvidas duas peças utilizando o *Autodesk Fusion 360*, conforme mostrado nas Figuras 15 e 16 respectivamente, as peças foram projetadas para atuarem em conjunto de forma complementar, uma servindo como suporte e base para o servo motor, e a outra servindo como proteção, acoplamento com o eixo do servo motor e suporte para o sensor HB100.

Após a conclusão da modelagem das peças, o desenho técnico de ambas podem ser vistos nos Apêndices A e B , foi utilizado o *Ultimaker Cura* para realizar o fatiamento e gerar do código G, possibilitando a impressão das peças em uma impressora 3D, como elas não sofrerão grandes esforços o material escolhido para impressão foi o PLA, sigla para Ácido Poliáctico, que é um tipo de plástico

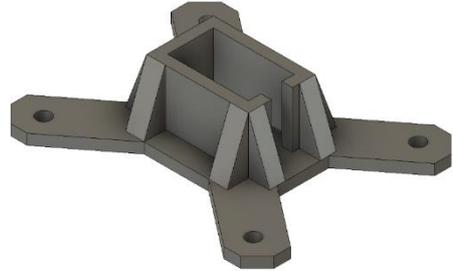
biodegradável a base de plantas, e tem um baixo custo, permitindo uma fácil impressão e possibilitando um melhor acabamento, (3DLAB, [2022]).

Figura 16: Suporte do Sensor HB100



[Fonte: Autor, 2022.]

Figura 15: Suporte do Servo Motor



[Fonte: Autor, 2022.]

3.3 Teste do HB100

Após a montagem da placa com êxito, iniciou-se os testes para saber se o sensor funcionava corretamente. O primeiro teste a ser realizado consistia em utilizar o sensor HB100 para medir velocidade em Km/h, a saída do amplificador estava conectada à uma entrada digital do Arduino, foi utilizado um código aberto disponibilizado na internet, (LIMPKIN, 2021).

O teste do sensor consistia basicamente em movimentar um objeto na frente do sensor e observar os valores de resposta no monitor serial, os dados do teste podem ser observados na Figura 17.

Figura 17: Monitor serial



[Fonte: Autor, 2022.]

O teste mostrou que o sensor e a placa estavam funcionando e o Arduino conseguia interpretar os dados do sensor, entretanto existiam muitos ruídos sendo captados e acabavam gerando leituras falsas, para solucionar esse problema, foi sugerido pelo orientador que os cabos que conectavam a saída do amplificador e o neutro fossem trançados, ao entrelaçar os cabos de sinal junto ao cabo neutro provoca um efeito em que as interferências eletromagnéticas são canceladas, essa medida atenuou grande parte do ruído, mas ainda assim uma pequena parte continuou interferindo nas leituras.

3.4 Teste do servo motor

Nas primeiras tentativas de fazer com que o sensor se movesse variando o seu ângulo, foi utilizando um motor de passo, ele se mostrou muito eficiente pois era possível controlar a velocidade de avanço e o movimento era suave sem muita vibração, entretanto assim que a alimentação da placa era desligada o motor de passo perdia a referência, fazendo-se necessário ajustar manualmente a posição do sensor sempre que o protótipo fosse ligado.

Para resolver esse problema foi levantado duas possibilidades, colocar um encoder ou trocar para um servo motor com realimentação de posição, por questão de custo e facilidade de implementação foi escolhido trocar para o servo motor.

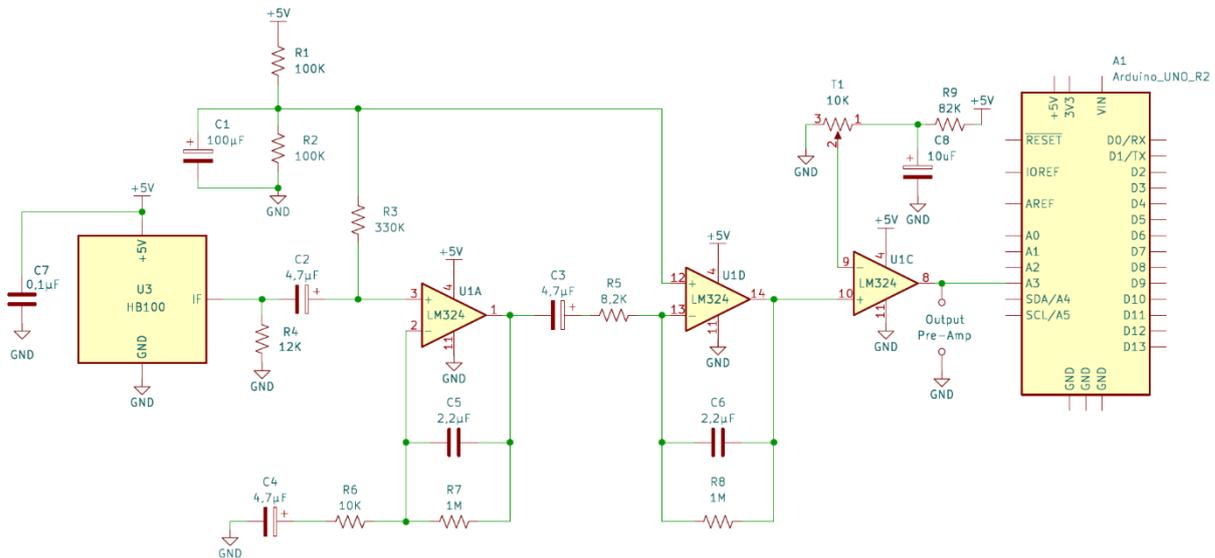
Após os primeiros testes com o sensor HB100 e a substituição do motor de passo pelo servo motor, deu início aos testes para sua implementação, utilizando como base os exemplos da biblioteca servo.h, o código escrito pode ser encontrado no Apêndice F.

O código tem uma lógica simples consistindo em variar o ângulo um grau por vez do menor ângulo até o maior ângulo estabelecido, quando atingir o máximo ele inverte reduzindo o ângulo um grau por vez até chegar no menor e repete-se o ciclo. A implementação do servo motor foi mais fácil, porém gera muito ruído, há muita trepidação, mas é possível utilizá-lo para fazer os demais testes.

3.5 Modificações na placa

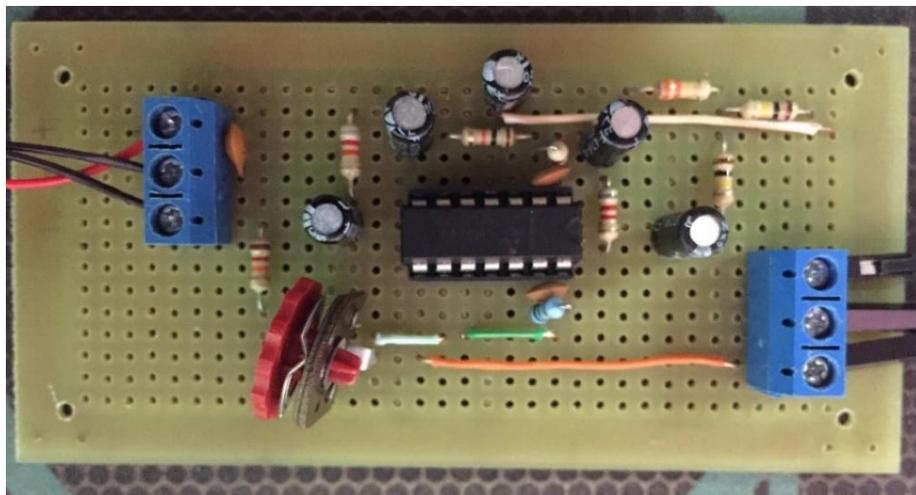
Após analisar os dados e conversar com o orientador, foi sugerido modificar a placa de forma que o sinal fosse amplificado e filtrado mais uma vez, o diagrama pode ser observado na Figura 18 e a montagem física pode ser observada na Figura 19. O segundo diagrama e a lista de materiais podem ser encontrados nos Apêndices G e H. Essas modificações melhoraram a qualidade e consistência do sinal de saída tornando mais fácil de analisar com o Arduino, porém o alcance efetivo do sensor diminuiu drasticamente para 150 centímetros.

Figura 18: Circuito amplificador melhorado



[Fonte: Autor, 2022.]

Figura 19: Montagem física do circuito amplificador melhorado

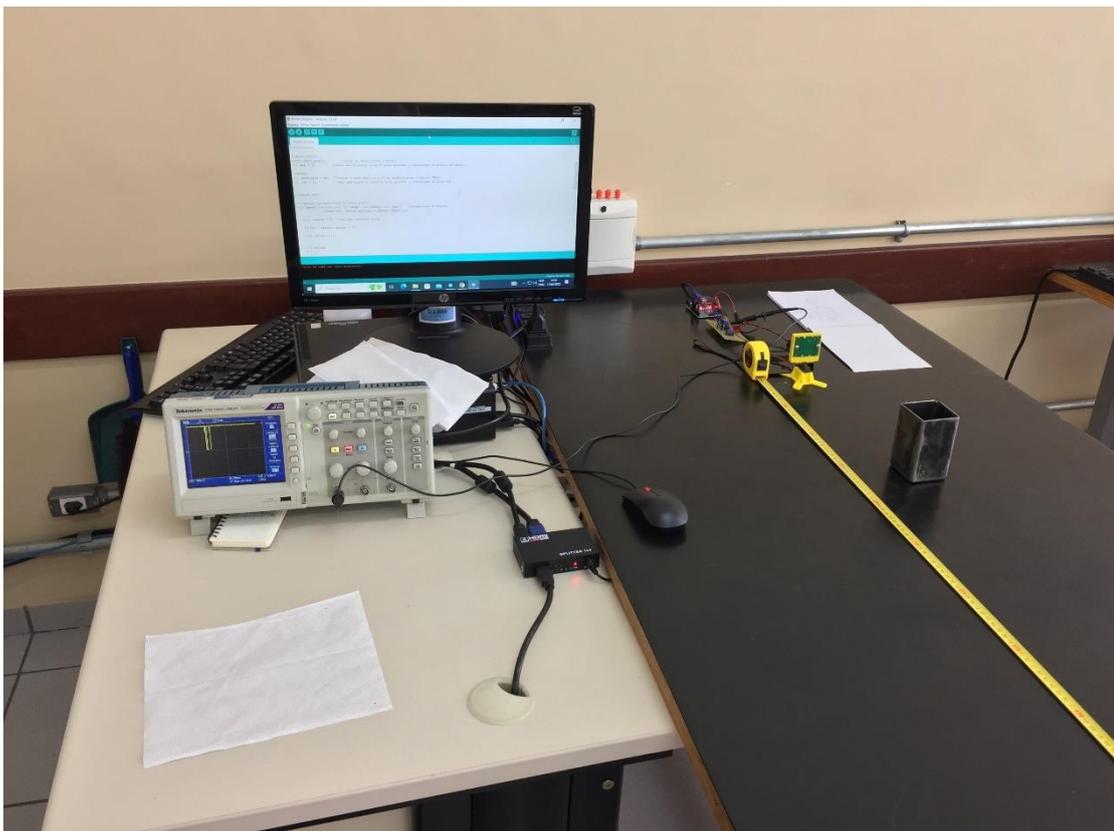


[Fonte: Autor, 2022.]

3.6 Testes de detecção

Nessa etapa após a alteração da placa, foram realizados novos experimentos com o objetivo de encontrar alguma relação entre o sinal de saída, e a distância entre o objeto e o sensor, o ambiente onde foram realizados os experimentos pode ser observado na Figura 20. As experiências foram realizadas de duas maneiras, a primeira com o sensor parado e o objeto se movimentando, e a segunda com o sensor em movimento e o objeto parado, na realização dos experimentos foi utilizado o código que pode ser encontrado no Apêndice I.

Figura 20: Ambiente de testes



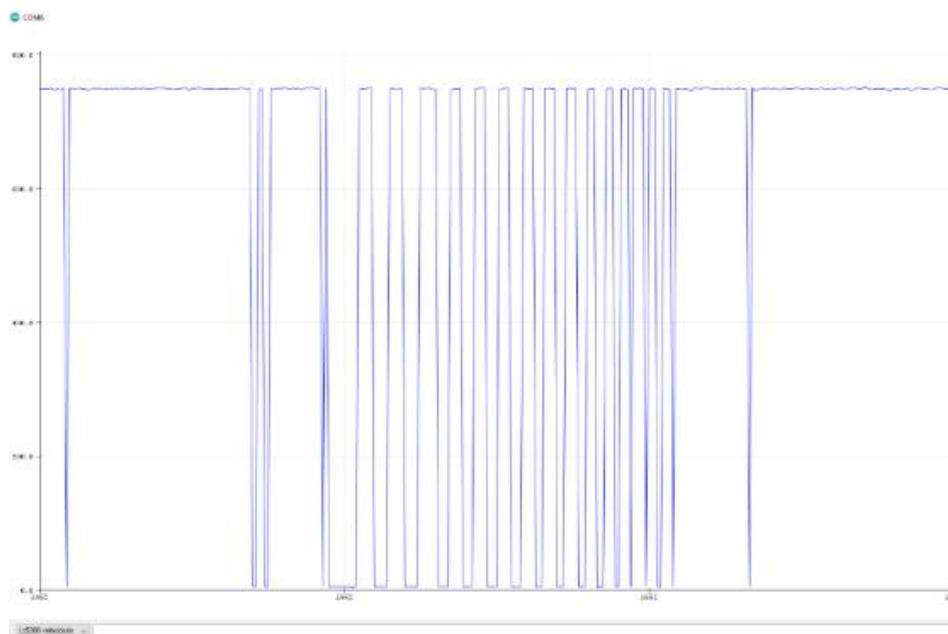
[Fonte: Autor, 2023.]

3.6.1 Com o sensor parado

Esse experimento consistia em detectar a aproximação de um objeto com o sensor parado, e observar a variação dos valores na saída em função da distância entre o objeto e o sensor. Para realizar o teste, o servo motor foi desligado, a saída do amplificador foi conectada a entrada analógica A3 do Arduino, e os dados foram analisados através do plotter serial.

Movimentando um objeto com a velocidade constante em frente ao sensor, é possível observar a variação do período em função da distância, entretanto, se a velocidade não for constante essa relação desaparece, esses dois acontecimentos podem ser observados na Figura 21.

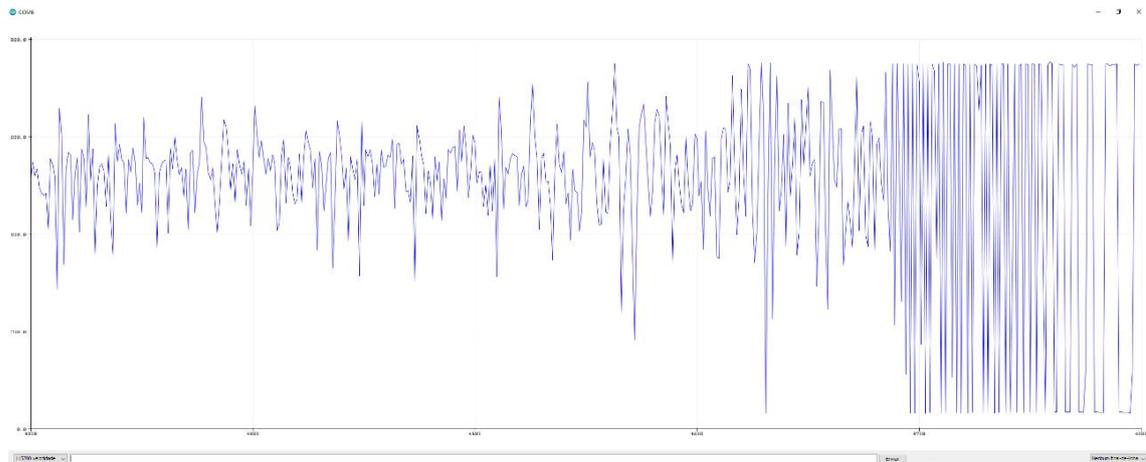
Figura 21: Teste 1 detecção de objeto



[Fonte: Autor, 2022.]

Com a aproximação do objeto em direção ao sensor, é possível notar que quanto mais próximo mais o período diminui, entretanto, com a diminuição da velocidade perto do sensor o período volta a subir. Esse mesmo teste foi realizado com a placa anterior, e os dados obtido mostram essa relação de forma mais nítida, como mostra a Figura 22, embora possua muito mais ruído, é perceptível a variação não só do período, mas também da amplitude do sinal de saída.

Figura 22: Teste 2 detecção de objeto



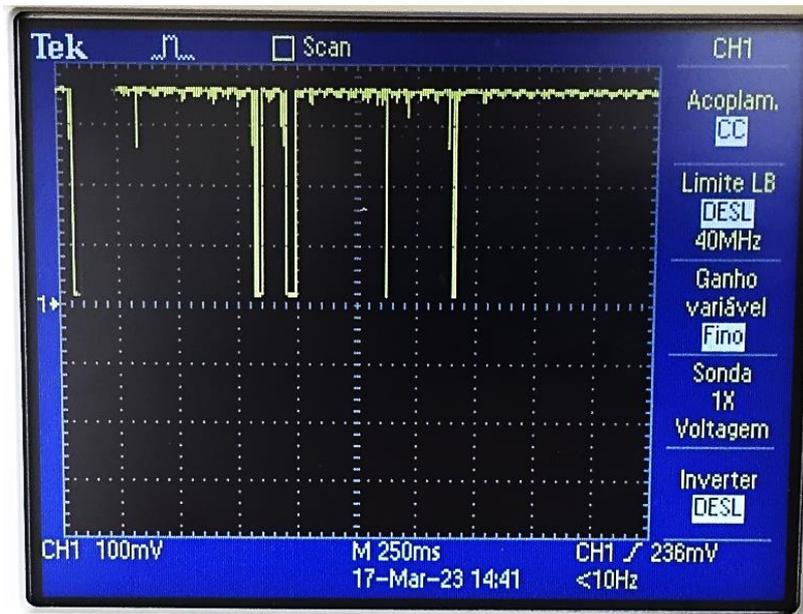
[Fonte: Autor, 2022.]

3.6.2 Com o Sensor em movimento

Esse experimento consistia em detectar um objeto parado apenas com a movimentação do sensor, e observar se ocorre a detecção do objeto, para melhor visualização do sinal do sensor durante os testes foi utilizado um osciloscópio por possuir uma confiabilidade maior que o monitor serial do Arduino e fornecer informações mais detalhadas, como mostra a Figura 23.

Para realizar os testes o servo motor foi ligado ao Arduino, a saída do amplificador foi mantida conectada a entrada analógica A3, e os dados serão analisados através do plotter serial e de um osciloscópio que é conectado diretamente a saída do amplificador. Para realizar os testes, primeiro foi preparado o ambiente de testes, que pode ser visto na Figura 20, onde utilizando uma trena de 3m foi demarcado a distância do sensor até o pondo onde era perdido o alcance efetivo de detecção do sensor, que era de aproximadamente 1,5m, assim que o programa foi iniciado, é colocado próximo ao sensor um objeto metálico, conforme o servo motor variava a posição do sensor, sempre que apontava na direção do objeto, era visível a alteração do gráfico no plotter serial e no osciloscópio, esse teste foi repetido inúmeras vezes alterando a distância entre o sensor e o objeto e mantendo a velocidade de rotação do servo motor em (20ms/paço).

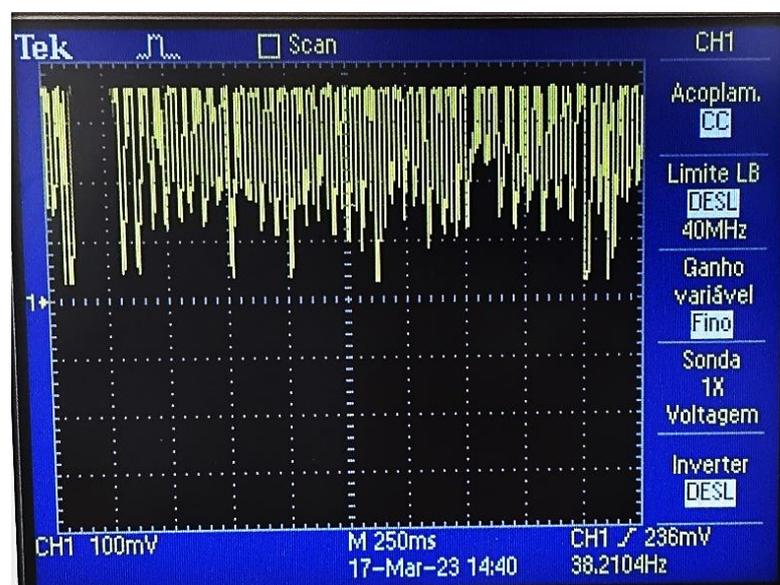
Figura 23: Teste 3 detecção de objeto



[Fonte: Autor, 2022.]

Esse mesmo teste foi realizado com a placa anterior, e os dados obtidos mostram apenas um aumento no ruído, como mostra a Figura 24, só ocorria uma detecção com a movimentação do objeto. Esse aumento do ruído é causado em parte pela interferência gerada pelo campo magnético do servo motor. Durante a realização dos testes, foram anotados os valores de cada medida e esses valores podem ser conferidos no Quadro 1.

Figura 24: Teste 4 detecção de objeto



[Fonte: Autor, 2022.]

Quadro 1: Comparação entre as medições dos circuitos 1 e 2

Testes						
Circuito 1	Distancia (cm)	10	25	50	100	150
	Freq. (Hz)	51,76	68,49	75,76	67,93	54,23
	Período (ms)	19,32	14,6	13,2	14,72	18,44
	Lag. Pos (ms)	15,32	10,88	10,04	8,912	13,16
Circuito 2	Distancia (cm)	10	25	50	100	150
	Freq. (Hz)	62,42	77,7	131,8	231,3	0
	Período (ms)	16,02	12,87	7,586	4,323	0
	Lag. Pos (ms)	0,499	10,9	4,818	1,24	0

[Fonte: Autor, 2022.]

4 RESULTADOS

4.1 Resultados Esperados

A ideia original deste projeto era mostrar que é possível medir distância com um radar CW, e realizar a construção de um protótipo utilizando o sensor HB100 para detectar e medir a distância de um objeto parado.

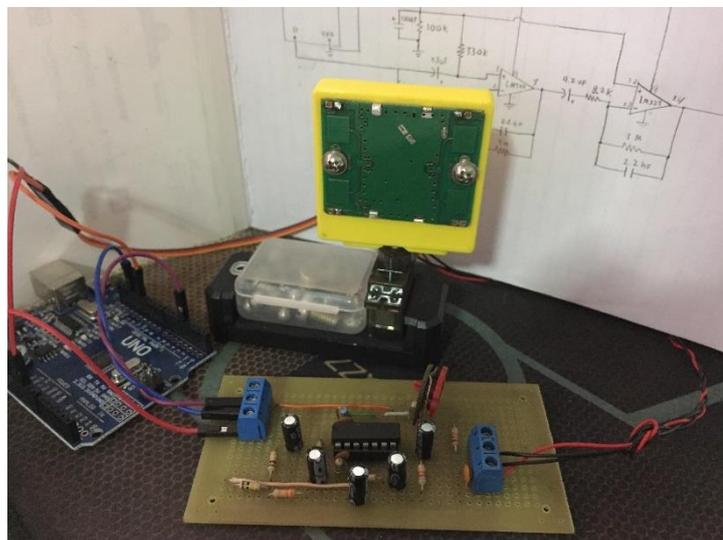
4.2 Resultados Obtidos

Conseguiu-se demonstrar experimentalmente que existe uma relação entre a variação do sinal de saída em função da distância. Foi implementado um servo motor para variar a posição do sensor. Para realizar a detecção de um objeto estático apenas movimentando o sensor HB100. Por último, foi projetado duas peças para possibilitar e facilitar a montagem do conjunto, e abas foram impressas em 3D utilizando o filamento de PLA.

4.3 Imagem do protótipo

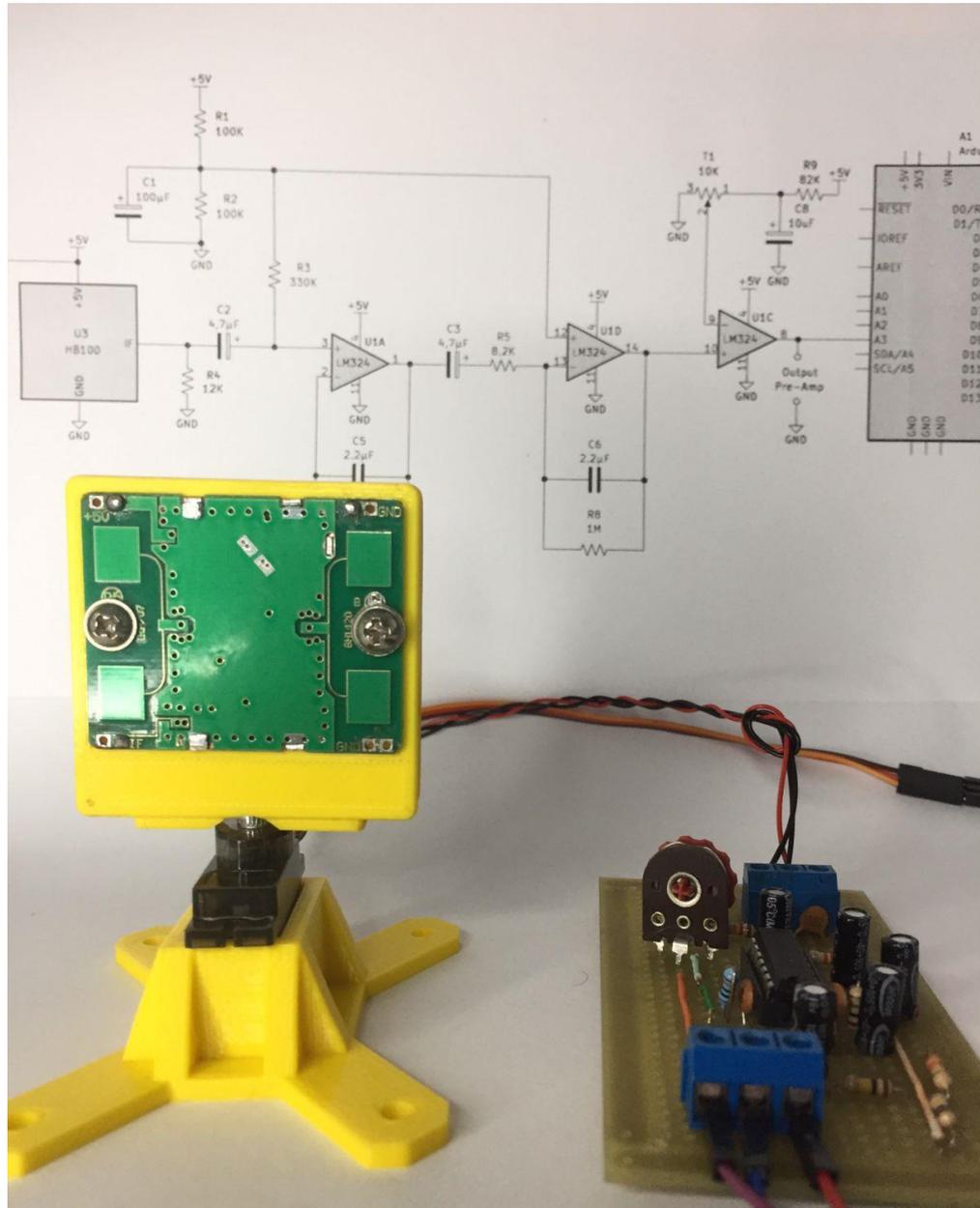
As Figuras 22 e 23, mostram como ficaram a montagem do protótipo com a união de todas as partes, e as ligações entre a Arduino e os demais componentes.

Figura 25: Protótipo



[Fonte: Autor, 2022.]

Figura 26: Montagem Final



[Fonte: Autor, 2022.]

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusão

Esse projeto tem a finalidade de fazer com que um radar de onda continua em movimento conseguisse medir a distância de um objeto parado. A meta foi parcialmente alcançada. Foi possível mostrar a existência de uma relação entre o sinal de saída do sensor HB100 e a distância de um objeto, e o sensor em movimento angular foi capaz de detectar um objeto estacionário. A maior dificuldade encontrada, foi extrair e interpretar o sinal de saída do amplificador. Com a finalização parcial do projeto foi possível desenvolver um protótipo que consegue detectar um objeto dentro do raio de alcance do radar, e esse dispositivo tem a possibilidade de receber melhorias para aumentar sua precisão e o alcance do radar, podendo tornar útil para ser utilizado na área da automação.

5.2 Propostas Futuras

A partir dos resultados alcançados e dos objetivos que não conseguiram ser atingido, disponho as seguintes propostas futuras:

- Desenvolver uma forma de afastar o sensor HB100 do Servo motor

Utilizando um sistema de engrenagens, polias, entre outros mecanismos para realizar a variação do ângulo do sensor, e afastar o motor para evitar a interferência causada pelo campo magnético.

- Desenvolver uma maneira de ampliar o alcance do radar

Conforme o sinal da saída do sensor HB100 foi sendo amplificado, o seu alcance efetivo foi reduzido, uma possível solução seria o desenvolvimento de uma nova placa capaz de amplificar e tratar melhor o sinal de saída removendo o excesso de ruído.

REFERÊNCIAS

- 3DLAB. **PLA: tudo o que você precisa saber sobre o filamento PLA**. Disponível em: <3dlab.com.br/pla-tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-o-filamento-pla/#:~:text=PLA%20representa%20ácido%20polilático%20e,brilho%20e%20facilidade%20de%20impressão.>. Acesso em: 01 de nov. 2022.
- DIAS, Mateus. **Arduino Uno Pinout – Desvendando o Arduino!**. Disponível em: <lobodarobotica.com/blog/arduino-uno-pinout/>. Acesso em: 30 de nov. 2022.
- ESCOLA, Equipe Brasil. **Alexander Stepanovich Popov**. Brasil Escola. Disponível em: <www.brasilecola.uol.com.br/biografia/alexander-stepanovich.htm>. Acesso em 28 de nov. de 2021.
- GRACHTEN, Eduardo. **Servo motor – o que é e como funciona**. Disponível em: <[linkedin.com/pulse/servo-motor-o-que-é-e-como-funciona-eduardo-grachten/?trk=pulse-article_more-articles_related-content-card&originalSubdomain=pt](https://www.linkedin.com/pulse/servo-motor-o-que-é-e-como-funciona-eduardo-grachten/?trk=pulse-article_more-articles_related-content-card&originalSubdomain=pt)>. Acesso em: 30 de nov. 2022.
- HELERBROCK, Rafael. **O que é efeito Doppler?**. Brasil Escola. Disponível em: <brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-efeito-doppler.htm>. Acesso em 8 de out. de 2021.
- JÚNIOR, Joab Silas da S., **Heinrich Hertz**. Disponível em: <mundoeducacao.uol.com.br/fisica/heinrich-hertz.htm>. Acesso em: 27 de nov. de 2021.
- KOYANAGI, Fernando. **Como funciona o Radar Doppler**. Disponível em: <www.fernandok.com/2019/08/com-funciona-o-radar-doppler.html>. Acesso em 11 de nov. de 2021.
- KOYANAGI, Fernando. **Como funciona o Radar Doppler**. Disponível em: <www.fernandok.com/2019/08/com-funciona-o-radar-doppler.html>. Acesso em: 18 de out. de 2021.
- KOYANAGI, Fernando. **Como funciona o Radar Doppler**. YouTube, 06 de ago. de 2015. Disponível em: <www.youtube.com/watch?v=F0lfgFjVNnc>. Acesso em 11 de nov. de 2021.
- LIMPKIN. **Making the Electronics for a 24GHz Doppler Motion Sensor**. Disponível em: <www.limpkin.fr/index.php?post/2017/02/22/Making-the-Electronics-for-a-24GHz-Doppler-Motion-Sensor>. Acesso em: 10 de out. de 2021.
- PORTO, Gabriella. **Radar**. Disponível em: <www.infoescola.com/tecnologia/radar/>. Acesso em: 26 de nov. de 2021.
- RAMBO, Wagner. **Controle Suave de Servo Motores | Curso de Arduino #018**. YouTube, 11 de jun. de 2015. Disponível em: <www.youtube.com/watch?v=F0lfgFjVNnc>. Acesso em 28 de nov. de 2022.

SANTANA, Guilherme. **Efeito Doppler**. Todo Estudo. Disponível em: <www.todoestudo.com.br/fisica/efeito-doppler>. Acesso em: 18 de out. de 2021.

SMITH-ROSE, Reginald Leslie. **Aleksandr Popov**. Disponível em: <www.britannica.com/biography/Galileo-Galilei>. Acesso em: 28 de nov. de 2022.

ST ELECTRONICS. **10.525Hz Microwave Motion Sensor**. ST Electronics (Satcom & Sensor Systems) Pte. Ltd. [2005]. Disponível em: <www.usinainfo.com.br/index.php?controller=attachment&id_attachment=368>. Acesso em: 19 de out. de 2021.

ST ELECTRONICS. **MSAN-001: Microwave Motion Sensor Module Application Note**. ST Electronics (Satcom & Sensor Systems) Pte. Ltd. [2008]. Disponível em: <www.limpkin.fr/public/HB100/HB100_Microwave_Sensor_Application_Note.pdf>. Acesso em: 19 de out. de 2021.

STRAUB, Matheus Gebert. **Arduino IDE**. Disponível em: <www.usinainfo.com.br/blog/arduino-ide-o-software-para-gravacao-de-codigos-no-arduino/>. Acesso em 16 de nov. de 2022.

THOMSEN, Adilson. **O que é Arduino**. Disponível em: <www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>. Acesso em 16 de nov. de 2022.

TOWER PRO. **MG90S Datasheet**. Disponível em: <alldatasheet.com/html-pdf/1132104/ETC2/MG90S/109/1/MG90S.html>. Acesso em: 19 de out. de 2021.

WOLFF, Christian. **Christian Hülsmeier**. Disponível em: <www.radartutorial.eu/04.history/hi86.en.html>. Acesso em 28 de nov. de 2021.

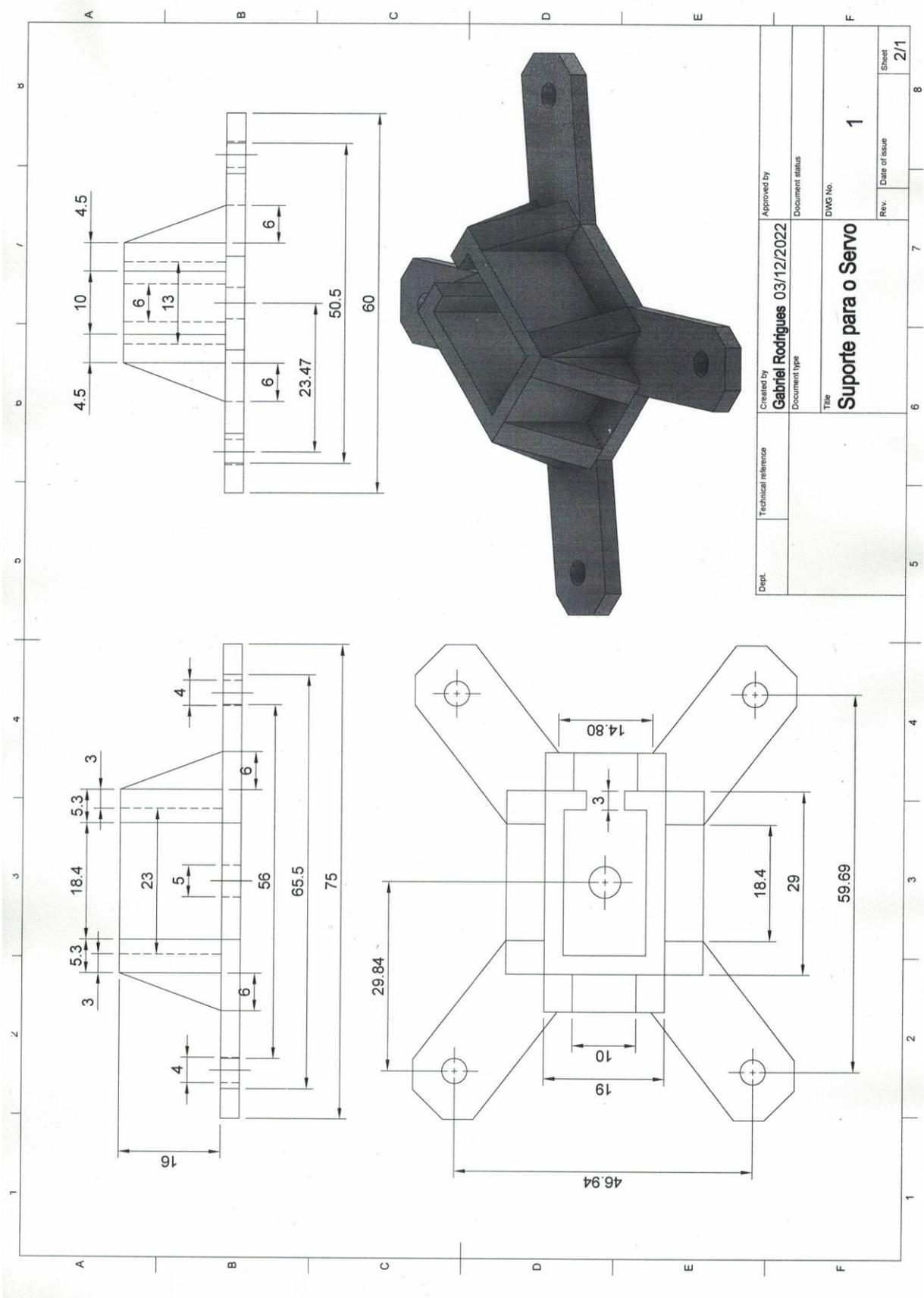
WOLFF, Christian. **Princípio do Radar**. Disponível em: <www.radartutorial.eu/01.basics/rb06.pt.html>. Acesso em: 29 de nov. de 2021.

WOLFF, Christian. **Radar de onda contínua**. Disponível em: <www.radartutorial.eu/02.basics/rp07.pt.html>. Acesso em 28 de nov. de 2021.

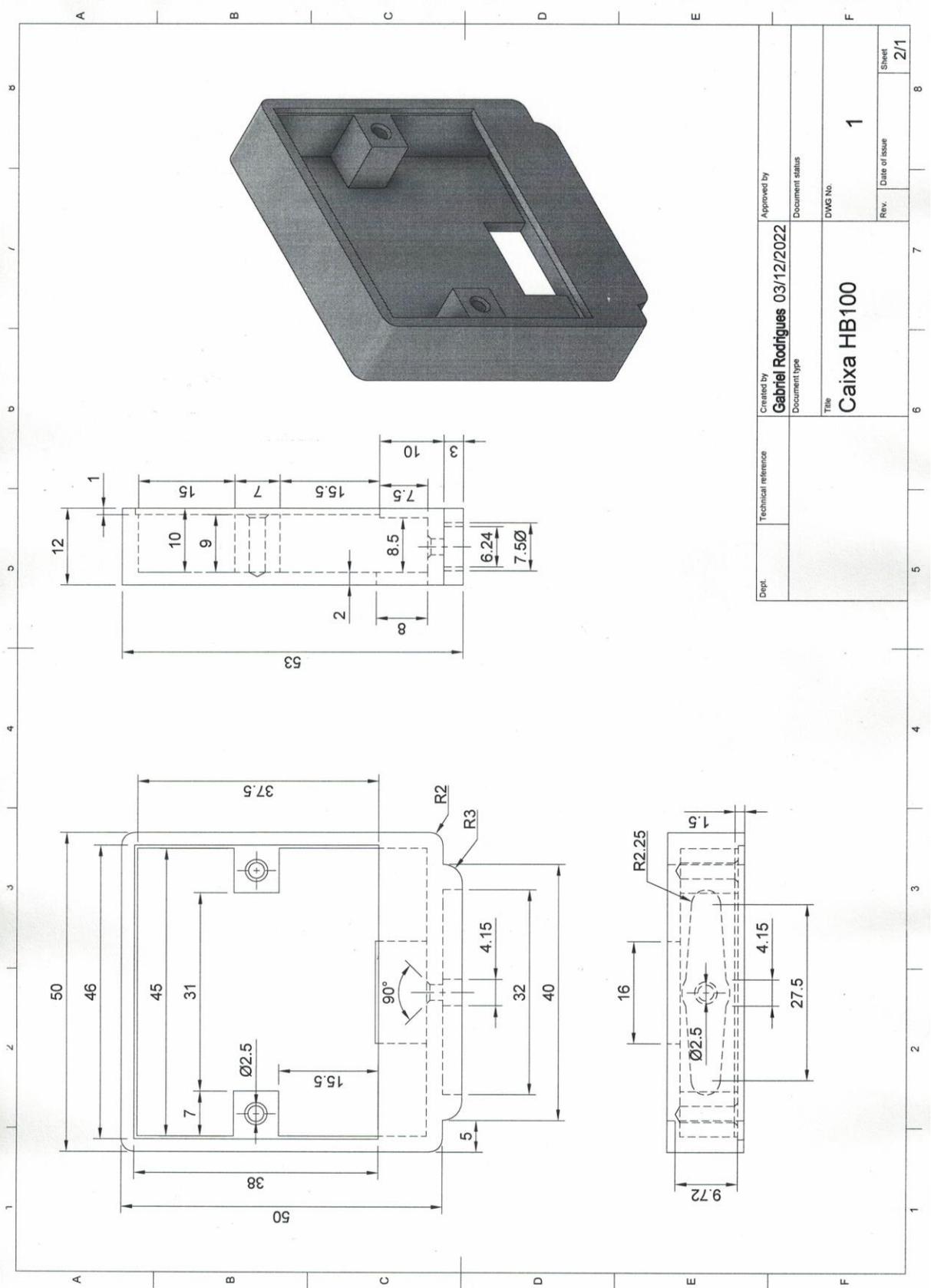
WOLFF, Christian. **Radar de pulso**. Disponível em: <www.radartutorial.eu/02.basics/rp05.pt.html#abs2>. Acesso em 28 de nov. de 2021.

WOLFF, Christian. **Visão histórica**. Disponível em: <www.radartutorial.eu/04.history/hi04.pt.html>. Acesso em: 26 de nov. de 2021.

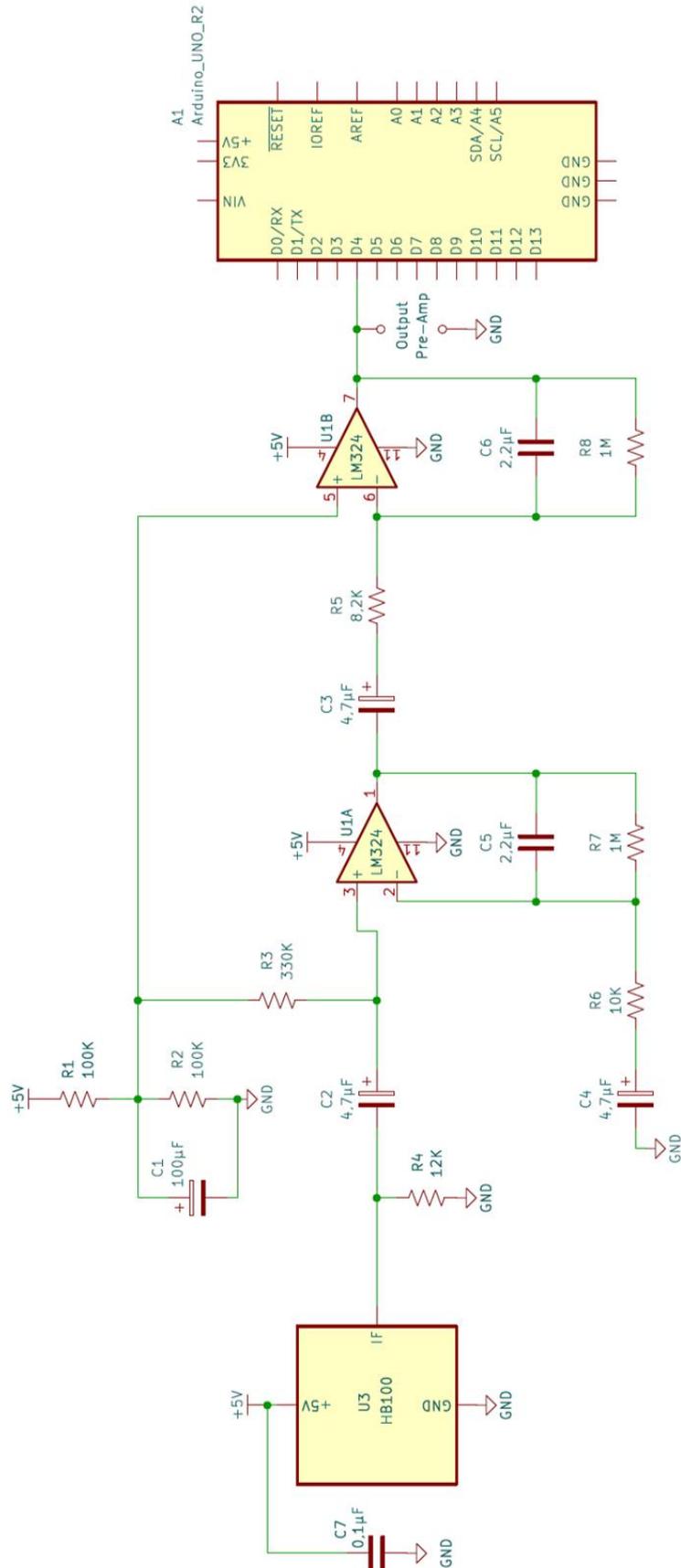
APÊNDICE A – SUPORTE DO SERVO MOTOR



APÊNDICE B – SUPORTE DO SENSOR HB100



APÊNDICE C – DIAGRAMA DO PRIMEIRO PROTÓTIPO



APÊNDICE D – LISTA DE MATERIAIS DO PRIMEIRO PROTÓTIPO

Materiais		Identificação	Qtd.
Resistores	1m	R7, R8	2
	8.2K	R5	1
	10K	R6	1
	12K	R4	1
	100K	R1, R2	2
	330K	R3	1
Capacitores Cerâmico	0,1uF	C7	1
	2,2nF	C5, C6	2
Capacitores Eletrolítico	100uF	C1	1
	4,7uF	C2, C3, C4	3
LM324	~	U1	1
HB100	10.525GHz	U3	1
Arduino	Uno R3 SMD	A1	1
Placa tipo ilha	10x5 cm	~	1
Total:			19

APÊNDICE E – CÓDIGO TESTE DO HB100

```

// Below: pin number for FOUT
#define PIN_NUMBER 4
// Below: number of samples for averaging
#define AVERAGE 4
// Below: define to use serial output with python script
// #define PYTHON_OUTPUT
unsigned int doppler_div = 44;
unsigned int samples[AVERAGE];
unsigned int x;

void setup() {

  Serial.begin(115200);
  pinMode(PIN_NUMBER, INPUT);
}

void loop() {
  noInterrupts();
  pulseIn(PIN_NUMBER, HIGH);
  unsigned int pulse_length = 0;
  for (x = 0; x < AVERAGE; x++) {
    pulse_length = pulseIn(PIN_NUMBER, HIGH);
    pulse_length += pulseIn(PIN_NUMBER, LOW);
    samples[x] = pulse_length;
  }

  interrupts();

  // Check for consistency
  bool samples_ok = true;
  unsigned int nbPulsesTime = samples[0];

  for (x = 1; x < AVERAGE; x++) {
    nbPulsesTime += samples[x];
    if ((samples[x] > samples[0] * 2) || (samples[x] < samples[0] / 2)) {
      samples_ok = false;
    }
  }

```

```
}  
if (samples_ok) {  
    unsigned int Ttime = nbPulsesTime / AVERAGE;  
    unsigned int Freq = 1000000 / Ttime;  
  
    #ifdef PYTHON_OUTPUT  
        Serial.write(Freq/doppler_div);  
    #else  
        //Serial.print(Ttime);  
        Serial.print("\r\n");  
        Serial.print(Freq);  
        Serial.print("Hz : ");  
        Serial.print(Freq/doppler_div);  
        Serial.print("km/h\r\n");  
    #endif  
  
} else {  
  
    #ifndef PYTHON_OUTPUT  
        Serial.print(".");  
    #endif  
}  
}
```

APÊNDICE F – CÓDIGO TESTE DO SERVO MOTOR

```

// Controle do Servo

#include <Servo.h>

int ang = 0;
int vel = 0;

Servo myServo; // Cria um objeto servo para controlar o servo motor

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  myServo.attach(7); // Define em qual pino o Servo Motor está conectad
  myServo.write(90);
  delay(250);

}

void loop() {
  // gira o Servo Motor de 15 a 165 graus
  for(int i=30;i<=150;i++){
    myServo.write(i);

    int ang = i;
    //int vel = ard_uno.read();

    Serial.print("angulo : ");
    Serial.print(ang);
    Serial.print("\r\n");

    delay(15);

  }
  // Repete as linhas anteriores de 165 a 15 graus
  for(int i=150;i>30;i--){
    myServo.write(i);

    int ang = i;
    //int vel = ard_uno.read();

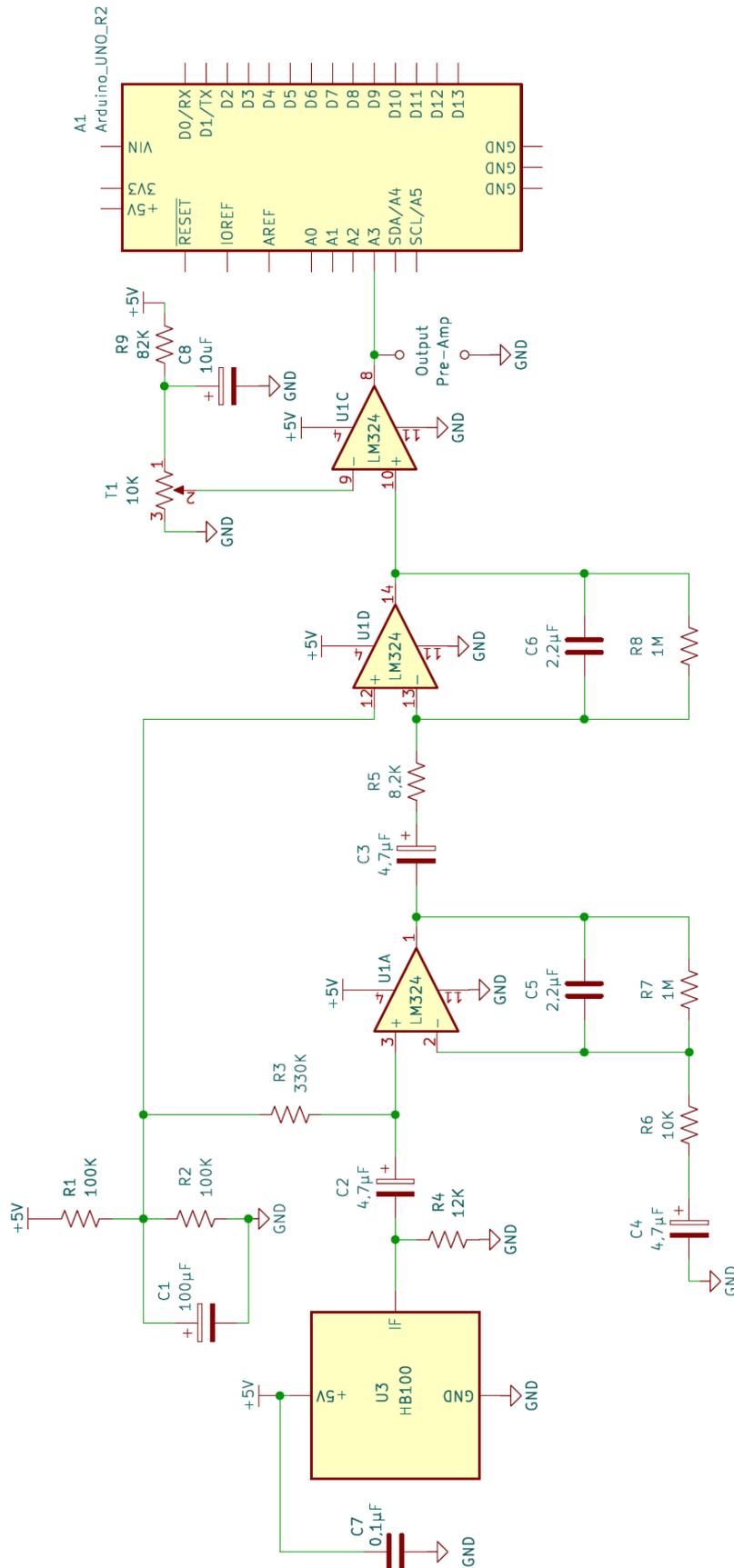
    Serial.print("angulo : ");
    Serial.print(ang);
    Serial.print("\r\n");

    delay(15);

  }
}

```

APÊNDICE G – DIAGRAMA ELÉTRICO DO SEGUNDO PROTÓTIPO



APÊNDICE H – LISTA DE MATERIAIS DO SEGUNDO PROTÓTIPO

Materiais		Identificação	Quantidade
Resistores	1m	R7, R8	2
	8.2K	R5	1
	10K	R6	1
	12K	R4	1
	82K	R9	1
	100K	R1, R2	2
	330K	R3	1
Capacitores Cerâmico	0,1uF	C7	1
	2,2nF	C5, C6	2
Capacitores Eletrolítico	10uF	C8	1
	100uF	C1	1
	4,7uF	C2, C3, C4	3
Trimpot	10K	T1	1
LM324	~	U1	1
HB100	~	U3	1
Arduino	Uno R3 SMD	A1	1
Placa tipo ilha	10x5 cm	~	1
Total:			22

APÊNDICE I – CÓDIGO FINAL

```
// FATEC SANTO ANDRÉ
// Gabriel Rodrigues da Silva
// Radar Doppler – Demonstrando a variação de frequência pela distância
// SCRIPT FINAL #3

//Biblioteca:
#include <Servo.h>

//Definições:
#define servo 12 //Define o pino digital 12 do Arduino para o servo;

//Variáveis:
//servo motor:
Servo servo_motor; //Cria um objeto para o servo;
int ang = 0; //Cria uma variável inteira para guardar a informação do ângulo do servo;

//HB100:
int analogPin = A3; //Define o pino analógico A3 do Arduino para o sensor HB100;
int val = 0; //Cria uma variável inteira para guardar a informação do pino A3;

//Função ADD:
//controle da velocidade do servo motor:
void speed_control(const int tempo, int inicio, int fim){ //parâmetros da função;
    //(TEMPO[ms],ÂNGULO INICIAL[°],ÂNGULO FINAL[°]);

    bool option = 0; //Cria uma variavel para;

    if(fim > inicio) option = 0;

    else option = 1;
    if(!option) {
        for(int i=inicio;i<fim;i++) { //movimenta o servo motor da direita para esquerda;
            servo_motor.write(i); //movimenta o servo para o ângulo (i) > que o ângulo inicial;
            ang = i; //guarda o valor do ângulo do servo;
```

```

    val = analogRead(analogPin); //guarda a leitura do sensor HB100;
    Serial.println(val);        //escreve no monitor serial a leitura do sensor HB100;

    //Serial.println(ang);      //escreve no monitor serial o ângulo do servo motor;

    delay(tempo); //aplica um intervalo de tempo entre a movimentação dos ângulos;

}

} else {

    for(int j=inicio;j>fim;j--) { //movimenta o servo motor da esquerda para direita;
        servo_motor.write(j); //movimenta o servo para o ângulo (j) < que o ângulo inicial;
        ang = j; //guarda o valor do ângulo do servo;

        val = analogRead(analogPin); //guarda o valor do sensor HB100;
        Serial.println(val); //escreve no monitor serial a leitura do sensor HB100;

        //Serial.println(ang); //escreve no monitor serial o ângulo do servo motor;

        delay(tempo); //aplica um intervalo de tempo entre a movimentação dos ângulos;
    }
}
} //fin speed_control

//Funções padrão:
void setup(){

    pinMode(servo, OUTPUT); //Define a variavel servo como saida;
    servo_motor.attach(servo); //o pino 12 é definido para o objeto servo_motor;
    servo_motor.write(90); //movimenta o servo motor para 90°;
    Serial.begin(9600); //inicia a comunicação serial com(9600)bits/s;

} //fin do setup
void loop(){

    speed_control(20,20,180); //varia o angulo do servo motor (de 20° a 180°) com (20ms/paço);
    delay(20);
    speed_control(20,180,20); //varia o angulo do servo motor (de 180° a 20°) com (20ms/paço);
}

```