

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS – CAMPUS BAMBUÍ
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Fábio Oliveira Tempesta

**PROTÓTIPO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO E
CONTROLE DE BAIXO CUSTO BASEADO EM IOT PARA
AMBIENTES AVIÁRIOS**

Bambuí - MG
2021

FÁBIO OLIVEIRA TEMPESTA

**PROTÓTIPO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO E
CONTROLE DE BAIXO CUSTO BASEADO EM IOT PARA
AMBIENTES AVIÁRIOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Curso Bacharelado em Engenharia de Com-
putação do Instituto Federal de Educação, Ci-
ênci a e Tecnologia de Minas Gerais – Campus
Bambuí para obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia de Computação.

Bambuí - MG
2021

Fábio Oliveira Tempesta

PROTÓTIPO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO E CONTROLE DE BAIXO CUSTO BASEADO EM IOT PARA AMBIENTES AVIÁRIOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Curso Bacharelado em Engenharia de Com-
putação do Instituto Federal de Educação, Ci-
ênci a e Tecnologia de Minas Gerais – Campus
Bambuí para obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia de Computação.

Aprovado em 28 de setembro de 2021 pela banca examinadora:

Prof. Me. Itagildo Edmar Garbazza

Orientador

Instituto Federal Minas Gerais – Campus Bambuí

Bambuí - MG
2021

RESUMO

O consumo da carne de frango se encontra em um crescente aumento e a tendência é que ultrapasse a carne suína a partir de 2022, tornando a carne mais consumida mundialmente. O conforto dos animais criados para alimentação é um assunto que vem ganhando força cada vez mais, uma vez que, além das questões éticas, esse fato está ligado diretamente com a qualidade da carne e uma melhor produção, não deixando de fora a cobrança do mercado consumidor sobre o bem-estar animal. Para atingir essa finalidade, as produções avícolas vêm usufruindo cada vez mais de tecnologias de ponta. Em contrapartida, essas tecnologias não são viáveis financeiramente para todos os produtores. O artigo apresenta a implementação de um protótipo de um sistema de monitoramento e controle de aviários de frangos de corte, focado em atingir um custo material relativamente baixo, com o propósito de auxiliar o pequeno avicultor elevar a produtividade e bem-estar animal do aviário. Para alcançar os resultados esperados, foi utilizado um microcontrolador ESP32 para controlar todo o sistema. Ele é responsável por hospedar o servidor *Web* que apresenta a interface entre a aplicação e o usuário, podendo ser acessado por celulares, *tablets* e computadores. Essa interface consegue ler as condições ambientais medidas pelos sensores e controlar os acionadores de forma autônoma, ou por comando realizado remotamente.

Palavras-chave: Sistemas Embarcados. Internet das Coisas. Produção Aviária. Micro-controladores.

ABSTRACT

The consumption of chicken meat is increasing and the trend is that it will surpass pork meat as of 2022, making meat the most consumed worldwide. The comfort of animals raised for food is an issue that has been gaining more and more strength, since, in addition to ethical issues, this fact is directly related to the quality of the meat and better production, without neglecting the market demand. consumer on animal welfare. To achieve this purpose, poultry production has increasingly taken advantage of state-of-the-art technologies. On the other hand, these technologies are not economically viable for all producers. The article presents the implementation of a prototype monitoring and control system for broiler aviaries, focused on achieving a relatively low material cost, with the purpose of helping the small poultry farmer to increase the productivity and animal welfare of the aviary. To achieve the expected results, an ESP32 microcontroller was used to control the entire system. It is responsible for hosting the web server that presents the interface between the application and the user, which can be accessed from cell phones, tablets and computers. This interface can read the environmental conditions measured by the sensors and control the triggers autonomously or through a remote command.

Keywords: Embedded Systems. Internet of Things. Poultry Production. Microcontrollers.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Objetivo geral	8
1.2	Objetivos específicos	8
1.3	Justificativa	8
1.4	Resultados esperados	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	Criação de frangos de corte	10
2.1.1	<i>Condições ideais</i>	10
2.1.2	<i>Sistemas de climatização</i>	11
2.2	Microcontroladores	12
2.2.1	<i>ESP32</i>	13
2.3	Protocolo de comunicação <i>1-Wire</i>	14
2.4	Sensores	16
2.4.0.1	Sensor de Temperatura DS18B20 a prova d'água	17
2.4.0.2	Sensor de Umidade e Temperatura DHT11	19
2.5	Atuadores	21
2.5.1	<i>Válvula Solenoide</i>	22
2.5.2	<i>Relé eletromecânico</i>	23
2.6	<i>Internet das Coisas e Sistemas Embarcados</i>	24
2.7	Estado-da-arte	25
3	METODOLOGIA	27
3.1	Classificação da pesquisa	27
3.2	Solução	27
3.3	Materiais e Tecnologias	29
3.3.1	<i>Ferramentas utilizadas</i>	29
3.3.2	<i>Materiais do protótipo</i>	31
3.4	Ambiente de experimento	32
3.5	Métodos e Procedimentos	34
3.5.1	<i>Metodologia de desenvolvimento</i>	34
3.5.2	<i>Definição dos requisitos</i>	35
3.5.3	<i>Procedimentos</i>	36
4	DESENVOLVIMENTO	38
4.1	Protótipo	39
4.2	Sensores	39
4.3	Atuadores	41

4.3.1	<i>Ventilador</i>	42
4.3.2	<i>Nebulizador</i>	43
4.3.3	<i>Trocador de água</i>	45
4.4	Interface Web	47
4.5	Custo material do protótipo	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
	REFERÊNCIAS	52
6	CIRCUITO ELÉTRICO GERAL DO PROJETO	56

1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento constante da produção avícola, espera-se que o consumo mundial de carne de frango em 2022 ultrapasse a carne suína (CONNOLLY, 2018). No Brasil, a carne tem uma grande relevância econômica, como o relatório anual da ABPA (Associação Brasileira de Proteína Animal) (ABPA, 2021) mostra que o Brasil fechou o ano de 2021 sendo o maior exportador de carne de frango do mundo, com 4,231 milhões de toneladas exportadas, e o terceiro maior produtor, com 13,845 milhões de toneladas de carne produzidas.

Diante de um cenário tão propício ao país, deve-se estar sempre atento em adotar um sistema de criação voltado à uma produção eficiente e de qualidade para continuar liderando a exportação desse setor que afeta positivamente a economia. Para essa finalidade, Silva Braga *et al.* (2018) reconhece que, em um sistema de criação, o bem-estar de animais está diretamente relacionado à produtividade e qualidade do produto.

Para uma criação de frangos obter alta produtividade, é necessário ficar atento a todas as necessidades básicas do animal. No Brasil, o ambiente para produção e bem-estar das aves nem sempre é compatível com as necessidades fisiológicas das mesmas, como a temperatura do ambiente, umidade do ar e a temperatura da água que esses animais consomem (BARBOSA, 2013; SOUZA, P. de, 2005).

1.1 Objetivo geral

Oferecer um protótipo de sistema embarcado de monitoramento e controle de um ambiente de criação de frangos para auxiliar no desenvolvimento e bem-estar animal, utilizando o conceito Internet das Coisas e, que seja acessível ao pequeno avicultor.

1.2 Objetivos específicos

- Desenvolver o hardware dos sensores e demais circuitos necessários;
- Desenvolver e configurar software dos sensores;
- Implementar a interface *Web*;
- Implementar os mecanismos dos atuadores;
- Testar e avaliar o sistema no ambiente de experimento.

1.3 Justificativa

Utilizando a tecnologia a favor da produção e bem-estar das aves, pode-se destacar os sistemas de monitoramento de ambiente em tempo real com acionadores

automáticos (CONNOLLY, 2018). O avicultor que implementa um sistema desse porte pode esperar alguns benefícios, como:

- maior precisão para admitir a temperatura de conforto térmico dos animais comparado aos métodos tradicionais;
- homogeneidade térmica do ambiente, diminuindo grandes variações de temperatura (FONTES, 2020; CONNOLLY, 2018);
- aumento da qualidade de vida dos animais, de modo que induz uma melhora no bem-estar, no desempenho de corte e reduz a taxa de mortalidade dos frangos (SILVA BRAGA *et al.* 2018);
- menor mão de obra aos produtores, dado que o controle do ambiente é todo feito de forma automática, reduzindo sua carga de trabalho;
- economia de energia elétrica (FONTES, 2020; CONNOLLY, 2018);
- captura de dados para realizar análises que pode influenciar na futura tomada de decisão.

Em contrapartida, um sistema desse porte ainda gera um custo inicial relativamente alto para implantação, devido às suas inúmeras funções. O que há na literatura atual é o sistema desenvolvido na pesquisa de doutorado de Marcelo Eduardo de Oliveira *et al.* (2018). Fontes (2020) declara que esse sistema é considerado de baixo-custo e que sua implantação teria um preço em torno de R\$ 3000,00.

O sistema desenvolvido há chances de suas funcionalidades gerar um produto inovador, pois o controle de aviários convencionais utilizando IoT com as funcionalidades presentes no trabalho ainda é pouco explorado na literatura.

1.4 Resultados esperados

Espera-se que o protótipo inicial seja capaz de ler as temperaturas e a umidade do ar corretamente, podendo informar esses valores ao usuário via interface *Web* e também fazer um controle eficiente do ambiente. Com o protótipo funcionando sem erros, espera-se que ele esteja apto a realizar os primeiros testes em um ambiente real.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo descreve os principais conceitos relacionados ao trabalho.

2.1 Criação de frangos de corte

A criação de frangos de corte vem crescendo cada vez mais nos últimos anos, tanto no contexto da economia, quanto no do tecnológico. Valéria Maria Nascimento Abreu e Paulo Giovanni de Abreu (2011) salienta que a avicultura de corte tem investido em inovações tecnológicas há pelo menos 20 anos, tendo como busca encontrar implementações de sistemas com maior eficiência na produção.

2.1.1 *Condições ideais*

Os ambientes aviários que apresentam condições incompatíveis com as necessidades fisiológicas das aves, além de manter os animais em condições precárias, sofrem perdas de produtividade, pois, segundo Silva Braga *et al.* (2018), o bem-estar de animais está diretamente relacionado à qualidade e produtividade em um sistema de criação. Hötzell e Machado Filho (2004) acrescenta outros motivos que levam as pessoas a se preocuparem com o bem-estar de animais: inquietações de origem ética; o potencial efeito que o bem-estar animal possa ter na qualidade dos alimentos; as conexões entre bem-estar animal e comercialização internacional de seus produtos de origem animal.

Para gerar o apropriado aumento da produtividade da criação, estudos foram feitos em relação às necessidades básicas desses animais para um bom desenvolvimento e o que andam utilizando para alcançar o tal objetivo. Fontes (2020) esclarece a importância de uma temperatura adequada para as aves no seu ambiente de criação:

Quando a temperatura ambiente sobe acima da zona de conforto térmico, o animal começa a buscar alternativas para perder calor realizando alguns ajustes funcionais rápidos, como a vasodilatação e o aumento da frequência respiratória. No entanto, se a temperatura continuar aumentando, a ave reduz seu metabolismo, aumenta o consumo de água e tenta maximizar a perda de calor pelo suor. Se mesmo assim a temperatura não parar de subir, essas ações deixam de surtir efeito e, sem opções para aumentar a perda de calor, o animal pode morrer de hipertermia. Temperaturas abaixo do indicado também são perigosas. Num primeiro momento, em resposta ao frio, o animal busca o Sol, lugares secos, pouca ventilação, piso aquecido e reduz o consumo de água. Porém, se a temperatura ambiente seguir caindo, a ave aumenta o seu metabolismo realizando atividades de maior movimento e consumindo mais ração. Caso a temperatura siga despencando, o animal perde a capacidade de produzir calor e sua temperatura corporal começa a baixar rapidamente, podendo levá-lo à morte por hipotermia.

Como a água é uma possibilidade que esses animais têm para reduzir a temperatura corporal, deve-se ficar atento na temperatura da água dos bebedouros. Apesar desse parâmetro ser um pouco esquecido pelos ambientes de criação de aves, Barbosa (2013) declara que, devido ao fato de que as aves não possuírem glândulas sudoríparas para uma maior perda de calor pelo suor, o consumo de água fria é a alternativa que esses animais têm para diminuir a temperatura corporal em casos de estresse calórico e, por consequência, uma melhora no desempenho.

Vale ressaltar que a temperatura de conforto dos frangos de corte varia de acordo com a idade do animal. Uma pesquisa (CASSUCE *et al.* 2013) que tinha a finalidade de encontrar os valores semanais da temperatura ideal para as aves obteve as temperaturas de 31,3°C; 25,5°C e 21,8°C respectivamente, na primeira, segunda e terceira semana de vida em diante para um melhor desenvolvimento dos animais.

A umidade do ambiente também deve ser controlada, um valor muito alto pode não ser a melhor condição para o galpão de criação. A capacidade das aves em suportar o calor é inversamente proporcional ao teor de umidade relativa do ar, devido a umidade alta apresentar dificuldades aos frangos remover calor interno pelas vias aéreas, o que leva ao aumento da frequência respiratória (OLIVEIRA, R. F. M. d. *et al.* 2006). A Tabela 1 mostra a umidade do ar e temperatura ambiente em função da idade das aves.

Tabela 1 – Valores ideais de temperatura ambiente e de umidade do ar, em função da idade das aves

Idade (Semanas)	Temperatura (°C)	Ambiente	Umidade do ar (%)
1	32 – 35		60 – 70
2	29 – 32		60 – 70
3	26 – 29		60 – 70
4	23 – 26		60 – 70
5	20 – 23		60 – 70
6	20		60 – 70
7	20		60 – 70

Fonte: Valéria Maria Nascimento Abreu e Paulo Giovanni de Abreu (2011).

2.1.2 Sistemas de climatização

Para proporcionar condições eficientes em termos de conforto térmico, próximas à zona termoneutra da ave, que é quando a dissipaçāo da temperatura corporal é mínimo, a adoção de sistemas de ventilação com sistemas de resfriamento do ar é um bom caminho a se seguir (SOUZA, F. d., 2017).

Para combater as elevadas temperaturas e a umidade baixa do ambiente, será utilizado uma técnica de modificação ambiental artificial chamada resfriamento evaporativo do ar. De acordo com Sartor *et al.* (2001), esta técnica consiste em incorporar vapor d'água

diretamente no ar, utilizando um sistema de ventilação e nebulização, causando mudança no ponto de estado do ambiente (aumento da umidade e reduzindo a temperatura). Vale ressaltar que o nebulizador deve ser acionado apenas quando a umidade estiver relativamente baixa, pois uma umidade muito alta pode chegar a atrapalhar as aves remover o calor interno pela vias aéreas. Apesar de existirem técnicas mais novas para o resfriamento adiabático evaporativo do ar, que é quando há contato entre o ar e a água, os pequenos galpões continuam utilizando nebulizadores, pois teria um alto custo para mudar o galpão para incorporação da água por paredes porosas ou placas umedecidas, que são utilizados em aviários modernos.

A ventilação também deve ser controlada, um controle de forma inadequada pode, em vez de trazer benefícios ao ambiente, prejudicar as aves. Uma boa ventilação para o movimento de ar fresco no galpão, é um mecanismo de uso contínuo e diário que é essencial na produção de aves para um melhor crescimento e conforto, devido à ele remover o excesso de umidade do aviário e oferecer ar fresco aos animais, mas, por outro lado, uma ventilação inadequada pode provocar estresse, permitindo calor excessivo e acúmulo de umidade no galpão (GUERRA, 2021).

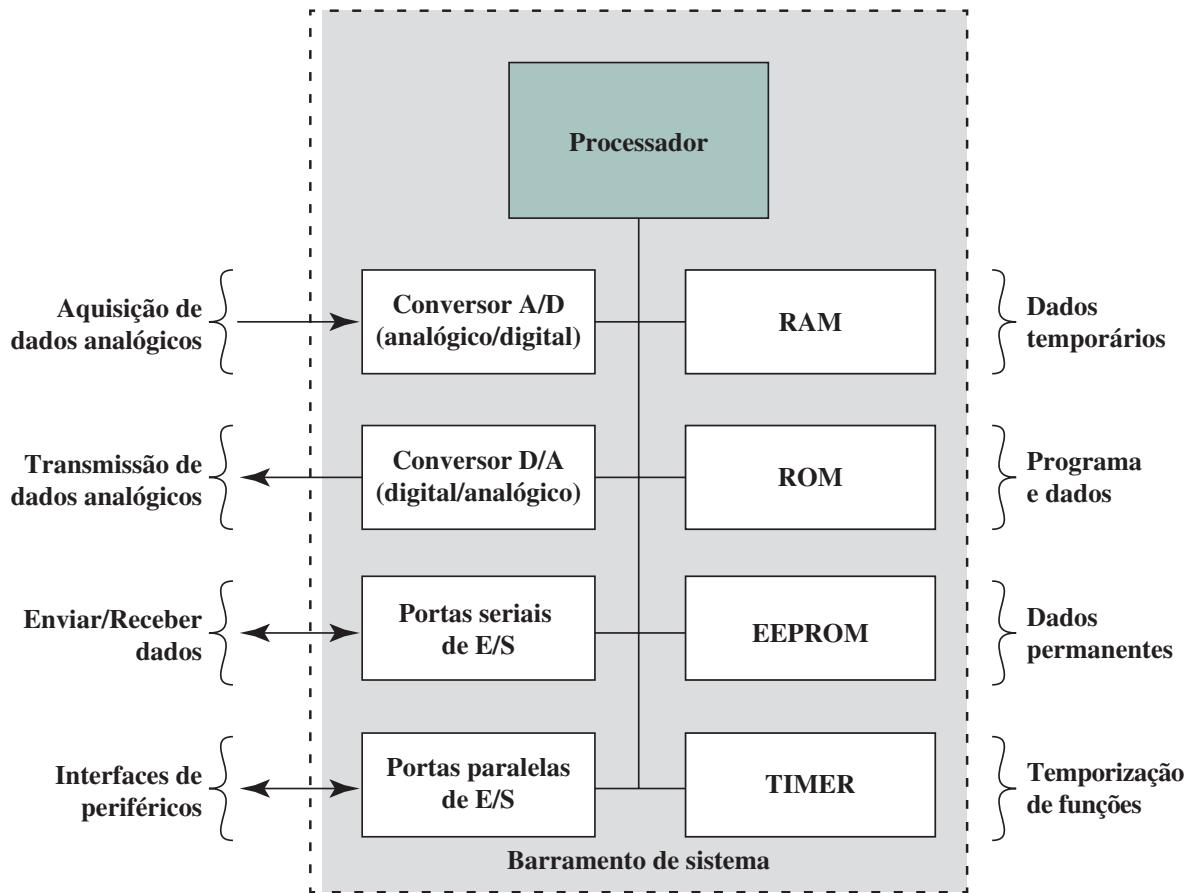
2.2 Microcontroladores

Vidal Pereira da Silva Júnior (2013) declara que utiliza o termo "Microcomputador-de-um-só-chip" para definir os microcontroladores desde o seu primeiro livro. O autor acrescenta que a principal característica do dispositivo está em reunir, em um único chip, todos os periféricos necessários para o projeto e fabricação de dispositivos eletrônicos dos mais diversos tipos, desde simples sinalizadores e luzes pisca-pisca até equipamentos médicos sofisticados. Esses dispositivos estão cada vez sendo mais utilizados, uma vez que o mercado atual estão progressivamente demandando sistemas embarcados, que são sistemas computacionais compactos e de custo acessível que atendem a uma demanda específica (CARDOSO, 2020).

É de referir que existe diferença entre microcontroladores e microprocessadores, cada um deles possui uma aplicação diferente, como poder de processamento demandado, custo, etc. Enquanto um microcontrolador é um chip simples que contém processador, memória não volátil para o programa, memória volátil para entrada e saída, um *clock* e uma unidade de controle de entrada e saída, o microprocessador contém apenas o processador que ocupa uma área de silício muito maior que o microcontrolador e possui uma eficiência de energia muito menor (STALLINGS, 2017). Ao observar a Figura 1, pode-se encontrar os elementos apontados em um chip microcontrolador típico.

Uma pesquisa recente de Rios *et al.* (2020) tinha a finalidade de comparar o desempenho dos principais microcontroladores do mercado para aplicações em *Internet das Coisas*, dentre eles, ESP8266, ESP32 e MK1000, e, mesmo utilizando apenas um núcleo do processador, o ESP32 demonstrou resultados melhores, comparado aos demais.

Figura 1 – Elementos de um chip microcontrolador típico.



Fonte: Stallings (2017)

Outra das vantagens da plataforma é o módulo *Wi-Fi* integrado, dessa maneira, gerando uma redução do custo do produto final, já que não será necessário comprar um módulo separado.

2.2.1 *ESP32*

O ESP32 é um microcontrolador criado pela Espressif¹, que é uma empresa multinacional de semicondutores, e é denominado como irmão mais novo do ESP8266. Muito utilizado para aplicações em *Internet das Coisas* devido ao seu módulo *Wi-Fi* integrado, um custo relativamente baixo e a adoção da IDE Arduino² como plataforma de desenvolvimento de aplicações para o microcontrolador, tendo uma comunidade ampla ao seu lado e boas bibliotecas que são compatíveis ao dispositivo.

Como o ESP32 é um chip contendo várias características dentro dele, de modo geral é recomendado ter uma placa de desenvolvimento, que basicamente aloca o chip ESP32 e deixa praticamente pronto para implementação, como as portas especificadas, entrada micro-usb para carregamento de código e funções adicionais dependendo do

¹ <https://www.espressif.com/>

² <https://www.arduino.cc/en/software>

modelo. Além disso, deve ficar claro que existe vários tipos de ESP32, variando o tamanho, processador (número de núcleos e a frequência de clock), memória flash, protocolo *Wi-Fi*, número e tipos de pinos, e a faixa de temperatura de funcionamento.

O modelo do dispositivo adotado no trabalho foi o ESP32-WROOM-32, que, de acordo com o *datasheet* da Espressif (2021), tem as seguintes características:

- CPU: Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6, clock de 80 a 240 MHz;
- memória ROM: 448 KBytes;
- memória RAM: 520 Kbytes;
- memória Flash: 4 MB;
- wireless padrão 802.11 b/g/n;
- conexão *Wi-Fi* 2,4 GHz a 2,5 GHz (máximo de 150 Mbps de transferência);
- *bluetooth* BLE 4.2;
- corrente de consumo médio de 80mA;
- tensão de operação de 3 VDC a 3,6 VDC;
- faixa de temperatura de trabalho recomendada: -40°C a 85°C.

As portas GPIO (General Purpose Input/Output - Entrada/Saída de Uso Geral), que são, basicamente, os pinos de entrada e saída, podem ter funções diferentes, como conversor de analógico para digital de 12 bits, conversor digital para analógico de 8 bits e sensor capacitivo. A Figura 2 mostra o esquemático dos pinos no chip.

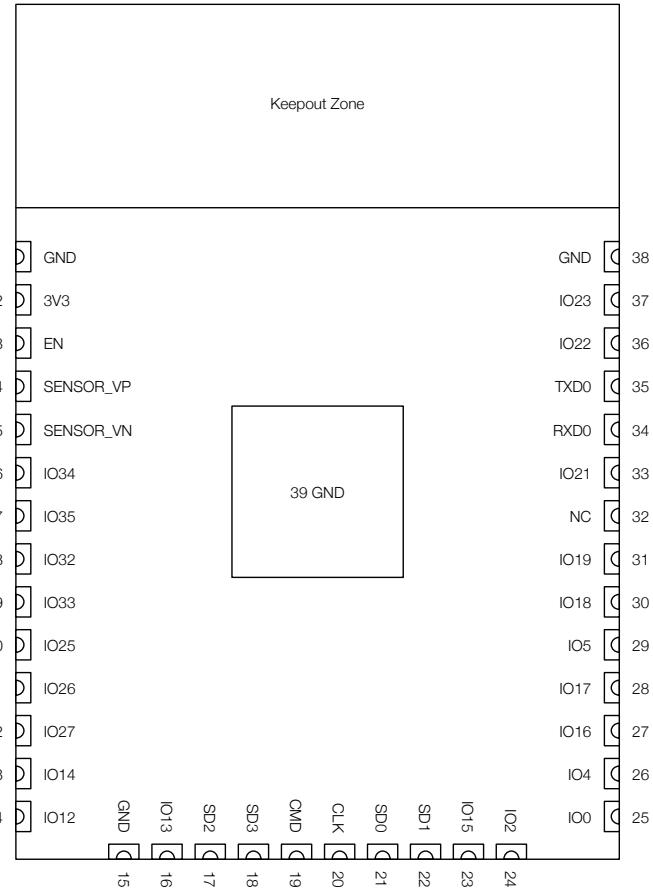
Para facilitar seu uso geral, existe placas de desenvolvimento que já vem com o chip integrado ao seu circuito. Essa placa auxilia no carregamento do código para o microcontrolador, a utilização dos pinos, regulagem de tensão de entrada, etc. A Figura 3) mostra uma placa de desenvolvimento Devkit v.1 DOIT.

2.3 Protocolo de comunicação *1-Wire*

O protocolo de comunicação *1-Wire* (ou *One-Wire* - Um-Fio em português) foi desenvolvido pela empresa Dallas Semiconductor e posteriormente foi adquirida pela Maxim Integrated³ (SACCO, 2015). A comunicação desse protocolo é do tipo mestre-escravo e é operada acontece em apenas uma linha de dados e um terra de referência (Figura 4). Um mestre inicia e controla a comunicação com um ou mais dispositivos escravos no barramento *One-Wire*(1-WIRE..., 2012).

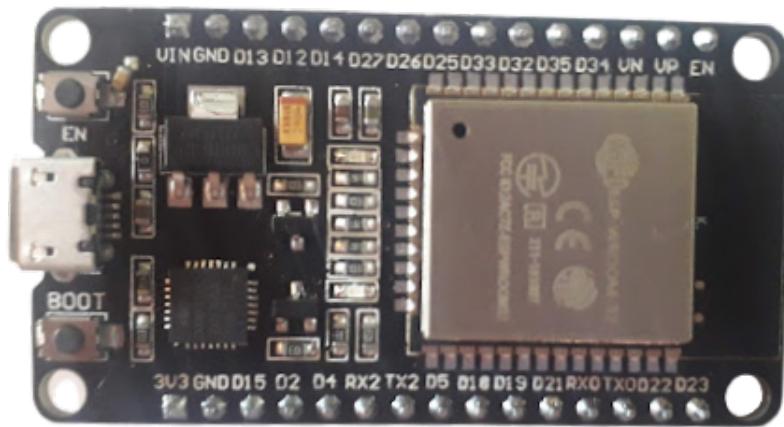
³ <https://www.maximintegrated.com>

Figura 2 – Esquema dos pinos no chip ESP32-WROOM-32 (vista do topo).



Fonte: Espressif (2021)

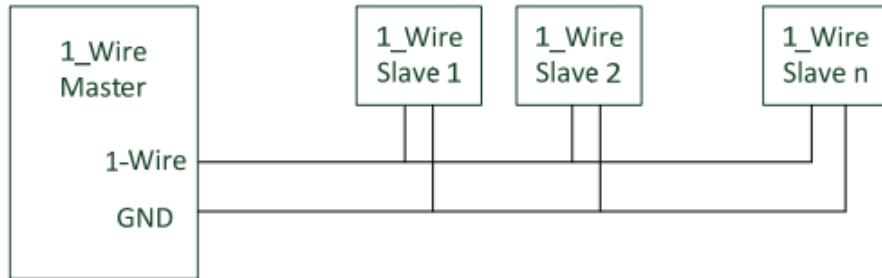
Figura 3 – Placa de desenvolvimento ESP32 Devkit v1 - DOIT.



Fonte: O Autor, 2022.

Cada escravo do protocolo possui um número de identificação (ID) de 64 bits exclusivo, inalterável e programado de fábrica, que serve como endereço identificador do dispositivo no barramento de 1 fio (PROGRAMMABLE..., 2019). Ainda de acordo com o autor, os escravos, frequentemente, operam nas seguintes faixas de tensão:

Figura 4 – Esquema básico da rede *1-Wire*.



Fonte: Maceková (2012)

- 1.71V (mínima) até 1.89V (máxima);
- 1.71V (mínima) até 3.63V (máxima);
- 2.97V (mínima) até 3.63V (máxima);
- 2.8V (mínima) até 5.25V (máxima).

De acordo com a fabricante 1-WIRE... (2012), os dispositivos que utilizam o protocolo *1-Wire* são projetados para uso em um ambiente em que a comunicação seja momentânea. Isso significa que, quando um dispositivo escravo ser desconectado do barramento *1-Wire*, ele poderá retornar a comunicação com o mestre facilmente.

Outra vantagem que o protocolo apresenta, é o seu modo *Parasitic Power*. Os dispositivos *1-Wire* que possui essa tecnologia podem funcionar independente de uma alimentação, de modo que eles conseguem "roubar" uma energia necessária de funcionamento pela própria linha de comunicação. Saduikis (2010) declara que, quando for utilizar esse tipo configuração, a linha de dados *1-Wire* deve apresentar uma tensão com o mesmo valor que o dispositivo precisa para se alimentar.

2.4 Sensores

Os sensores são dispositivos que são sensíveis a alguma forma de energia (luminosa, térmica ou cinética), e tem o objetivo de relacionar informações sobre uma grandeza que precisa ser medida (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2020). No sistema embarcado, eles terão a finalidade de determinar as condições que precisam ser controladas para uma produção eficiente.

Deve-se selecionar os sensores de acordo com as necessidades da aplicação a que ele será submetido, que se mal avaliados podem levar a resultados inesperados e até mesmo desastrosos num projeto (BRAGA, 2012). Apesar do projeto necessitar de um cuidado especial das temperaturas e umidade, não é necessário sensores com precisões muito altas, pois existe uma faixa de tolerância aceitável para manter o ambiente nas condições ideais.

2.4.0.1 Sensor de Temperatura DS18B20 a prova d'água

O dispositivo apresenta um cabo de 1 metro de comprimento, uma ponta de aço inoxidável com dimensão de 6 mm x 50 mm (Figura 5), e, localizado dentro da proteção, o sensor de temperatura digital DS18B20. Segundo as especificações do fabricante PROGRAMMABLE... (2019), o sensor DS18B20 apresenta as seguintes características:

- tensão de operação de 3 VDC a 5,5 VDC;
- mede valores de temperatura de -55°C a 85°C;
- $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ de precisão na medição;
- flag de alarme para o microcontrolador, caso a temperatura saia da faixa configurada;
- método "*parasite power*"(possibilidade de alimentação pelo mesmo pino que são transferido os dados, caso seja feita a configuração correta);
- medição de temperatura de 9 a 12 bits (quanto mais bits, maior variação da precisão de medição e maior tempo de conversão);
- protocolo de comunicação *One Wire*.

Figura 5 – Sensor DS18B20 com a proteção a prova d'água.



Fonte: O Autor, 2022.

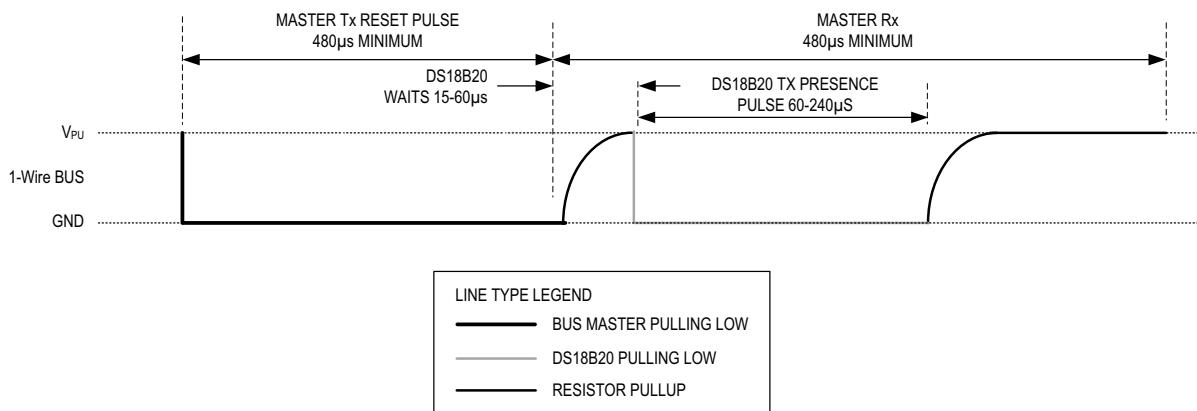
Ainda de acordo com *datasheet*, a comunicação com o sensor é feita através do protocolo *1-Wire*, podendo ser necessário a integração de um resistor de *pull-up* na linha de comunicação para uma maior confiança da troca de dados. O manual define uma sequência para comunicar com o sensor conforme os passos relatados:

1. **Inicialização:** passo que tem a finalidade de inicializar a comunicação entre o sensor e o microcontrolador, consiste em primeiramente o microcontrolador mandar um pulso de *reset* para o sensor, colocando o pino de dados em nível lógico baixo por,

ao menos, $480\ \mu s$. Após isso, o microcontrolador libera a linha, deixando ela voltar para nível lógico alto novamente e, em seguida, fica aguardando (entre 15 a $60\ \mu s$) o sensor mandar um pulso de presença de $60\ \mu s$ a $240\ \mu s$. A Figura 6 apresenta este passo por meio de gráficos para um melhor entendimento.

2. **Comando ROM (Read-Only Memory - Memória Somente de Leitura)**: segunda fase de comunicação que é utilizada para endereçar quais sensores da rede *One Wire* serão acessados. No *datasheet* mostra todos os comandos individualmente que pode ser utilizado nesta fase, por exemplo, o *Skip ROM* para utilizar todos sensores sem ter que selecioná-los.
3. **Comando de Função**: fase que pode iniciar uma nova medição de temperatura, escrever uma nova configuração na memória do sensor, ler temperatura presente na memória, entre outras. Esses comandos são feitos de acordo com o código, geralmente em hexadecimal, informado no *datasheet*.

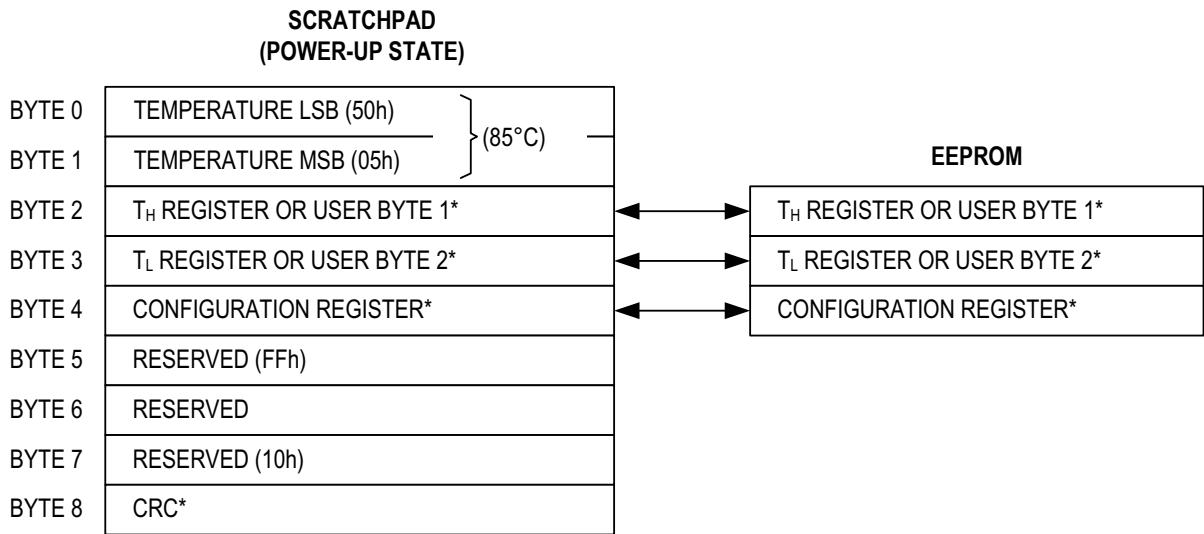
Figura 6 – Tempo de inicialização da comunicação.



Fonte: PROGRAMMABLE... (2019)

A Figura 7 mostra que o sensor possui uma memória RAM (*Random Access Memory - Memória de Acesso Aleatório*) interna de 9 registradores, cada um com a capacidade de 1 *byte*: os bytes 0 e 1 guarda valores da temperatura lida, o valor inicial do campo é de $85^{\circ}C$ por padrão; os bytes 2 e 3 guarda os valores máximo e mínimo aceitável para o alarme não disparar; o byte 4 é responsável por guardar a resolução de temperatura de 9 a 12 bits; do byte 5 ao byte 7 é reservado para o sensor; o último byte contém o CRC (*Cyclic Redundancy Check - Verificação de Redundância Cíclica*), que é responsável por checar se houve algum erro na transmissão dos dados digitais por meio de bits de soma de verificação, de todos os registradores. A memória EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory - Memória Somente de Leitura Programável Apagável*) é responsável por salvar as configurações determinadas até quando o sensor estiver desligado, visto que a memória RAM não faz isso por ser uma memória temporária.

Figura 7 – Memória interna do sensor DS18B20.



*POWER-UP STATE DEPENDS ON VALUE(S) STORED IN EEPROM.

Fonte: PROGRAMMABLE... (2019)

A Figura 8 mostra o formato da leitura de temperatura, em °C, que já vem calibrado de fábrica, dos registradores do *byte* 0 e 1. O primeiro conjunto de 8 bits ("LS BYTE") é formado pelos bits menos significantes do valor da temperatura, de forma em que do bit 2 ao 0 pode ou não ser utilizado, dependendo da configuração utilizada no sensor. O segundo é formado pelos bits mais significantes, sendo que os bits de 15 a 11 são para determinar o sinal do valor (0 para positivo e 1 para negativo).

Figura 8 – Formato da temperatura registrada na memória.

	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
LS BYTE	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	2 ⁻¹	2 ⁻²	2 ⁻³	2 ⁻⁴
	BIT 15	BIT 14	BIT 13	BIT 12	BIT 11	BIT 10	BIT 9	BIT 8
MS BYTE	S	S	S	S	S	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴

S = SIGN

Fonte: PROGRAMMABLE... (2019)

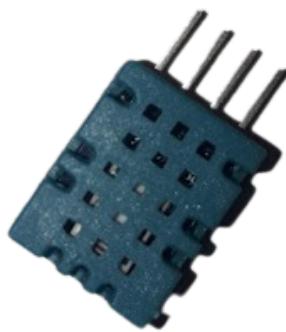
2.4.0.2 Sensor de Umidade e Temperatura DHT11

Dispositivo responsável por medir a temperatura e a umidade relativa do ar no ambiente aviário (Figura 9). O sensor digital é composto por um termistor do tipo NTC para temperatura e um sensor resistivo do tipo HR202 para umidade. Pode-se destacar as principais características do DHT11, de acordo com DHT11... (2019):

- dimensões: (23 x 12 x 5) mm;
- capacidade de medir umidade relativa na faixa de 20% a 90%;

- capacidade de medir temperatura na faixa de 0 °C a 50 °C;
- corrente de operação de 200 μ A a 500 mA;
- $\pm 5,0\%$ de precisão na medição da umidade;
- $\pm 2,0^{\circ}\text{C}$ de precisão na medição da temperatura;
- tensão de operação de 3 VDC a 5,5 VDC.

Figura 9 – Sensor DHT11.



Fonte: O Autor, 2022.

O presente dispositivo também utiliza comunicação *One Wire* para comunicar com o microcontrolador, como o sensor DS18B20. Pode ser necessário o uso de resistor *pull-up* na linha de comunicação para uma transferência de dados mais confiável. Por ser um sensor digital, ele manda os valores de temperatura e umidade por meio de bits, sendo 2 bytes para cada uma das grandezas medidas, um byte mais significativo e o outro menos significativo, e um byte para soma de verificação (DHT11..., 2019). A Figura 10 mostra o formato da temperatura, umidade e o byte de soma de verificação que deve informar, em decimal, quantos bits (dos 32) foram setados em 1.

Figura 10 – Formato da mensagem de comunicação do sensor DHT11.

	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	
umidade (mais significativo)	BYTE 1 + BIT 15	2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰
umidade (menos significativo)	BYTE 2 + BIT 23	2 ⁽⁻⁸⁾	2 ⁽⁻⁷⁾	2 ⁽⁻⁶⁾	2 ⁽⁻⁵⁾	2 ⁽⁻⁴⁾	2 ⁽⁻³⁾	2 ⁽⁻²⁾	2 ⁽⁻¹⁾
temperatura (mais significativo)	BYTE 3 + BIT 31	2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰
temperatura (menos significativo)	BYTE 4 + BIT 39	2 ⁽⁻⁸⁾	2 ⁽⁻⁷⁾	2 ⁽⁻⁶⁾	2 ⁽⁻⁵⁾	2 ⁽⁻⁴⁾	2 ⁽⁻³⁾	2 ⁽⁻²⁾	2 ⁽⁻¹⁾
soma de verificação	BYTE 5	2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰

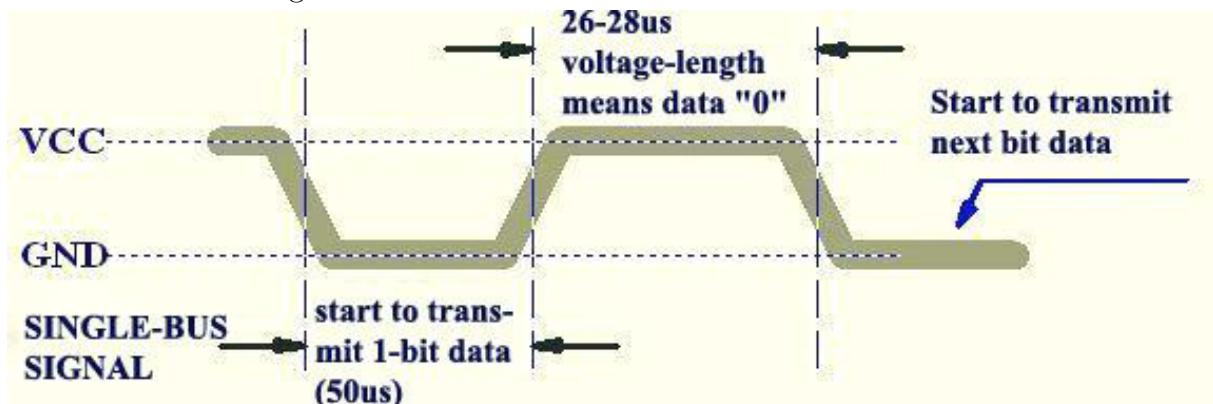
Fonte: Adaptado de DHT11... (2019)

O sensor DHT11 começa sua comunicação depois que o microcontrolador envia um sinal de nível lógico baixo através do pino de dados, por pelo menos 18 ms, fazendo com que o dispositivo saia do modo de baixo consumo de energia para o modo de operação

e fique aguardando o microcontrolador concluir esse sinal (mais conhecido como *reset*). Logo em seguida, depois de 20 μ s a 40 μ s, o DHT11 envia um sinal de resposta de dados de 40 bits (os 5 bytes mostrados na Figura 10 em sequência), ficando em modo de baixo consumo de energia novamente até o microcontrolador chamá-lo novamente.

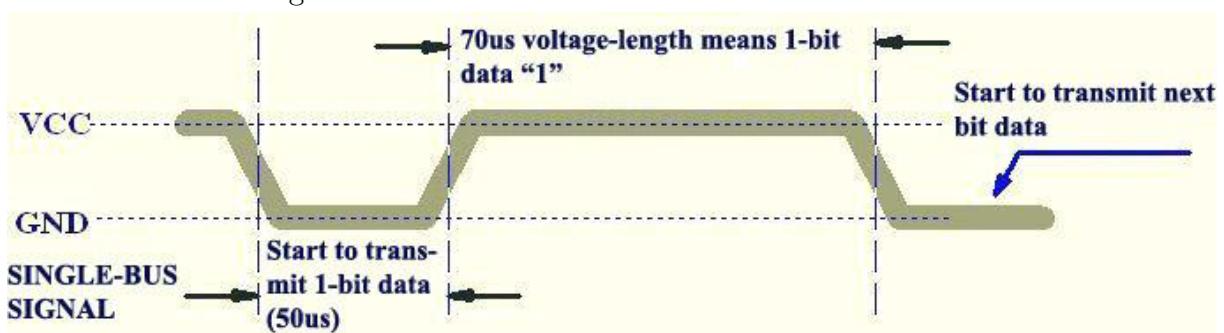
Antes de mandar os 40 bits, o sensor começa enviando um sinal em nível lógico baixo de 80 μ s, e, logo em seguida, deixa a linha de dados por 80 μ s no nível lógico alto. Após mandar esse sinal de resposta, ele começa mandar os bits pelo barramento, de forma que todos os bits de dados começam com o nível lógico baixo por 50 μ s e vai para o nível lógico alto. O que determina se o bit é "0" ou "1" é o tempo em que a linha ficou no nível lógico alto após sair do baixo, de forma que se for "0", o tempo é de 26-28 μ s (Figura 11), e quando o tempo for de 50 μ s, foi indicado o bit "1" (Figura 12). As Figuras 11 e 12 mostram, por meio de gráficos, o momento em que um determinado bit é caracterizado.

Figura 11 – DHT11 indicando o bit com valor de 0.



Fonte: DHT11... (2019)

Figura 12 – DHT11 indicando o bit com valor de 1.



Fonte: DHT11... (2019)

2.5 Atuadores

No âmbito da automação de sistemas industriais, Thomazini e Albuquerque (2020) argumenta que os atuadores são dispositivos que modificam uma variável controlada.

Essa modificação ocorre depois de receber um sinal de comando do controlador, uma mudança normalmente mecânica, como uma alteração de posição ou velocidade (GROOVER, 2011). Pode-se citar, como exemplo de atuadores (pneumáticas, hidráulicas), as válvulas (estáticos, eletromecânicos), relés (estáticos, eletromecânicos), motores (*step-motor*, *syncro*, servomotor) e solenoides.

Groover (2011) classifica o tipo de amplificador utilizado pelos atuadores, em sua maioria, em três categorias:

- atuador elétrico: o mais comum das categorias, pode ser tanto linear (deslocamento linear de saída) como rotativo (deslocamento angular de saída);
- atuador hidráulico: utiliza fluido hidráulico para amplificar o sinal de comando do controlador, podendo ser linear ou rotativo;
- atuador pneumático: utiliza ar comprimido como energia propulsora, podendo oferecer movimento rotativo ou linear, como as outras categorias;

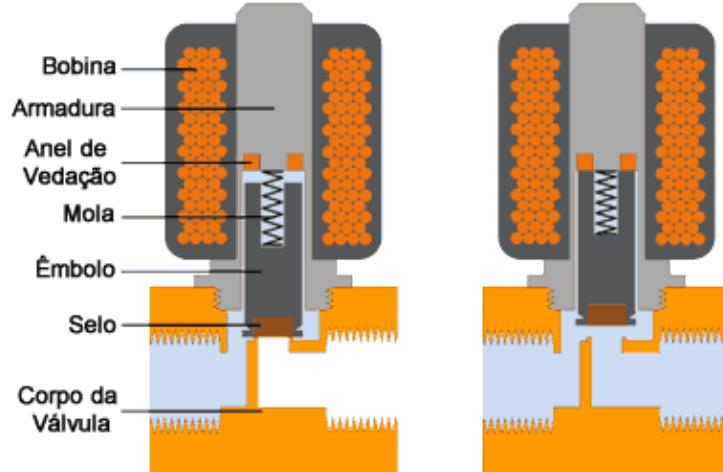
2.5.1 Válvula Solenoide

A válvula solenoide é um dispositivo eletromecânico que tem a finalidade de controlar o fluxo de fluidos. De modo geral, seu funcionamento abre ou fecha a passagem do fluido quando ela é energizada, baseado no deslocamento causado pela ação de um campo magnético gerado por uma bobina elétrica com um núcleo ferromagnético móvel, que também é chamado de êmbolo (SILVA; LAGO, 2002; SILVEIRA, C. B., 2017). Quando o campo magnético é criado pela corrente elétrica, ela exerce uma força no êmbolo que por sua vez é puxado em direção ao centro da bobina.

Nos dispositivos do tipo normalmente fechado, quando estão em posição de repouso, o êmbolo tampa orifício por onde o fluido consegue circular, e só é liberado quando a válvula é energizada. No tipo normalmente aberto é o mesmo princípio, mas o êmbolo deixa o fluido circular normalmente e, quando uma corrente elétrica circula através da bobina, ele impede a circulação do fluido. Em questões de vias, a válvula mais simples existente é a do tipo 2/2, em que ela apresenta duas portas (uma de entrada e outra de saída) e duas posições possíveis (aberta ou fechada) (SILVEIRA, C. B., 2017). A Figura 13 apresenta o esquema de uma válvula normalmente fechada de 2/2 vias.

Um exemplo usual desse dispositivo é a válvula solenoide VA 04 (Figura 14) tem um ângulo de 180 graus entre o cano de entrada e saída da água, tem um funcionamento normalmente fechada (abre quando a corrente elétrica é circulada), suporta água de temperatura máxima de 60°C, entrada e saída do cano de 3/4", corrente nominal de 74 mA e uma vazão máxima de 40 L/min.

Figura 13 – Esquema típico de uma válvula solenoide.



Fonte: Cristiano Bertulucci Silveira (2017)

Figura 14 – Válvula Solenoide para água 127 VDC.



Fonte: O Autor, 2022.

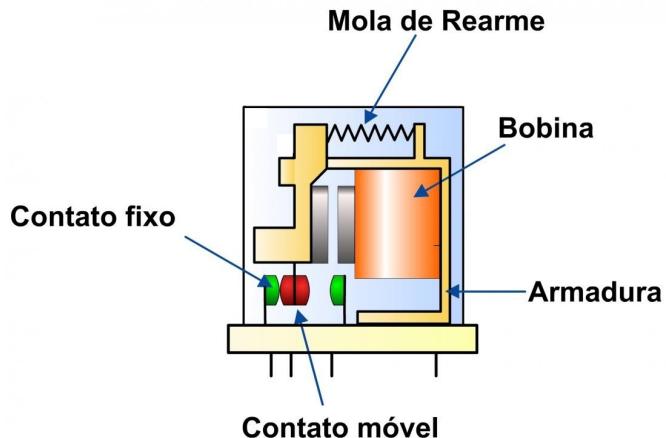
2.5.2 Relé eletromecânico

O relé eletromecânico tem o princípio de fazer uma operação em um contato utilizando uma força mecânica em resposta a um estímulo (RUSH, 2011). Esse estímulo basicamente é dado pelo sinal de comando vindo do controlador. Conforme Stroski (2018), em suma, a força mecânica do atuador opera o contato por um eletroímã que recebe

corrente elétrica e produz um campo magnético, atraindo um pedaço metálico ligado ao contato móvel.

RUSH (2011) declara que, apesar dos relés eletromecânicos poderem ser classificados em diferentes tipos, somente o relé de atracamento (contato móvel) tem sido significativamente utilizado atualmente. Ainda conforme o autor, a movimentação da armadura que causa abertura ou fechamento do contato, com ela transportando um contato móvel que engata em um contato fixo. A Figura 15 mostra a organização dos componentes presentes internamente em um relé de atracamento típico. A mola de rearme é responsável por restaurar o contato móvel para sua posição original no momento em que a bobina parar de ser alimentada.

Figura 15 – Relé típico de atracamento.



Fonte: Stroski (2018)

Para fazer o uso de relés em microcontroladores, pode-se utilizar módulos relé para facilitar o uso, além de ter uma proteção extra ao circuito que opera em baixas tensões. O módulo relé mostrado na Figura 16 é composto por 4 relés (4 canais). Para utilizá-lo, basta alimentá-lo e mandar o sinal ao determinado relé para abrir ou fechar o contato.

2.6 Internet das Coisas e Sistemas Embarcados

De acordo com Gogoni (2019), o conceito de *Internet das Coisas* (IoT - *Internet of Things*) se refere a uma enorme rede de dispositivos, que são além dos habituais, conectadas. O advento da IoT acabou gerando o aumento da comunicação entre máquinas pela *Internet*, o desenvolvimento de diversos utensílios, além de microdispositivos, como sensores que tornam-se partes integrantes da *Internet* (MAGRANI, 2018). Segundo Silva Braga *et al.* (2018), essa ferramenta se tornou uma ferramenta valiosa, à medida que tem proporcionado benefícios, na saúde e economia, desde as interações mais básicas do cotidiano, até aos avanços mais complexos. O fato é que essa tecnologia tende a

Figura 16 – Módulo Relé 5V 4 Canais.



Fonte: O Autor, 2022.

crescer ainda mais com o passar dos tempos em consequência dos dispositivos eletrônicos reduzirem o preço e o tamanho.

Sinclair (2018) incentiva os negócios adotarem a tecnologia IoT em seus produtos, justificando os possíveis benefícios a se ganhar:

As empresas que não entram no mercado na hora certa, com uma oferta de IoT, enfrentarão fortes ventos contrários, e os retardatários não serão capazes de alcançar os precursores, tornando suas ofertas obsoletas. Há mais aqui, porém, do que uma simples corrida a pé. A IoT transforma a maneira como as empresas competem, e, no processo, muda as condições do campo de jogo, deixando-o de maneira que não é óbvia hoje. A IoT pode alterar as fronteiras da competição, eliminar os intermediários fracos, absorver categorias de produtos convencionais e transformar os modelos de negócios em si no mais importante de todos os atributos. Parece improvável? Pense na diferença em inteligência de mercado entre o Uber e as empresas convencionais de táxis. Talvez dez vezes, cem vezes? Essa é a alavancagem decorrente de partir na frente com um produto IoT.

2.7 Estado-da-arte

No artigo de Alecrim, Campos e Tadayuki Yanagi Júnior (2013), foi desenvolvido um sistema para controle e supervisão do ambiente térmico para aviários, conseguindo um bom controle de temperatura para os animais. Apesar de ser uma fonte de embasamento, o sistema desse projeto não é conectado à rede.

Um projeto relacionado a essa área é a tese de doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental de Marcelo Eduardo de Oliveira *et al.* (2018) e Marcelo Eduardo de Oliveira (2019), que consistiu em desenvolver todo o sistema com vários sensores de temperatura e umidade no ambiente de criação de frangos para fazer o controle automático ou remotamente. O trabalho foi interessante, mas com um sistema embarcado de custo um pouco elevado comparado ao protótipo presente desenvolvido. Isso se deu ao alto número de sensores, atuadores e dispositivos de alto processamento, como o Raspberry Pi 3 Model B+. O sistema também não monitorava a temperatura da água que os animais consomem, que é uma variável relevante à vista disso.

Na monografia de Lima Junior (2017), foi implementado um sistema conectado à *Internet* com o objetivo de alcançar um baixo custo e menor complexidade. Foi utilizado um sensor DHT11 para captar a temperatura e umidade do ambiente, e a possibilidade de acionar ventiladores e lâmpadas. Seus controladores consistiam em um Rasberry Pi 3 Model B e um Arduino Uno Rev3, sendo, respectivamente, um para processar e hospedar a interface Web, e o outro para processar as informações dos sensores e controlar os atuadores. Um interessante trabalho para época, visto que a tecnologia IoT era ainda mais nova que atualmente. Visto que um dos objetivos do trabalho era alcançar um baixo preço, observa-se que essa ideia pode ser aperfeiçoada, de modo que pode-se adotar apenas um microcontrolador, como o ESP32.

O trabalho de Ramadiani *et al.* (2021) desenvolveu um sistema que monitora a temperatura e umidade pelo sensor DHT11, utilizando o controlador Arduino ATMega328. O controle era feito quando a temperatura tornasse alta, uma bomba d'água acionava o nebulizador no ambiente. Teve um baixo custo de desenvolvimento, ajudou os produtores a manter a temperatura do ambiente aviário mais estável. A desvantagem é dada pela interface ser feita por meio de um LCD, e o controle ser feito por apenas nebulizadores, faltando renovação do ar.

3 METODOLOGIA

Este capítulo tem a finalidade de elucidar as etapas metodológicas necessárias para o desenvolvimento do presente trabalho.

3.1 Classificação da pesquisa

Uma pesquisa pode ser classificada por várias características. Algumas das modalidades de classificação de Gerhardt e Denise Tolfo Silveira (2009) são utilizadas: quanto à abordagem, este estudo se encaixa em uma pesquisa quantitativa, visto que o sistema a ser desenvolvido tem preocupação apenas com números, cálculos e lógicas matemática, como os valores das temperaturas e umidade, que são caracterizado como atributos mensuráveis; quanto à natureza, o objetivo do trabalho é gerar conhecimentos para aplicação prática da produção avícola, à vista disso, sendo classificada como uma pesquisa aplicada.

Para Gil (2002), as pesquisas podem ser classificadas com base em seus objetivos e com base nos procedimentos técnicos utilizados, sendo a caracterização do presente trabalho definida por essas modalidades, respectivamente: pesquisa exploratória, pois levanta-se a hipótese de que é possível criar um sistema de baixo custo que irá auxiliar em pequenas produções avícolas, e que pode ser caracterizado como um aprimoramento de ideias; como o processo de pesquisa é dado pela participação ativa do pesquisador e do objeto estudo (sistema), de forma em que será feito testes com a finalidade de encontrar o melhor resultado, sendo desenvolvido uma prototipagem final, a modalidade pode ser classificada como pesquisa-ação.

No âmbito da computação, Wazlawick (2009) fomenta as possíveis classificações da área, que são denominadas "Estilos de Pesquisa Correntes em Computação". Nesse contexto, esta pesquisa se encaixa melhor no estilo "Apresentação de algo Presumivelmente Melhor", devido o produto de desenvolvimento ter algumas semelhanças com alguns trabalhos relacionados, mas, até o momento presente, não encontra-se nenhum sistema de monitoramento e controle térmico conectado à *Internet* com foco no baixo custo.

3.2 Solução

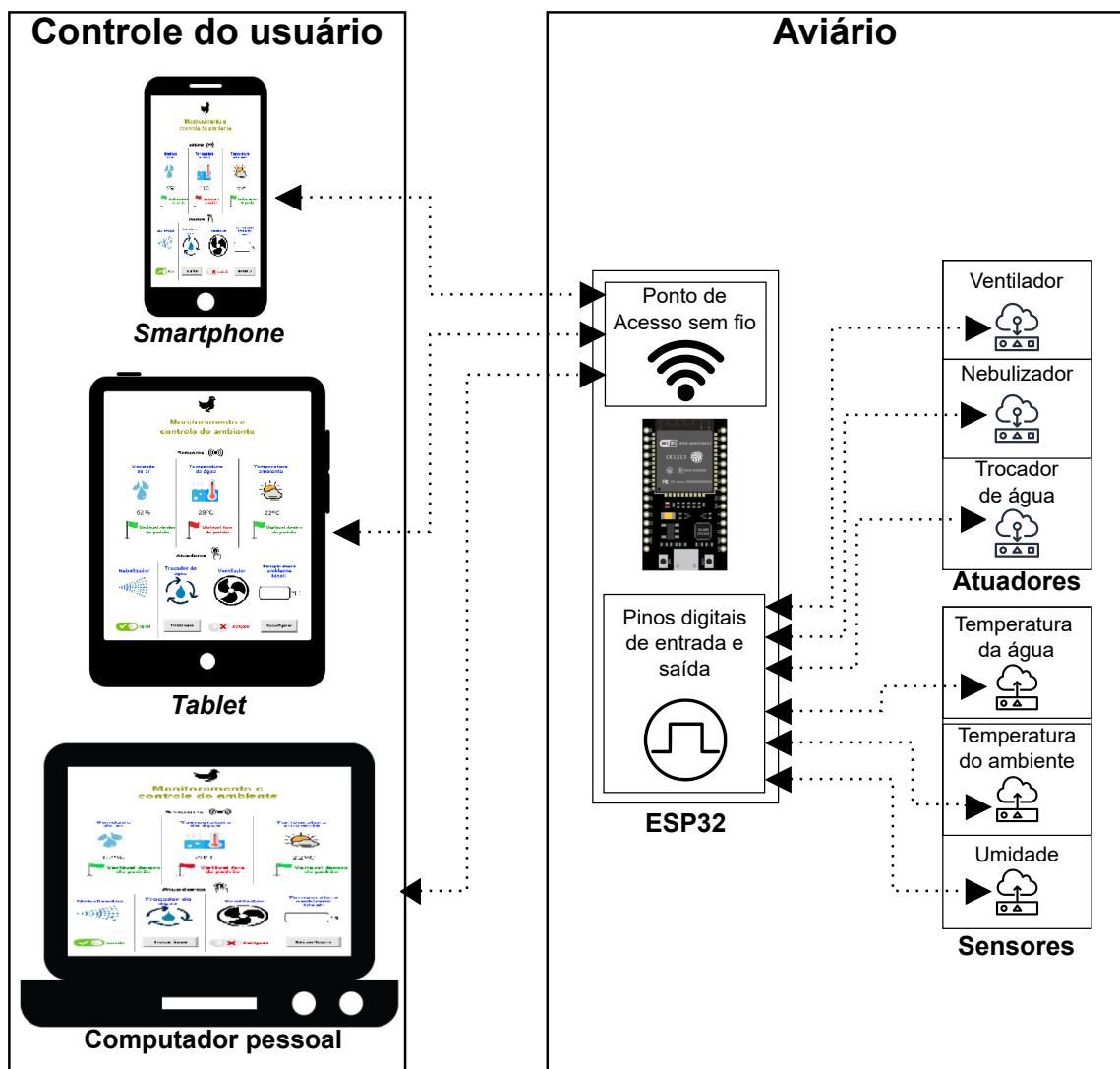
Como solução do problema identificado, foi desenvolvido um protótipo de um sistema de monitoramento e controle do ambiente aviário de baixo custo, desde que o pequeno avicultor já tenha alguns equipamentos básicos de criação do aviário, como ventiladores e nebulizadores instalados no local.

Toda a parte de controle e monitoramento do sistema é feita pelo usuário, sendo que ele pode optar por um controle automático ou manual. Quando o atuador está no modo automático, seu funcionamento depende dos parâmetros de acionamento que

podem ser alterados pelo usuário. Caso optar pelo modo manual, o equipamento liga e desliga quando o usuário realizar a ação pela interface do sistema.

A interface do sistema é onde o usuário realiza controle e monitoramento do aviário. O acesso à essa interface é feito através de uma página *Web* hospedada no microcontrolador, que é acessada através do *WiFi*. O ESP32 consegue ser programado para construir uma interface *Web* que é acessada através do IP (*Internet Protocol*) responsável por identificar o microcontrolador dentro da rede que ele mesmo está gerando. Esse servidor *Web* se comunica com o cliente por meio do protocolo *HTTP*. Um esquemático dessa conexão é mostrada na Figura 17.

Figura 17 – Esquemático da conexão do microcontrolador com a rede local.



Fonte: O Autor, 2022.

O sistema traz o benefício para o pequeno avicultor controlar três atuadores que tentam melhorar as condições do ambiente: um ventilador para renovação do ar

ambiente e melhorar a sensação térmica das aves; um nebulizador para fazer o resfriamento evaporativo do ar; um trocador de água que contém uma válvula solenoide para realizar a troca da água presente no bebedouro tipo *nipple*, que, de modo geral, é um bebedor que possui vários bicos de ingestão da água contida dentro de um cano instalado de forma longitudinal.

Os atuadores podem ser acionados remotamente via interface *Web*, ou funcionar de maneira automática. Cada atuador tem sua lógica de acionamento e parâmetros de acionamento, que podem ser configurados pelo usuário ou deixar funcionando pelo valor predefinido pelo sistema.

3.3 Materiais e Tecnologias

O trabalho fará o uso de algumas ferramentas de desenvolvimento (Seção 3.3.1) e também alguns materiais que estão incluídos no protótipo do sistema embarcado (Seção 3.3.2).

3.3.1 Ferramentas utilizadas

Para desenvolver os códigos do sistema embarcado foi utilizado as plataformas apresentada na Tabela 2. As plataformas foram executadas em um *Notebook Samsung Expert X23 NP300E5M i5-7200U* com um sistema operacional *Windows 10 Pro* 64-bits.

Tabela 2 – Plataformas de *software* utilizadas para o desenvolvimento.

Item	Utilização
Google Chrome	Navegador utilizado para testes da interface <i>Web</i> .
<i>Visual Studio Code</i>	Editor de código-fonte para o desenvolvimento da interface <i>Web</i> .
Arduino IDE	Ambiente de desenvolvimento do código presente no microcontrolador.
KiCad	<i>Software</i> utilizado para construir o desenho da placa de circuito impresso.

Fonte: O Autor, 2022.

Para conseguir compilar o código do microcontrolador, faz-se necessário instalar as bibliotecas apresentadas na Tabela 3. Essas bibliotecas foram instaladas no ambiente de desenvolvimento Arduino IDE.

Tabela 3 – Bibliotecas utilizadas no desenvolvimento do código do microcontrolador.

Biblioteca	Autor	Descrição
DallasTemperature	Paul Stoffregen	Biblioteca feita para utilizar o sensor de temperatura DS18B20 da <i>Maxim Integrated</i> (antiga Dallas).
OneWire	Miles Burton	Utilizada para acessar os dispositivos que utilizam o protocolo <i>1-Wire</i> .
DHT	Adafruit	Responsável por toda a conversão dos sinais digitais para leitura dos valores do sensor DHT11.
SPIFFS	Peter Andersson	Biblioteca responsável por acessar a memória flash do microcontrolador.
WiFi	Espressif	Utilizada para fazer acesso às redes sem fio.
ESPAsyncWebServer	Espressif	Biblioteca responsável por tornar a página Web do sistema em uma conexão assíncrona, permitindo atualizações de valores sem atualizá-la.

Fonte: O Autor, 2022.

As tecnologias utilizadas para construir a interface *Web* são mostradas na Tabela 4.

Tabela 4 – Tecnologias utilizadas no desenvolvimento página *Web*.

Item	Utilização
HTML (<i>HyperText Markup Language</i> — Linguagem de Marcação de Hipertexto)	Linguagem base para construir os elementos da página <i>Web</i> .
CSS	Linguagens utilizadas para construção da página <i>Web</i> .
JavaScript	Linguagens utilizadas para construção da página <i>Web</i> .
Bootstrap	<i>Framework</i> que auxilia no desenvolvimento da página <i>Web</i> .

Fonte: O Autor, 2022.

Por fim, as ferramentas físicas utilizadas para desenvolver o sistema embarcado são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Ferramentas físicas que foram utilizados no desenvolvimento do protótipo.

Item	Utilização
Fonte de alimentação 5 VDC	Componente responsável por alimentar o microcontrolador.
<i>Protoboard</i>	Placa de ensaio utilizada para simulações do circuito do sistema.
<i>Jumpers</i>	Cabos utilizados para conectar os componentes eletrônicos.
Cabo Micro USB	Responsável por transferir o código do computador para o microcontrolador e alimentá-lo em alguns casos de teste.
Multímetro	Equipamento eletrônico utilizado para medir a tensão elétrica.
Ferro de solda	Equipamento utilizado para soldar as conexões elétricas da placa e dos fios.
Perfurador para placa de circuito impresso	Ferramenta responsável por perfurar as devidas entradas dos dispositivos na placa.
Percloreto de ferro	Utilizado para corrosão da placa para confeccionar o circuito impresso.

Fonte: O Autor, 2022.

3.3.2 Materiais do protótipo

A Tabela 6 apresenta todos os materiais utilizados no protótipo e sua função no sistema.

Para monitorar a temperatura e umidade do ambiente aviário, e a temperatura da água do bebedouro das aves foi necessário três sensores digitais. Dois sensores DS18B20, um responsável por medir a temperatura da água localizada dentro da caixa d'água do aviário. E um sensor DHT11 que mede a temperatura e a umidade do ambiente aviário.

Tabela 6 – Materiais presentes no protótipo.

Item	Utilização
Fios de cobre	Utilizado para fazer as conexões internas da caixa do protótipo.
Placa de desenvolvimento ESP32 Devkit v1 - DOIT.	Controlador responsável por comunicar com toda as partes do sistema e fazer o controle
Placa de fenolite	Placa com uma fina camada de cobre utilizada para abrigar o circuito impresso do sistema.
Válvula Solenoide para água 127 VAC com entrada e saída de 3/4	Dispositivos utilizado para realizar a troca de água do bebedouro das aves.
Módulo Relé 5V 4 Canais	Utilizado para realizar o acionamento dos atuadores do sistema.
Sensor de Temperatura DS18B20 a prova d'água	Mede a temperatura da água e encaminha a informação ao ESP32.
Sensor de Umidade e Temperatura DHT11	Mede a temperatura e umidade do ambiente aviário e encaminha a informação ao ESP32.
Resistor de $4,7k\ \Omega$ no mínimo de 1/4 de watt	Utilizado nas vias do protocolo 1-Wire para garantir uma leitura correta dos sensores.
Cabo blindado CAT5	Cabo de rede utilizado para alimentar os sensores reduzindo a interferência do campo magnético para garantir uma leitura correta.
Fonte de alimentação 5 V 2 A	Equipamento que alimenta os sensores, o módulo relé e o ESP32.

Fonte: O Autor, 2022.

3.4 Ambiente de experimento

Com o sistema todo desenvolvido, passado por testes e verificado que está funcionando perfeitamente, o sistema passou para um ambiente de teste real. Esse ambiente está localizado no Instituto Federal De Educação Ciência E Tecnologia De Minas Gerais - *Campus Bambuí*, na cidade de Bambuí, Minas Gerais, em um aviário. A Figura 18 mostra o ambiente aviário.

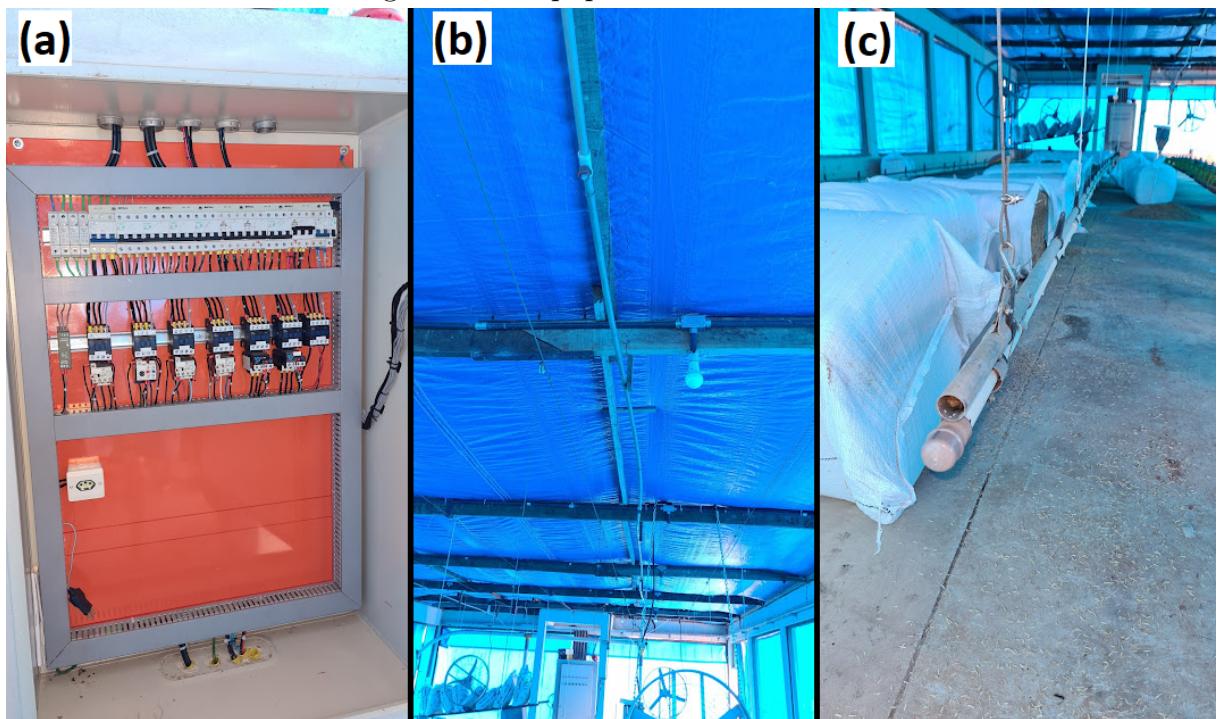
O protótipo foi instalado no aviário com o objetivo de avaliar o funcionamento do sistema e sua eficiência. O sensor de temperatura e umidade deve ficar localizado no meio do aviário, na altura dos frangos de corte. Um dos canos dos bebedouros tipo *nipple* foi adaptado para funcionar com o sistema, adicionando as válvulas de entrada e saída da água, juntamente com o sensor de temperatura da água. O acionamento do ventilador e nebulizador será feito com a ajuda do contator instalada no ambiente, de modo que os relés do microcontrolador mandará sinais para ligar/desligar o atuador devido. A Figura 19 mostra os equipamentos presente no aviário.

Figura 18 – Aviário de experimento.



Fonte: O Autor, 2022.

Figura 19 – Equipamentos do aviário.



Legenda: (a) Painel de força e comando; (b) Nebulizador e (c) Bebedouro tipo *nipple*.

Fonte: O Autor, 2022.

3.5 Métodos e Procedimentos

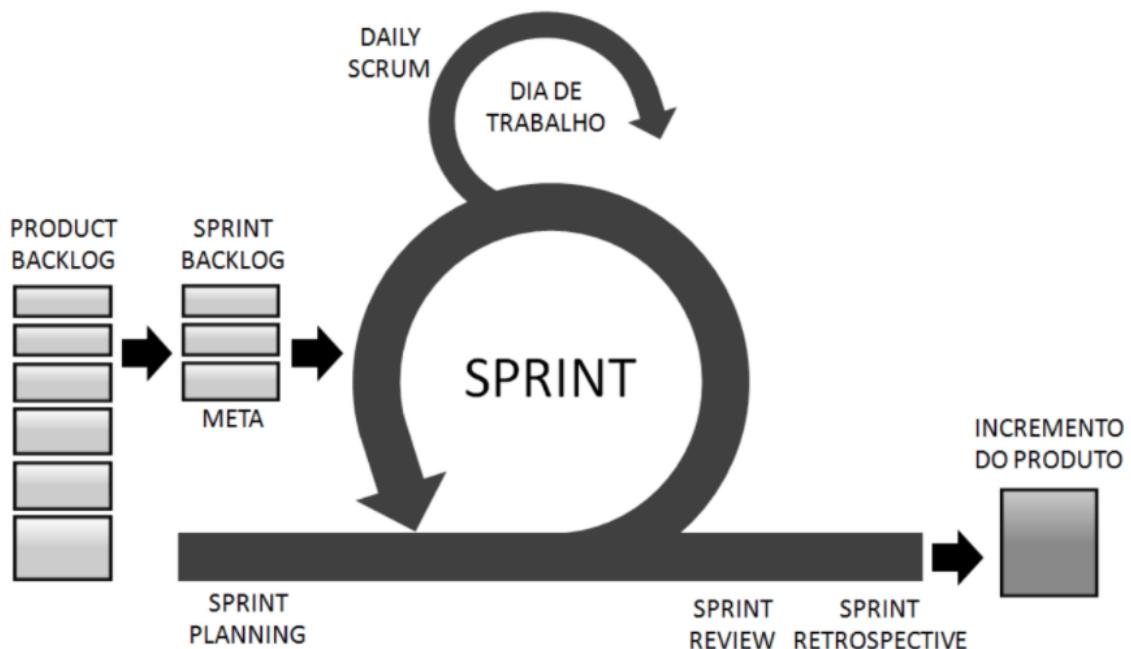
3.5.1 Metodologia de desenvolvimento

Para o processo de desenvolvimento, foi utilizado o *Scrum*, que é um *framework* de metodologia ágil. Sabbagh (2014) aponta que a ferramenta vinha sendo utilizada por organizações de diversos tamanhos, de multinacionais a *startups*, e, quando aplicada de maneira correta em um projeto, pode-se esperar os seguintes benefícios: entregas frequentes de retorno ao investimento dos clientes; redução dos riscos do projeto; maior qualidade no produto gerado; mudanças utilizadas como vantagem competitiva; visibilidade do progresso do projeto; redução do desperdício; aumento de produtividade.

O orientador teve o papel de *Product Owner* e *Scrum Master*, e a equipe de desenvolvimento será composta apenas pelo orientando do trabalho, acontecendo reuniões de *Sprint* em um período de 7 dias (a cada uma semana) para novas orientações e observações do projeto.

O *Product Backlog* contará com estórias de todos os tipos necessários para desenvolver o trabalho, como revisões bibliográficas de materiais, consulta a manual, desenvolvimento de *hardware* e *software*, simulações, entre outras. O *Product Backlog* é composto por todas as tarefas que precisam ser feitas, o *Sprint Backlog* ficam as tarefas que foram almejadas para acabar no presente *Sprint*, como pode-se ver o ciclo completo do Scrum na Figura 20.

Figura 20 – O ciclo do Scrum.



Fonte: Sabbagh (2014)

Para um melhor controle do fluxo de desenvolvimento de trabalho, foi adotada

a ferramenta Trello¹, que auxilia no gerenciamento de projetos em listas, para utilizar um quadro de *Kanban*, como está apresentado na Figura 21 com as atividades que precisam ser feitas com uma lista inclusa em cada cartão.

Figura 21 – Quadro de *Kanban* com tarefas iniciais.

To Do	Doing	Done
Compra dos componentes Oct 22 0/2	Referencial teórico Oct 14 0/3	+ Add a card
Introdução Oct 19 0/1		
Lógica de controle de acionamento Oct 22 0/2		
+ Add a card		

Fonte: O Autor, 2022.

3.5.2 Definição dos requisitos

Após realizar estudos, obter relatos de especialistas da área de avicultura e uma visita realizada ao aviário de ambiente de experimento, foi feito um levantamento de requisitos com a finalidade de suprir as reais necessidades do avicultor.

Os requisitos são divididos em duas categorias maiores: não funcionais e funcionais. Os requisitos não funcionais são aqueles relacionados a forma que o sistema será desenvolvido para tornar realidade o que está sendo planejado. Já os requisitos funcionais descrevem os problemas e necessidades que devem ser resolvidos pelo sistema.

1. Requisitos Não Funcionais

- a) Requisitos Operacionais
 - i. O sistema deve funcionar em qualquer navegador *Web*
 - ii. O usuário poderá escolher entre funcionamento automático e manual dos equipamentos
 - iii. O usuário poderá ligar e desligar qualquer um dos atuadores
- b) Requisitos de Desempenho
 - i. Os valores das condições do ambiente captadas pelos sensores deve ser atualizada na interface a cada cinco minutos

¹ <https://www.trello.com/>

c) Requisitos Segurança

- i. O sistema deverá ter uma alguma forma de autenticação antes do acesso à interface

d) Requisitos Cultural e Político

- i. Nenhum requisito cultural e político foi proposto

2. Requisitos Funcionais

a) Interface

- i. A página *Web* deve ser simples e de fácil compreensão
- ii. A interface deve ser responsiva, pois ela poderá ser acessada em diferentes tamanhos de tela

b) Custo

- i. O preço final do produto deve ser acessível aos pequenos produtores

3.5.3 Procedimentos

Como foi argumentado no capítulo 1, o presente trabalho é caracterizado pelo desenvolvimento de um sistema que auxiliará os pequenos ambientes de criação de frango. Assim, foi necessário iniciar o primeiro passo realizando pesquisas mais profundadas sobre os animais e os locais de criação. Após a fundamentação, foi feito uma atividade de confirmação, que será realizada de forma eficaz e com rapidez, dos equipamentos necessários para o desenvolvimento do projeto, analisando os manuais e comparando com os requisitos da aplicação, para maior segurança do projeto e da compra. O ambiente de desenvolvimento de *software* e *hardware* foi sendo preparado durante o período de chegada dos equipamentos.

Após a chegada do controlador e dos demais sensores, iniciou-se o processo de implementação dos componentes de *software*, configuração dos sensores e, consequentemente, permitir a leitura das variáveis do ambiente de criação. Juntamente a isto, foi desenvolvido o acionador responsável por trocar a água de consumo dos animais, tanto a parte mecânica, quanto a parte lógica.

Com os sensores e atuadores funcionando corretamente no controlador, foi desenvolvida a interface do servidor *Web*, estudando as linguagens de desenvolvimento *Web*, focando em um baixo custo de processamento, devido à pequena capacidade do microcontrolador trabalhar como servidor. Em seguida, com o servidor *Web* operando internamente, foi feito as devidas configurações para a interface poder operar externamente.

Para desenvolver a automação dos atuadores, foram realizados estudos e testes, com a finalidade dos acionamentos do sistema serem feitos de forma inteligente e eficaz.

Em paralelo a isso, foi feita as calibragens dos sensores para o sistema ter os valores mais próximos do real.

O acabamento do projeto consistiu na validação da precisão dos sensores comparada com resultados obtidos em sensores industriais e da aplicação do sistema no ambiente de experimento. Esse experimento consistiu na captação dos valores dos sensores a cada hora durante dias. Na primeira instância, o aviário terá seu funcionamento de forma tradicional, sem o auxílio do sistema. Na outra instância, o aviário funcionará de forma automática, sendo controlada pela aplicação. No final das captações, foi comparado os resultados dos sensores com e sem o auxílio do sistema embarcado.

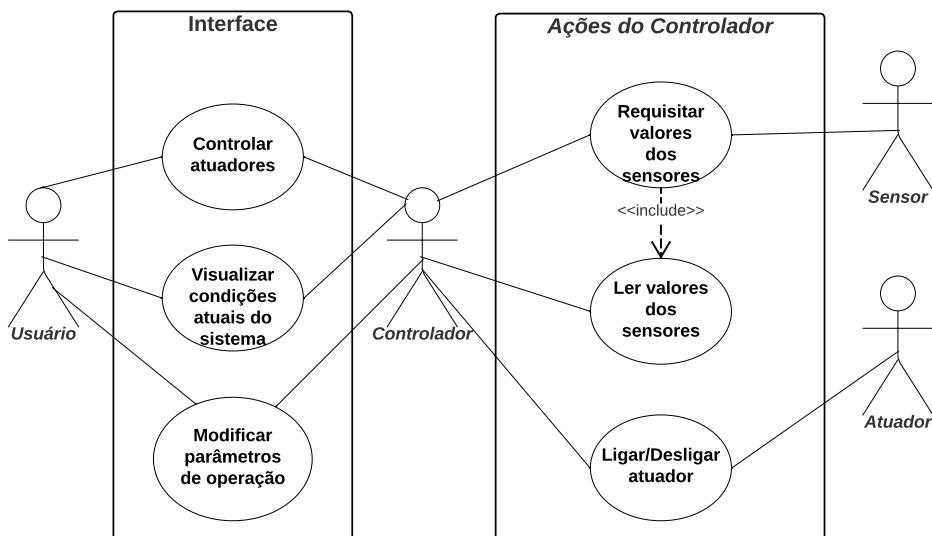
4 DESENVOLVIMENTO

O sistema embarcado pode ser dividido em quatro partes maiores que interagem entre elas para realizar o funcionamento correto do sistema:

- **Sensor:** realiza medidas das condições presentes no aviário e encaminha essa informação ao controlador quando requisitado;
- **Controlador:** requisita e recebe informações dos sensores, interage com o usuário através da interface e realiza o acionamento dos atuadores;
- **Atuador:** equipamento que atua de acordo com o sinal dado do controlador, tem a finalidade de modificar uma condição presente no aviário;
- **Usuário:** avicultor que irá monitorar e controlar o sistema embarcado do aviário.

O diagrama de caso de uso na apresentado na Figura 22 demonstra como essas partes do sistema se interagem, sendo que cada uma delas representa um ator. Os casos de uso do diagrama são especificados ao longo deste capítulo. Depois da Seção 4.1 apresentar os detalhes da construção do protótipo de sistema embarcado, a Seção 4.2 detalha a requisição dos valores dos sensores e a leitura deles. Em seguida, a Seção 4.3 descreve a lógica de funcionamento automático de cada atuador e sua devida ligação elétrica. Por último é apresentado a Seção 4.4, que especifica os casos de uso da interface entre o usuário e o controlador e apresenta as telas da página *Web*.

Figura 22 – Diagrama de caso de uso do funcionamento geral do sistema embarcado.

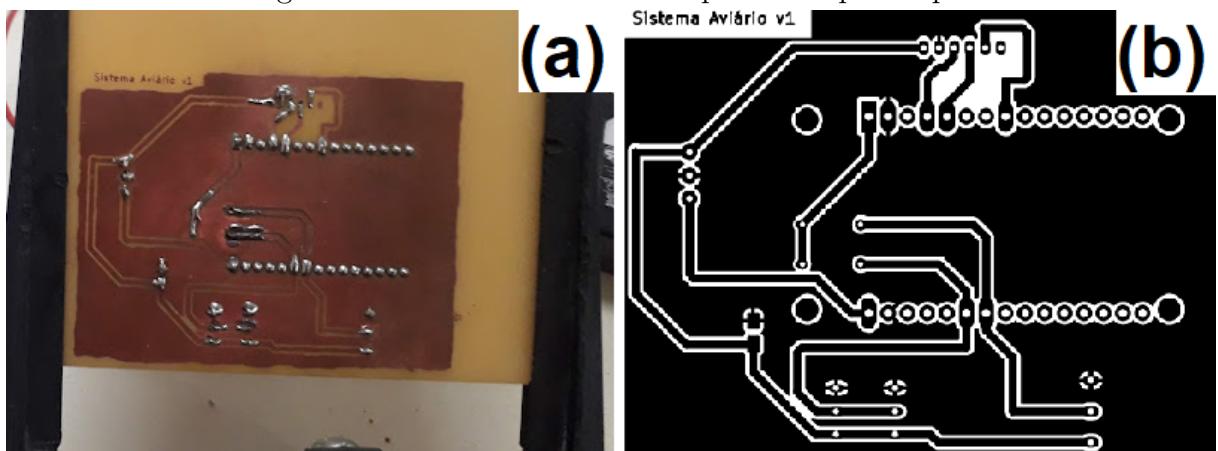


Fonte: O Autor, 2022.

4.1 Protótipo

O desenvolvimento do protótipo teve como finalidade facilitar a instalação do sistema em um ambiente aviário e estender a vida útil do produto. Para isso, foi construído uma placa de circuito impresso (Figura 23 para torná-lo mais compacto e evitar o uso excessivo de fios, que aumenta a chance de interferências.

Figura 23 – Placa de Circuito Impresso do protótipo.



Legenda: (a) Placa com o seu circuito confeccionado e soldado; (b) Circuito da placa.

Fonte: O Autor, 2022.

A placa do protótipo, o módulo relé 4 vias e a fonte de 5 VDC 2 A, que alimenta todos dispositivos presente na placa, foram introduzidos internamente em uma caixa. Do lado externo da caixa ficou apenas as entradas e saídas que necessitam ser conectadas para o funcionamento do sistema: uma tomada macho de alimentação 127 VAC, uma tomada fêmea para conectar a válvula solenoide, bornes para conexões dos sensores e outros bornes para seccionamento da fase que chega no contator. A Figura ?? apresenta a caixa do protótipo externamente e internamente.

Todas as ferramentas utilizadas para desenvolver o protótipo estão especificados na Seção 3.3, tanto na parte de desenvolvimento do *software* quanto na parte do *hardware*.

4.2 Sensores

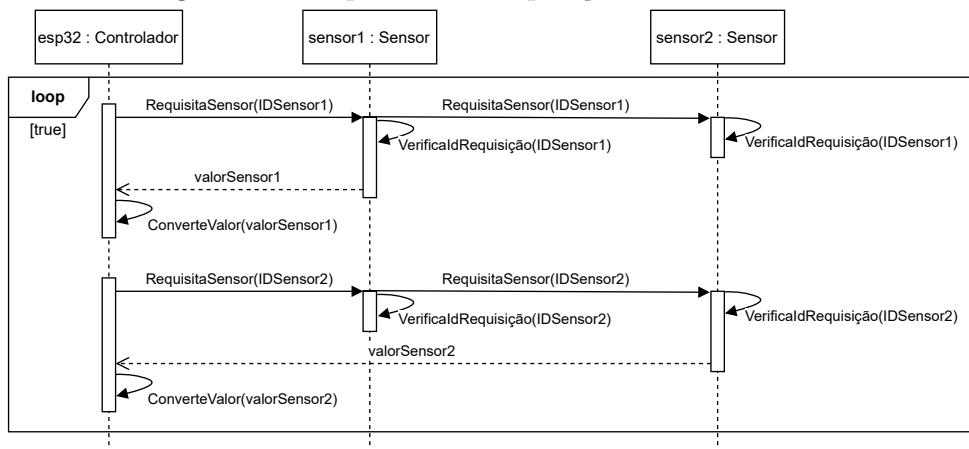
O sistema embarcado desenvolvido possui três sensores para monitorar as condições do aviário: um sensor DHT11 para monitorar a temperatura e a umidade do ambiente; um sensor DS18B20 a prova d'água para medir a temperatura da água do bebedouro das aves; outro sensor DS18B20 a prova d'água para receber o valor da temperatura da água presente na caixa d'água.

Como todos os sensores do sistema utilizam o protocolo de comunicação *One-Wire*, eles somente encaminham seus valores quando são requisitados pelo controlador. Depois do controlador reconhecer todos os sensores presente na mesma linha de dados, ele

começa a realizar requisições aos sensores, deixando claro qual sensor ele está requisitando no momento.

O diagrama de sequência da Figura 24 apresenta o funcionamento do sistema na parte de requisição e leitura dos valores recebidos. Toda vez que o controlador realiza uma requisição, todos os sensores que estão conectados naquela linha de comunicação recebem aquela mensagem. O único dispositivo que responderá aquela mensagem é o que representa o identificador requisitado ("IDSensor1" ou "IDSensor2"). O sensor verifica se aquele identificador requisitado pertence a ele, decidindo se deve ou não retornar um valor. Apesar do diagrama demonstrar o sensor retornando a mensagem apenas para o controlador, todos os sensores naquela linha recebem a mensagem de retorno, mas apenas o controlador processa aquele valor, como é mostrado na função logo após o retorno do sensor, que é retornada nele mesmo. O operador de interação "*loop*" do diagrama repete sua sequência de tarefas a cada seis segundos para manter atualizado sobre as condições do ambiente aviário.

Figura 24 – Diagrama de sequência de requisições de sensores do mesmo tipo.



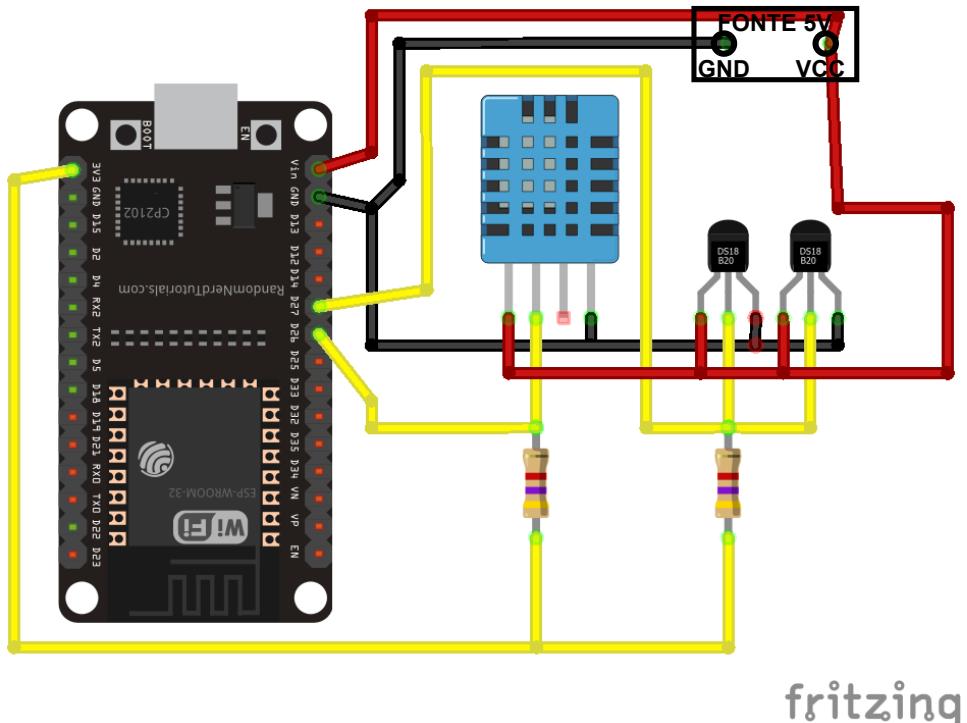
Fonte: O Autor, 2022.

A situação demonstrada neste diagrama ocorre nos sensores DS18B20, que tem dois sensores compartilhando a mesma linha de dados. No caso do DHT11, apenas uma requisição é feita, já que o controlador comunica com apenas um sensor naquela porta de comunicação.

A Figura 25 mostra as conexões entre o controlador e os sensores, de modo que o controlador consiga obter seus devidos valores.

Segundo a figura, pode-se observar que todos os sensores têm suas ligações constituídas por três fios: um para linha de dados do protocolo *1-Wire* (amarelo), uma alimentação de 5 VDC (vermelho) e o GND (preto). O esquemático das ligações é constituído por duas linhas de dados: uma para comunicação do sensor DHT11; outra para os dois sensores DS18B20. As portas digitais 26 (D26) e 27 (D27) do controlador são responsáveis por comunicar com a sua respectiva linha de dados. Essas linhas necessitam de um resistor de *pull-up* de $4,7k\ \Omega$ e uma alimentação de origem do controlador de

Figura 25 – Conexões para leitura dos sensores.



Fonte: O Autor, 2022.

3,3 VDC (pino 3V3) para mantê-las no estado alto para o controlador realizar uma leitura de maneira mais eficaz.

4.3 Atuadores

Todos os atuadores utilizam o módulo relé para fazer o acionamento e desligamento do ventilador pelo microcontrolador. As ligações elétricas dos atuadores mostram o módulo relé alimentado por uma tensão de 5 VDC, por uma fonte externa. Essa fonte precisa ter seu terra (GND) conectado com o terra do microcontrolador para o módulo relé ter referência dos sinais de controle do ESP32.

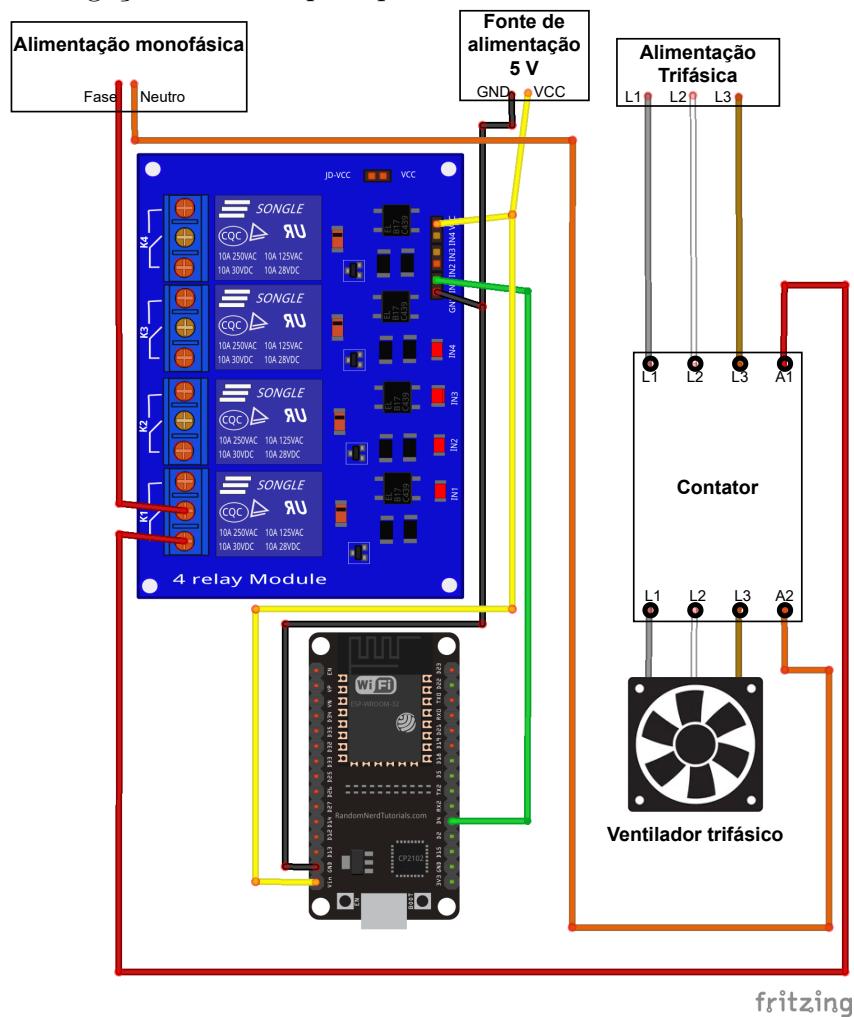
O módulo relé entra em ação quando o ESP32 envia um sinal de uma porta digital para alguma entrada do módulo para atracar/desatracar o relé. O relé é responsável por liberar a passagem de corrente da fase da tomada enquanto ele estiver desatracado, devido os atuadores serem conectados na configuração normalmente fechado. Como o módulo relé do protótipo atraca os dispositivos eletromecânicos quando a tensão de entrada é baixa (aproximadamente 0 VDC), o ESP32 deve mandar uma tensão alta (aproximadamente 3,3 VDC) para liberar a corrente da fase e, por consequência, fechar o contato do contador elétrico, alimentando o atuador determinado.

4.3.1 Ventilador

A Figura 26 demonstra a ligação elétrica desenvolvida para ventiladores industriais que são alimentados por uma tensão trifásica. O ventilador trifásico é ligado assim que o contator elétrico é atracado. Para o atracamento ocorrer, a fase conectada no relé K1, que está embutido no módulo, deve estar liberada para chegar até o contator elétrico. Os 10 amperes do relé são suficiente para o atracamento do contator de maneira segura.

O sinal responsável por liberar a passagem da fase vem da porta digital D21 do microcontrolador. O sinal chega até a primeira entrada do módulo relé (IN1 - fio verde).

Figura 26 – Ligações elétricas para para funcionamento do ventilador trifásico.

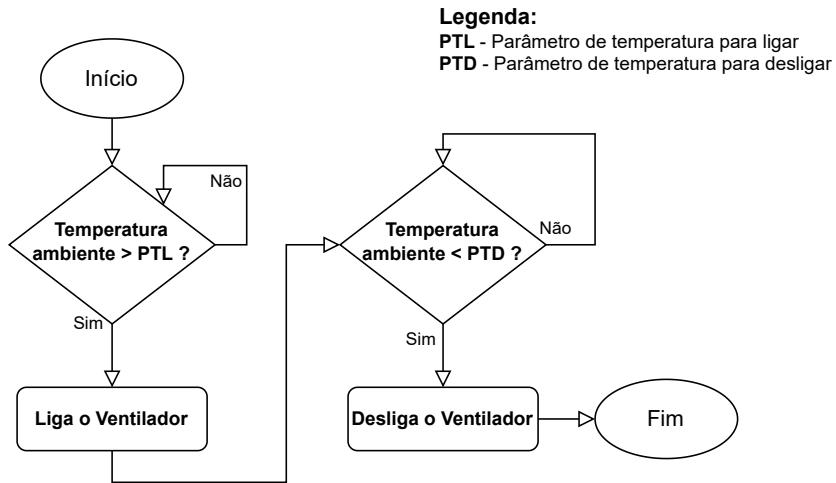


Fonte: O Autor, 2022.

A sua lógica de acionamento no modo automático depende de dois parâmetros de temperatura, um para ligar e o outro para desligar. Esses valores são dados na unidade de medida de °C. O parâmetro de ligar funciona de modo que quando a temperatura ambiente medida pelo sensor estiver acima do valor dele, o ventilador deve ser acionado. Já o parâmetro de desligar atua quando o valor informado no sensor estiver abaixo do valor desse parâmetro. A Figura 27 apresenta esse funcionamento por meio de fluxograma,

em que o ventilador começa em um estado inicial desligado.

Figura 27 – Lógica de acionamento do ventilador em modo automático.



Fonte: O Autor, 2022.

4.3.2 Nebulizador

A Figura 28 demonstra a ligação elétrica desenvolvida para aviários com bomba de água com motor trifásico para ajudar a água chegar aos canos do nebulizador. O ESP32, nesse caso, envia um sinal de uma porta digital (D19) que é responsável por duas entradas do módulo relé (IN2 e IN3 - fio rosa). As ligações poderiam utilizar apenas um relé para fazer o acionamento dos equipamentos, mas foi utilizado dois para garantir a segurança de que a corrente não exceda os 10 amperes.

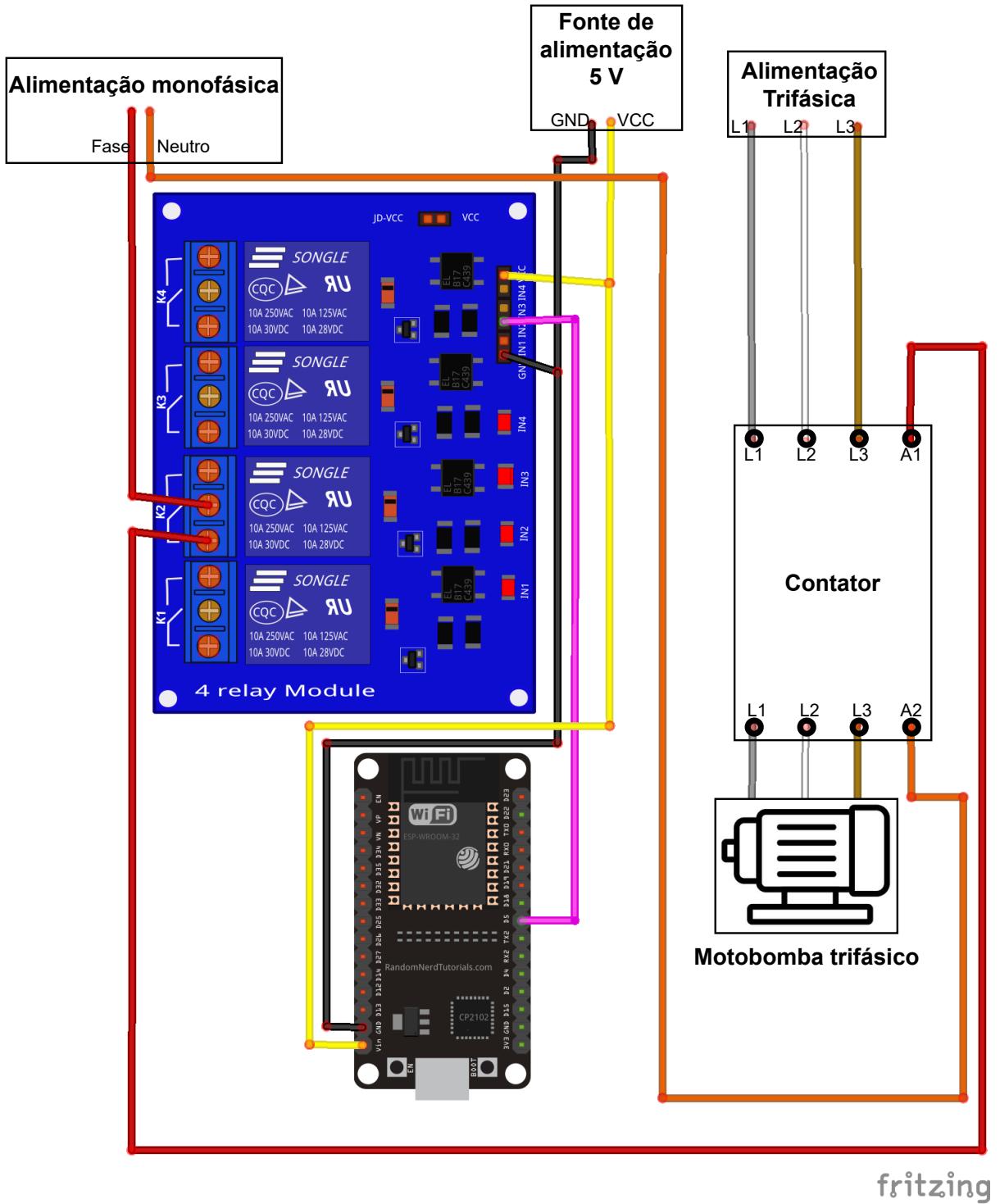
Quando o nebulizador deve ser ligado, o relé K2 e K3 libera a passagem de corrente da fase da tomada. O relé K2 faz que a alimentação da tomada chegue até a válvula solenoide, liberando o fluxo de água nos canos do nebulizador. A fase do relé K3 chega até ao contator, atracando ele e, por consequência, a motobomba sendo alimentada pela rede trifásica.

O nebulizador, tanto no modo automático quanto no modo manual, opera juntamente com o ventilador, precisando ligá-lo em casos que ele esteja desligado.

A sua lógica de acionamento no modo automático depende de dois parâmetros que podem ser configurados na interface Web. Como dito na subseção 2.1.2, o resfriamento evaporativo funciona melhor em umidades baixas. Nesse caso, os parâmetros de acionamento do nebulizador consiste na temperatura mínima de acionamento, em °C, e a umidade relativa máxima, em porcentagem.

A lógica de acionamento do nebulizador é demonstrada na Figura 29 por meio de um fluxograma, em que o nebulizador começa desligado. Seguindo o fluxograma, o equipamento é acionado quando o sensor DHT11 estiver informando uma temperatura

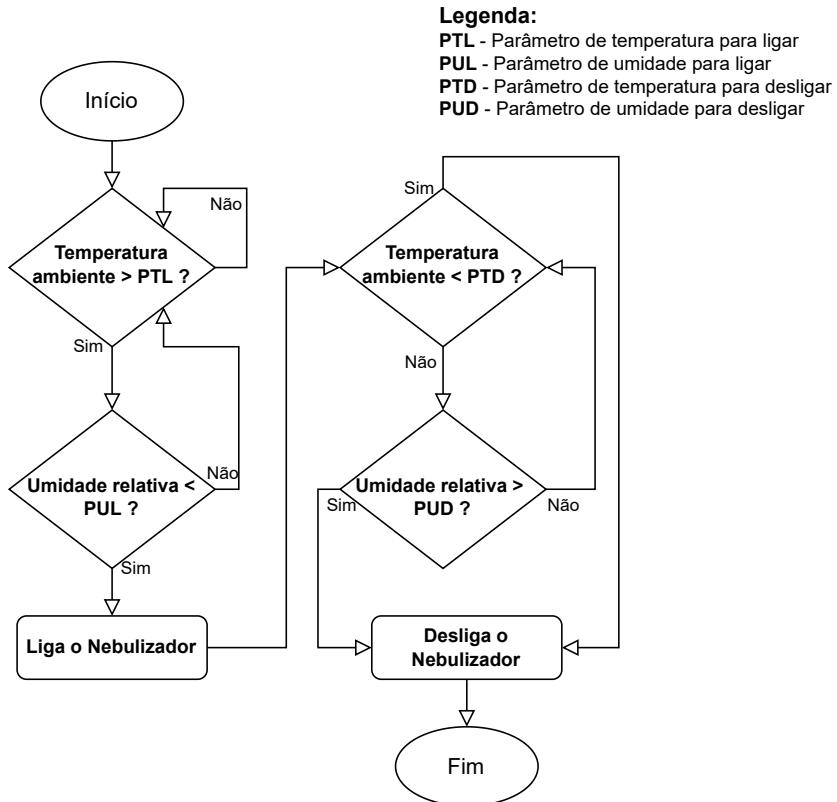
Figura 28 – Ligações elétricas para para funcionamento do Nebulizador.



Fonte: O Autor, 2022.

acima do seu devido parâmetro juntamente com uma umidade relativa abaixo do valor do parâmetro responsável por ela. Para ser desligado, algum dos valores do sensor devem estar fora da faixa do parâmetro de acionamento com a soma de um valor mínimo para evitar que o equipamento ligue e desligue frequentemente em um curto período de tempo.

Figura 29 – Lógica de acionamento do nebulizador em modo automático.



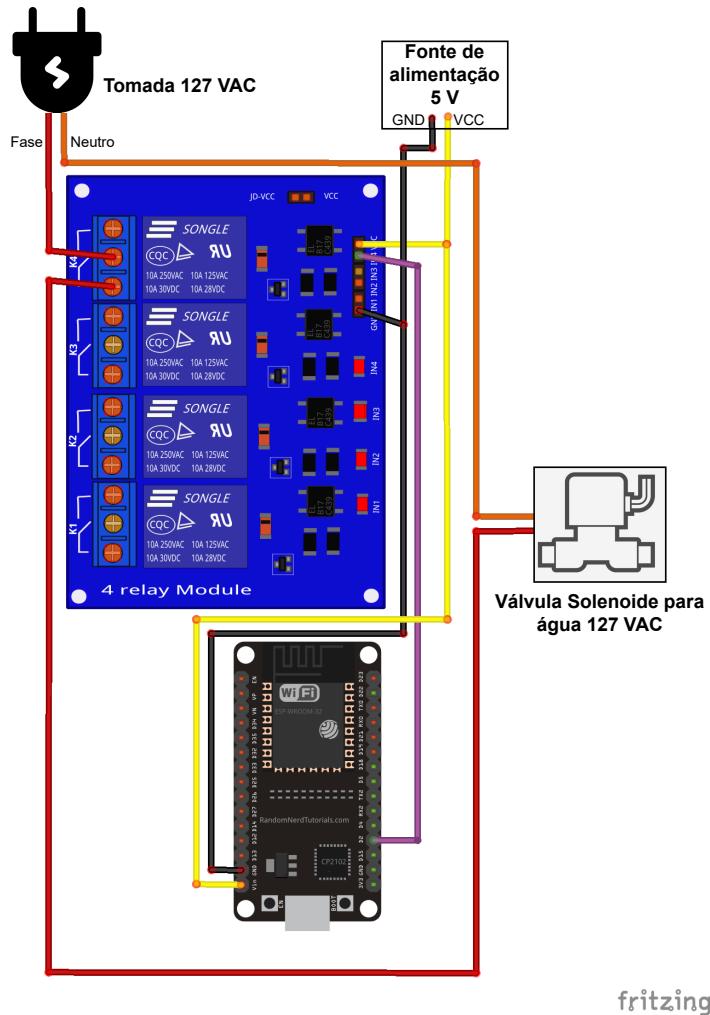
Fonte: O Autor, 2022.

4.3.3 Trocador de água

O trocador de água não faz o uso de alimentação trifásica para seus equipamentos, como o nebulizador e ventilador. A Figura 30 demonstra as ligações elétricas para o funcionamento do mecanismo. O ESP32 envia um sinal de uma porta digital (D18) para a quarta entrada do módulo relé (IN4) para a conexão da fase conectada no relé K4 liberar a passagem de corrente para a válvula solenoide. Com a válvula alimentada, a água presente no cano do bebedouro é retirada. Quando D18 manda um sinal baixo para a entrada, a válvula é fechada novamente.

Esse atuador tenta resolver problema de temperatura elevada da água dos bebedouros. Como a caixa de água do aviário deve ser instalados em locais fora da exposição do sol, existe uma chance considerável dela estar um pouco mais fresca que a água localizada nos canos dos bebedouros. A automatização foi desenvolvida para bebedouros tipo *nipple*, que são comumente utilizados nos aviários. Para esta implantação, foi adicionado uma válvula solenoide (VA), que tem o objetivo de trocar a água "velha" pela "nova", no bebedouro. Para uma troca inteligente, um sensor foi instalado dentro da água do bebedouro (S1) e outro dentro da água da caixa d'água (S2). A Figura 31 ilustra esse funcionamento, de forma que a entrada de água do bebedouro fica sempre aberta, deixando a água presente dentro dos canos pressurizada. Quando a válvula VA abre, a

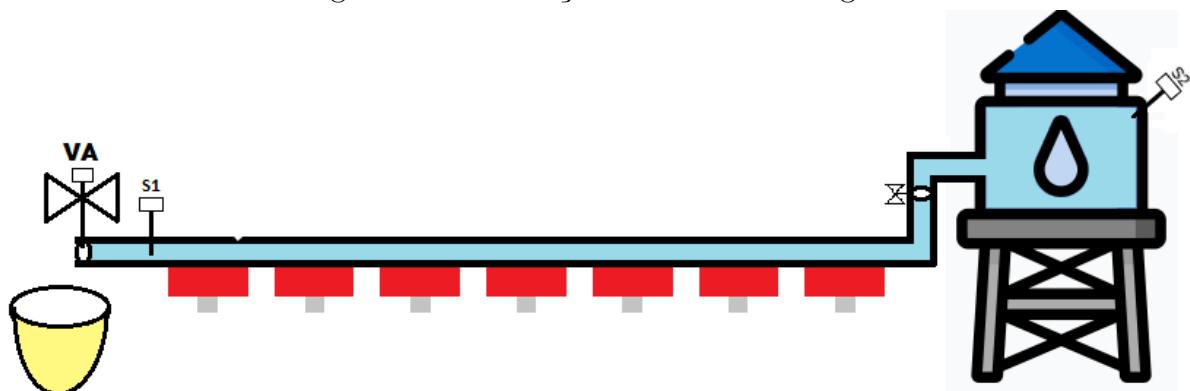
Figura 30 – Ligações elétricas para para funcionamento do trocador de água.



Fonte: O Autor, 2022.

água presente no bebedouro cai dentro do recipiente, podendo ser reaproveitada para outra atividade, e, em seguida, a água que estava na caixa chega aos canos.

Figura 31 – Ilustração do trocador de água



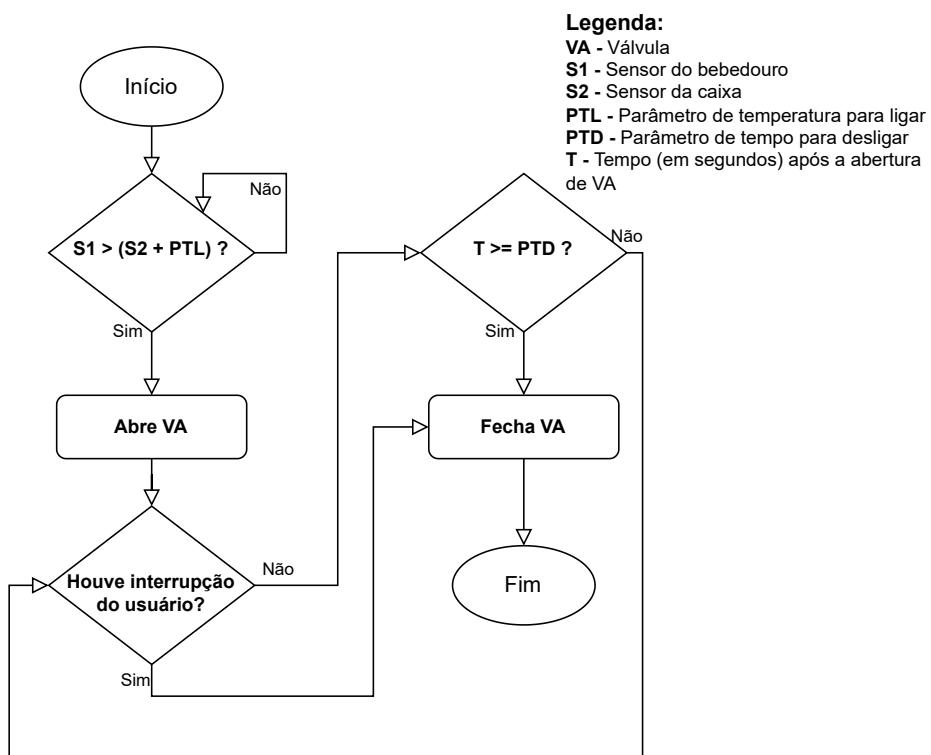
Fonte: O Autor, 2022.

Quando o equipamento está no modo de operação automático, seu acionamento

depende de duas variáveis que podem ser modificadas através da interface Web. Uma delas se trata da diferença limite de temperatura entre os sensores S1 e S2 para realizar o acionamento, tendo um valor predefinido de 5°C. A outra se refere ao tempo, em segundos, da duração da troca de água, ou seja, o tempo que a válvula deve ficar aberta para conseguir trocar a água "velha" pela "nova".

No fluxograma que apresenta sua lógica de acionamento (Figura 32), o trocador de água tem seu estado inicial com a válvula fechada. Se a temperatura medida em S1 exceder a temperatura medida em S2 mais o valor do parâmetro de temperatura para ligar (PTL), o trocador abrirá a válvula VA. A válvula apenas fechará se o usuário interromper a troca de água via interface Web, ou após a troca de água ter sido concluída. Essa conclusão da troca de água acontece após o tempo, em segundos, que a válvula VA for aberta atingir o valor do parâmetro responsável (PTD).

Figura 32 – Lógica de acionamento do trocador em modo automático.



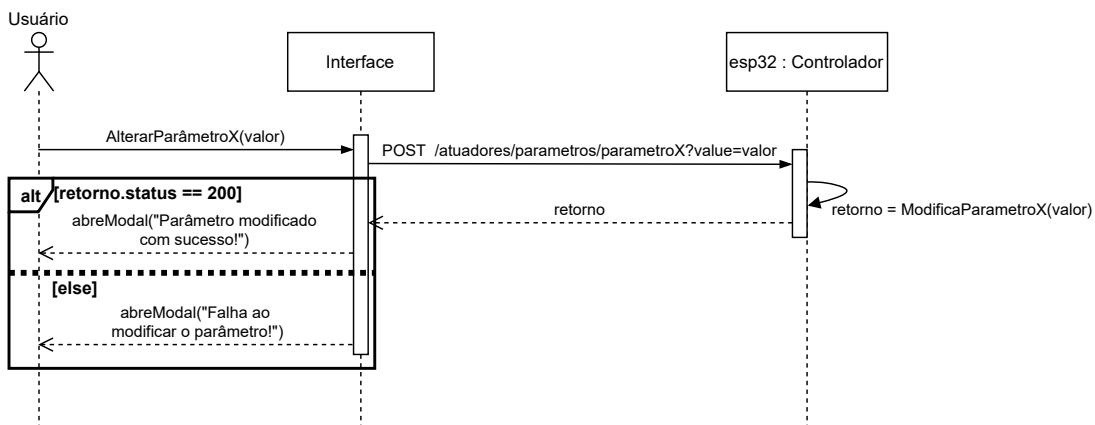
Fonte: O Autor, 2022.

4.4 Interface Web

A interface Web do sistema embarcado foi desenvolvida utilizando o modelo cliente-servidor: o usuário acessa a página Web do sistema que, quando necessário, faz requisições ao servidor Web para buscar ou alterar alguma informação do sistema. A diferença é que tanto a página Web do sistema quanto o servidor de requisição são hospedados no ESP32.

A página *Web* possui um *script* implementado para que os clientes que estão com a página aberta mandem requisições a cada cinco segundos para mantê-los atualizados das condições atuais do sistema. Quando o usuário tenta alterar algum valor do sistema, a função responsável por ele envia uma requisição para o servidor *Web* e, em seguida, é recebido a resposta daquela requisição. A função age de acordo com o retorno da requisição, apresentando ao usuário que aquela ação foi concluída ou o porquê daquela alteração não ter obtido sucesso. O diagrama de sequência da Figura 33 apresenta esse procedimento de requisição, começando pelo usuário tentando alterar um valor de um parâmetro de um atuador.

Figura 33 – Diagrama de sequência do procedimento de modificar um parâmetro através da interface.



Fonte: O Autor, 2022.

O usuário pode fazer o acesso à interface utilizando um computador, celular *smartphone*, *tablet*, ou qualquer dispositivo tecnológico que execute um navegador de internet.

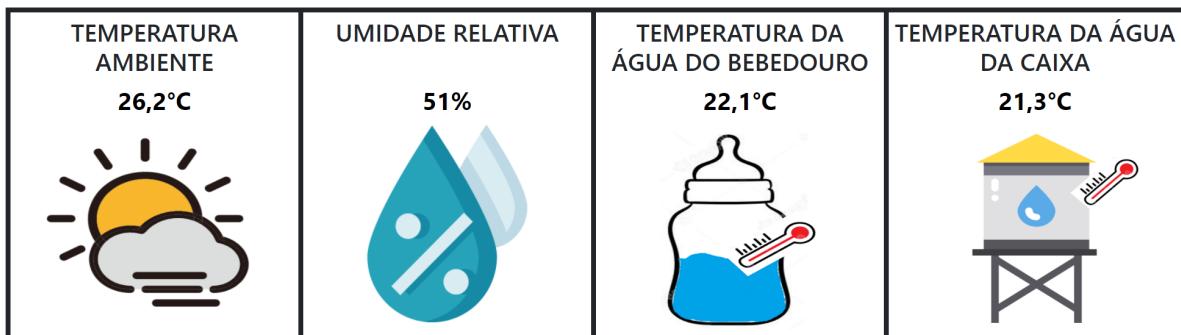
A página *Web* é dividida em duas partes: atuadores e sensores (Figura 34). Na parte dos sensores é informado o valor atual de cada sensor. Na parte dos atuadores é apresentado o status atual e o modo de operação de cada atuador. Quando um atuador está no modo automático, a interface apresenta os parâmetros responsáveis pela lógica de acionamento na sua parte inferior, tanto para ligar quanto para desligar o atuador. Caso esse atuador estiver no modo manual, essa parte inferior do atuador apresenta ao usuário a opção de ligar ou desligá-lo.

4.5 Custo material do protótipo

Para mensurar o valor dos materiais presentes no sistema embarcado, foi levantado o preço de cada dispositivo e componente em lojas online, no mercado brasileiro, obtendo-se um valor médio. A Tabela 7 a seguir, apresenta o custo médio encontrado no levantamento e a quantidade em unidades gasto do material.

Figura 34 – Captura de tela da página Web.

SENSORES (•)



ATUADORES ☰



Fonte: O Autor, 2022.

Tabela 7 – Preços do protótipo

Item	Quantidade	Valor (R\$)
ESP32 - Devkit v1	1	40,70
Válvula Solenoide para Água 127 VDC	2	118,40
Sensor de temperatura a prova de água DS18B20	2	38,30
<i>Jumpers</i> de 20 cm	30	12,80
Módulo Relé 5 VDC - 4 canais	1	29,45
Cabo Flexível Paralelo 300V (2 X 4,0mm) / Por Metro	3	26,85
Sensor de Umidade e Temperatura DHT11	1	14,50
Fonte 5 V DC	1	33,39
TOTAL	-	314,39

Fonte: O autor, 2022.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

REFERÊNCIAS

- ABPA. **Relatório Anual**. 2021. Disponível em: http://abpa-br.org/wp-content/uploads/2021/04/ABPA_Relatorio_Annual_2021_web.pdf. Acesso em: 3 ago. 2021.
- ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G. de. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Embrapa Suínos e Aves, Viçosa, v. 40, p. 1–14, 2011.
- ALECRIM, P. D. de; CAMPOS, A. T.; JÚNIOR, T. Y. Sistema automatizado embarcado em microcontrolador para controle e supervisão do ambiente térmico para aviários. **Revista Científica**, Jaboticabal, v. 41, n. 1, p. 33–45, 2013.
- BARBOSA, T. M. A importância da água na avicultura. Brasília, Distrito Federal, 2013.
- BRAGA, N. C. **Como funcionam os Sensores de temperatura (ART764)**. Instituto Newton C. Braga, 2012. Disponível em: <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/6097-art764>. Acesso em: 3 ago. 2021.
- CARDOSO, M. **O Que É Um Microcontrolador?** IEEE RAS UFCG - Capítulo Estudantil de Robótica e Automação, 2020. Disponível em: <https://edu.ieee.org/br-ufcgras/o-que-e-um-microcontrolador/>. Acesso em: 27 out. 2021.
- CASSUCE, D. C. *et al.* Thermal comfort temperature update for broiler chickens up to 21 days of age. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 28–36, 2013.
- CONNOLLY, A. **Era digital: o futuro da tecnologia avícola**. 2018. Disponível em: <https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/era-digital-o-futuro-da-tecnologia-avicola/20180522-093843-w047>. Acesso em: 3 ago. 2021.
- D-ROBOTICS UK. **DHT11 Humidity & Temperature Sensor**. Jul. 2019. Disponível em: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/785590/D-Robotics/DHT11/1>. Acesso em: 3 nov. 2021.
- ESPRESSIF. **ESP32-WROOM-32 Datasheet**. Versão 3.7. 2021. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf. Acesso em: 3 ago. 2021.
- FONTES, H. **Sistema que controla clima de aviário pode evitar perdas na produção de frangos**. Jornal da USP, 2020. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/sistema-que-controla-clima-de-aviario-pode-evitar-perdas-na-producao-de-frangos/>. Acesso em: 3 ago. 2021.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed.: São Paulo: Editora Atlas, 2002.

- GOGONI, R. **O que é Internet das Coisas?** 2019. Disponível em: <https://tecnoblog.net/responde/o-que-e-internet-das-coisa/>. Acesso em: 20 jan. 2022.
- GROOVER, M. P. **Automação industrial e sistemas de manufatura.** 3. ed.: São Paulo: Editora Pearson Education do Brasil, 2011.
- GUERRA, R. R. NOÇÕES BÁSICAS EM VENTILAÇÃO PARA AVIÁRIOS. In: EM TEMPOS DE GRÃOS CAROS, QUAIS AS ESTRATÉGIAS? Rio Claro, São Paulo: Revista aviNews Brasil, 2021. P. 7–13.
- HÖTZEL, M. J.; MACHADO FILHO, L. C. P. Bem-estar animal na agricultura do século XXI. **Revista de Etologia**, São Paulo, v. 6, p. 3–15, jun. 2004.
- JÚNIOR, V. P. d. S. **Microcontroladores PIC 16F e 18F–Teoria e Prática.** 2013.
- LIMA JUNIOR, F. P. d. **Sistema embarcado para controle e supervisão de ambiente em aviário utilizando web service.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba, Rio Grande do Norte.
- MACEKOVÁ, L. 1-wire-the technology for sensor networks. **Revista Acta Electrotechnica et Informatica**, v. 12, n. 4, p. 52, 2012.
- MAGRANI, E. **A internet das coisas.** 1. ed.: Rio de Janeiro: Editora FGV, 2018.
- MAXIM INTEGRATED. **1-WIRE COMMUNICATION THROUGH SOFTWARE.** 2012. Disponível em: <https://www.maximintegrated.com/en/design/technical-documents/app-notes/1/126.html>. Acesso em: 21 jan. 2022.
- _____. **Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer.** Jul. 2019. Rev. 6. Disponível em: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>. Acesso em: 28 out. 2021.
- OLIVEIRA, M. E. d. **Implementação e avaliação de um sistema automatizado de monitoramento e controle térmico em um aviário convencional utilizando tecnologia IoT.** 2019. Tese (Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos.
- OLIVEIRA, M. E. d. *et al.* **DESENVOLVIMENTO DE SENsoRES PARA MONITORAMENTO DE AMBIENTE AVIÁRIO COM ÊNFASE EM CONTROLE TÉRMICO/- DEVELOPMENT OF SENSORS FOR MONITORING THE AVIAN ENVIRONMENT WITH EMPHASIS IN THERMAL CONTROL.** **Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas**, v. 12, n. 3, p. 234–240, 2018.
- OLIVEIRA, R. F. M. d. *et al.* Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 797–803, 2006.

RAMADIANI, R. *et al.* Temperature and humidity control system for broiler chicken coops. Indonesian Journal of Electrical Engineering e Computer Science, v. 22, n. 3, p. 1327–1333, 2021.

RIOS, A. d. A. *et al.* COMPARATIVO ENTRE PLATAFORMAS DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS MICROCONTROLADOS PARA APLICAÇÕES EM INTERNET DAS COISAS. In: XVIII CONFERÊNCIA DE ESTUDOS DE ENGENHARIA ELÉTRICA, 2020, Uberlândia, MG, Brasil. **Anais**. Uberlândia, MG: Universidade Federal de Uberlândia, 2020. P. 6.

RUSH, P. **Proteção e Automação de Redes: conceito e aplicação**. 1. ed.: São Paulo: Editora Blucher, 2011.

SABBAGH, R. **Scrum: Gestão ágil para projetos de sucesso**. São Paulo: Editora Casa do Código, 2014.

SACCO, F. **Módulo Tiny RTC 1-Wire – Parte 3**. 2015. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/modulo-tiny rtc-1-wire-parte-3/>. Acesso em: 21 jan. 2022.

SADUIKIS, P. **1-Wire Parasitic Power**. 2010. Disponível em: <https://os.mbed.com/users/snatch59/notebook/1-wire-parasitic-power/>. Acesso em: 22 jan. 2022.

SARTOR, V. *et al.* Sistemas de resfriamento evaporativo e o desempenho de frangos de corte. **Revista Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 17–20, 2001.

SILVA, J. A. F. d.; LAGO, C. L. d. Módulo eletrônico de controle para válvulas solenóides. **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 5, p. 842–843, 2002.

SILVA BRAGA, J. da *et al.* O modelo dos “Cinco Domínios” do bem-estar animal aplicado em sistemas intensivos de produção de bovinos, suínos e aves. **Revista Brasileira de Zoociências**, Juiz de Fora, v. 19, n. 2, p. 204–226, 2018.

SILVEIRA, C. B. **Como Funciona a Válvula Solenoide e Quais os Tipos?** 2017. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/valvula-solenoide/>. Acesso em: 4 nov. 2021.

SINCLAIR, B. **IoT: Como Usar a Internet das Coisas para Alavancar seus Negócios**. 1. ed.: São Paulo: Editora Autêntica Business, 2018.

SOUZA, F. d. **Galpões climatizados: uma ferramenta eficiente aliada à alta produtividade**. 2017. Disponível em: <https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/galpoes-climatizados-uma-ferramenta-eficiente-aliada-a-alta-produtividade/20170201-144126-c248>. Acesso em: 26 out. 2021.

SOUZA, P. de. Avicultura e clima quente: Como administrar o bem-estar às aves? **Refresque: Indústria e Comércio Ltda.**, 2005.

STALLINGS, W. **Arquitetura e Organização de Computadores**. 10. ed.: São Paulo: Editora Pearson Education do Brasil, 2017.

STROSKI, P. N. **Conheça o relé eletromecânico.** 2018. Disponível em: <https://www.electricalibrary.com/2018/08/06/conheca-o-rele-eletromecanico/>. Acesso em: 21 jan. 2022.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. d. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações.** 9. ed.: Bela Vista: Editora Saraiva Educação, 2020.

WAZLAWICK, R. S. **Metodologia de pesquisa para ciência da computação.** Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2009.

6 CIRCUITO ELÉTRICO GERAL DO PROJETO