

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

A ambiência e o conforto de animais criados comercialmente para a produção de proteína animal para alimentação humana afeta diretamente os índices zootécnicos e a qualidade da carne, além de influenciar no bem-estar animal. Para se atingir bons resultados, as produções avícolas vêm utilizando cada vez mais soluções tecnológicas, como por exemplo os sistemas de monitoramento de ambiente em tempo real, atuadores automáticos para homogeneidade de temperatura e umidade ambiental, aliado a uma economia energética para a redução dos custos. Durante a etapa de pesquisa bibliográfica não foram encontrados sistemas que controlem a temperatura da água de bebida consumida pelos frangos de corte criados em galpões. O uso dessas tecnologias de controle ambiental nem sempre são financeiramente viáveis aos avicultores de pequeno porte. Neste contexto, o artigo apresenta a implementação de um protótipo de sistema de monitoramento e controle das condições ambientais de aviários de frangos de corte, focado no baixo custo material, com o propósito de auxiliar o pequeno avicultor a elevar a produtividade e bem-estar animal dentro do aviário. O acesso ao sistema é feito por meio de uma página *Web* hospedada no microcontrolador, podendo ser feito localmente ou pela Internet com uso de celulares, *tablets* e/ou computadores. Para desenvolvimento do protótipo, inicialmente foram realizadas pesquisas sobre condições ideais para criações de frangos, incluindo a zona de conforto térmico ideal para a máxima produtividade e conforto destes animais. Após determinar os requisitos necessários para desenvolvimento do sistema e análise do material necessário, foi realizada a implementação do *hardware* e *software* do protótipo. O protótipo desenvolvido foi submetido a testes no Aviário de Corte 1, do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* Bambuí, na cidade de Bambuí - MG. O protótipo foi capaz de realizar um monitoramento em tempo real da temperatura e umidade do ambiente, da temperatura da água dentro da tubulação para distribuição nos bebedouros tipo *nipple* e dentro da caixa para distribuição desta no aviário. Para controle das condições, o sistema se mostrou apto a acionar dispositivos responsáveis por ventilação, nebulização e troca da água do bebedouro. O protótipo final atendeu ao requisito financeiro, pois apresentou custo total de desenvolvimento inferior a cem dólares, valor muito abaixo dos equivalentes disponíveis no mercado.

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

ABSTRACT

The ambience and comfort of animals raised commercially for human production directly affect zootechnical indices and meat quality, in addition to influencing animal welfare. In order to achieve good results, poultry production has been increasingly using technological solutions, such as real-time environment monitoring systems, automatic actuators for temperature and humidity homogeneity, combined with energy savings to reduce costs. During the bibliographic research stage, no systems were found to control the temperature of the drinking water consumed by broilers raised in sheds. The use of these environmental control technologies are not always financially viable for small poultry farmers. In this context, the paper presents the implementation of a prototype system for monitoring and controlling the environmental conditions of broiler aviaries, focused on low material cost, with the purpose of helping the small poultry farmer to increase productivity and animal welfare. inside the aviary. Access to the system is done through a web page hosted on the microcontroller, which can be done locally or via the Internet using cell phones, tablets and/or computers. For the development of the prototype, initially research was carried out on ideal conditions for raising chickens, including the ideal thermal comfort zone for maximum productivity and comfort of these animals. After determining the necessary requirements for system development and analysis of the necessary material, the hardware and software of the prototype were implemented. The prototype developed was tested at the broiler aviary number one, at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Minas Gerais - Campus Bambuí, in the city of Bambuí - MG. The prototype was able to perform a real-time monitoring of the temperature and humidity of the environment, the temperature of the water inside the pipe for distribution in nipple drinkers and inside the box for distribution in the aviary. To control the conditions, the system proved to be able to trigger devices responsible for ventilation, nebulization and exchange of water in the drinking fountain. The final prototype met the financial requirement, as it had a total development cost of less than one hundred dollars, a value far below the equivalents available on the market.

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

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Elementos de um chip microcontrolador típico.	17
Figura 2 – Esquema dos pinos no chip ESP32-WROOM-32 (vista do topo).	19
Figura 3 – Placa de desenvolvimento ESP32 Devkit v1 - DOIT.	19
Figura 4 – Esquema básico da rede <i>1-Wire</i>	20
Figura 5 – Sensor DS18B20 com a proteção a prova d’água.	22
Figura 6 – Tempo de inicialização da comunicação.	23
Figura 7 – Memória interna do sensor DS18B20.	23
Figura 8 – Formato da temperatura registrada na memória.	24
Figura 9 – Sensor DHT11.	24
Figura 10 – Formato da mensagem de comunicação do sensor DHT11.	25
Figura 11 – DHT11 indicando o bit com valor de 0.	26
Figura 12 – DHT11 indicando o bit com valor de 1.	26
Figura 13 – Esquema típico de uma válvula solenoide.	27
Figura 14 – Válvula Solenoide para água 127 VDC.	28
Figura 15 – Relé típico de atracamento.	29
Figura 16 – Módulo Relé 5V 4 Canais.	29
Figura 17 – Esquemático da conexão do microcontrolador com a rede local.	37
Figura 18 – Aviário de experimento.	41
Figura 19 – Equipamentos do aviário.	41
Figura 20 – O ciclo do Scrum.	42
Figura 21 – Quadro de <i>Kanban</i> com tarefas iniciais.	43
Figura 22 – Diagrama de caso de uso do funcionamento geral do sistema embarcado.	45
Figura 23 – Placa de Circuito Impresso do protótipo.	46
Figura 24 – Caixa do protótipo do sistema.	47
Figura 25 – Diagrama de sequência de requisições de sensores do mesmo tipo.	48
Figura 26 – Conexões para leitura dos sensores.	48
Figura 27 – Ligações elétricas para para funcionamento do ventilador trifásico.	50
Figura 28 – Lógica de acionamento do ventilador em modo automático.	50
Figura 29 – Ligações elétricas para para funcionamento do nebulizador.	52
Figura 30 – Lógica de acionamento do nebulizador em modo automático.	53
Figura 31 – Ligações elétricas para para funcionamento do trocador de água	54
Figura 32 – Ilustração do trocador de água	55
Figura 33 – Lógica de acionamento do trocador em modo automático.	56
Figura 34 – Diagrama de sequência do procedimento de modificar um parâmetro através da interface.	57
Figura 35 – Captura de tela da página <i>Web</i>	58
Figura 36 – Painel de comando do aviário e o protótipo instalado.	60
Figura 37 – Sensor DHT11 com o revestimento de proteção.	60

Figura 38 – Sensor de temperatura inserido na caixa d’água.	61
Figura 39 – Sensor de temperatura introduzido no cano do bebedouro.	61
Figura 40 – Válvula solenoide instalada na saída de água do cano.	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal

IoT - *Internet of Things*

GPIO - *General Purpose Input/Output*

Wi-Fi - *Wireless Fidelity*

ROM - *Read-Only Memory*

RAM - *Random Access Memory*

CRC - *Cyclic Redundancy Check*

EEPROM - *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*

NTC - *Negative Temperature Coefficient*

LCD - *Liquid Crystal Display*

LDR - *Light Dependent Resistor*

MQTT - *Message Queuing Telemetry Transport*

HTTP - *Hypertext Transfer Protocol*

GND - *Ground*

PTL - Parâmetro de temperatura para ligar

PUL - Parâmetro de umidade para ligar

PTD - Parâmetro de temperatura para desligar

PUD - Parâmetro de umidade para desligar

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivo geral	12
1.2	Objetivos específicos	12
1.3	Justificativa	12
1.4	Resultados esperados	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Criação de frangos de corte	14
2.1.1	<i>Condições ideais</i>	14
2.1.2	<i>Sistemas de climatização</i>	16
2.2	Microcontroladores	16
2.2.1	<i>ESP32</i>	18
2.3	Protocolo de comunicação <i>1-Wire</i>	20
2.4	Sensores	21
2.4.0.1	Sensor de Temperatura DS18B20 a prova d'água	21
2.4.0.2	Sensor de Umidade e Temperatura DHT11	24
2.5	Atuadores	26
2.5.1	<i>Válvula Solenoide</i>	27
2.5.2	<i>Relé eletromecânico</i>	28
2.6	<i>Internet das Coisas e Sistemas Embarcados</i>	29
2.7	Estado-da-arte	30
2.7.1	<i>Sistema automatizado embarcado em microcontrolador para controle e supervisão do ambiente térmico para aviários</i>	30
2.7.2	<i>Implementação e avaliação de um sistema automatizado de monitoramento e controle térmico em um aviário convencional utilizando tecnologia IoT</i>	31
2.7.3	<i>Sistema embarcado para controle e supervisão de ambiência em aviário utilizando Web Service</i>	31
2.7.4	<i>Sistema de controle e monitoramento de ambiência para aviários do tipo pressão negativa</i>	32
2.7.5	<i>Temperature and humidity control system for broiler chicken coops</i>	32
2.7.6	<i>Argumentação</i>	33
3	METODOLOGIA	35
3.1	Classificação da pesquisa	35
3.2	Solução	36
3.3	Materiais e Tecnologias	36

<i>3.3.1</i>	<i>Ferramentas utilizadas</i>	36
<i>3.3.2</i>	<i>Materiais do protótipo</i>	39
3.4	Ambiente de experimento	40
3.5	Métodos e Procedimentos	42
<i>3.5.1</i>	<i>Metodologia de desenvolvimento</i>	42
<i>3.5.2</i>	<i>Definição dos requisitos</i>	43
<i>3.5.3</i>	<i>Procedimentos</i>	44
4	DESENVOLVIMENTO	45
4.1	Protótipo	46
4.2	Sensores	46
4.3	Atuadores	49
<i>4.3.1</i>	<i>Ventilador</i>	49
<i>4.3.2</i>	<i>Nebulizador</i>	51
<i>4.3.3</i>	<i>Trocador de água</i>	53
4.4	Interface Web	56
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
5.1	Custo material do protótipo	59
5.2	Testes em ambiente experimental	59
5.3	Vantagens e desvantagens	62
6	CONCLUSÃO	63
	REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescente consumo da carne de frango, projeções indicam que, até 2030, a humanidade irá comer mais aves do que qualquer outra proteína animal, ultrapassando a carne suína (BETHÔNICO, 2022). No Brasil, a produção avícola tem uma grande relevância econômica e geração de divisas para o país, como mostra o relatório anual da ABPA (Associação Brasileira de Proteína Animal) (ABPA, 2021) na qual o Brasil fechou o ano de 2021 como 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 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 dos 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 o bem-estar das aves nem sempre é compatível com as suas necessidades fisiológicas, como a temperatura e a umidade do ar no galpão de criação, e também a temperatura da água oferecida para esses animais consumirem (BARBOSA, 2013; SOUZA, P. de, 2005).

Utilizando a tecnologia a favor da produção e bem-estar das aves, pode-se destacar os sistemas de monitoramento de ambiente em tempo real, acionadores automáticos para homogeneidade de temperatura e economia de energia, e captura de dados para gerar análises (CONNOLLY, 2018). 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 (2019). Em uma complementação ao trabalho anterior, Fontes (2020) declara que esse sistema é considerado de baixo-custo e que sua implantação teria um preço em torno de R\$ 3000,00.

Neste contexto, objetiva-se com o estudo proposto neste trabalho desenvolver um protótipo de um sistema embarcado para monitoramento e controle da ambiência do aviário. O protótipo desenvolvido teve seu foco no afunilamento das funções do sistema, deixando apenas as mais relevantes, que são dados pelo controle da ambiência e a temperatura da água do bebedouro, e também visou adotar materiais com menores custos sem afetar a eficiência da melhora na produtividade da criação de frangos de corte. Os usuários alvo do sistema embarcado são os pequenos produtores avícolas que ainda adotam a forma tradicional de controle, podendo ter esse processo automatizado por um custo de implantação reduzido.

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 financeiramente 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 de medição;
- 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 e no desenvolvimento das aves, e também uma redução da taxa de mortalidade desses animais (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 poderá auxiliar em uma 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 (*Internet of Things - Internet das Coisas*) com as funcionalidades presentes no trabalho ainda é pouco explorado na literatura.

1.4 Resultados esperados

Espera-se que o protótipo inicial consiga 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 tem a finalidade de apresentar os principais temas de utilizados como base de pesquisa para o desenvolvimento do presente trabalho.

Primeiramente, a Seção 2.1 descreve a importância da produção de frango para a população brasileira e também para população mundial, as melhores condições de um galpão para conseguir atingir um bom desenvolvimento dos animais e, por fim, algumas das técnicas utilizadas para obter essas condições. Em sequência, a Seção 2.2 descreve os conceitos relacionados aos microcontroladores, e também, mais especificadamente, do ESP32. Depois, o protocolo de comunicação *1-Wire* (2.3) é apresentado, já que todos sensores utilizados no trabalho utilizam essa comunicação. As Seções 2.4 e 2.5 conceitualiza os sensores e atuadores, respectivamente, e apresentam alguns dos modelos utilizados no sistema. Para reforçar a importância da Internet das Coisas, a Seção 2.6 define o que é essa tecnologia e o que pode-se esperar dela futuramente. Por fim, é apresentado o Estado da Arte (2.7) para fazer um mapeamento de estudos que estão sendo, ou que já foram, realizados sobre monitoramento e controle em aviários.

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 tecnológico. Abreu e Abreu (2011) salienta que a avicultura de corte tem investido em inovações tecnológicas há pelo menos 20 anos, tendo como finalidade de encontrar novas implementações de sistemas com maior eficiência na produção.

2.1.1 *Condições ideais*

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

Para gerar um aumento relativo da produtividade no aviário, estudos foram feitos em relação às necessidades básicas desses animais para um bom desenvolvimento e o que andam utilizando para alcançar o tal objetivo. Nesse sentido, Cavalcanti (2019) esclarece a importância de uma temperatura adequada para as aves no seu ambiente de criação:

Em altas temperaturas, frangos de corte consomem menos ração e perdem eficiência na conversão alimentar. Os mecanismos biológicos de resfriamento que as aves usam em altas temperaturas necessitam de muita energia e não são eficientes. Além disso, quando as aves consomem alimentos balanceados, sua temperatura corporal aumenta devido aos processos metabólicos que ocorrem durante a digestão. Por essa razão o consumo é baixo nas horas mais quentes do dia e devemos dar todas as condições possíveis para as aves se alimentarem nos horários mais frescos, como: início do dia e da noite. Esse manejo, em conjunto com bons equipamentos para ambiência, ajuda a melhorar a conversão alimentar e diminuir a taxa de mortalidade.

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 conforme a idade do animal. Como apresenta a pesquisa de 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 também 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 à 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: Abreu e Abreu (2011).

2.1.2 Sistemas de climatização

Para proporcionar temperaturas próximas à zona termoneutra da ave¹, a adoção de sistemas de ventilação com sistemas de resfriamento do ar é uma boa saída para solucionar esse problema (SOUZA, F. d., 2017).

Para combater as elevadas temperaturas e a umidade baixa do ambiente, pode ser utilizado uma técnica de modificação ambiental artificial chamada resfriamento evaporativo do ar. De acordo com Sartor *et al.* (2001), esta técnica de resfriamento consiste em incorporar o vapor d'água diretamente no ar utilizando um sistema de ventilação e nebulização, causando uma mudança no ponto de estado do ambiente (aumento da umidade e redução da 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 pelas vias aéreas.

Os aviários modernos utilizam técnicas mais novas que essa para realizarem o resfriamento adiabático evaporativo do ar, que é quando há contato entre o ar e a água. As mais conhecidas atualmente são a técnica de incorporação da água por paredes porosas ou placas umedecidas. Apesar da técnica gerar um resfriamento melhor que as mais tradicionais, muitos galpões ainda utilizam nebulizadores, pois teria um alto custo de investimento inicial.

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

2.2 Microcontroladores

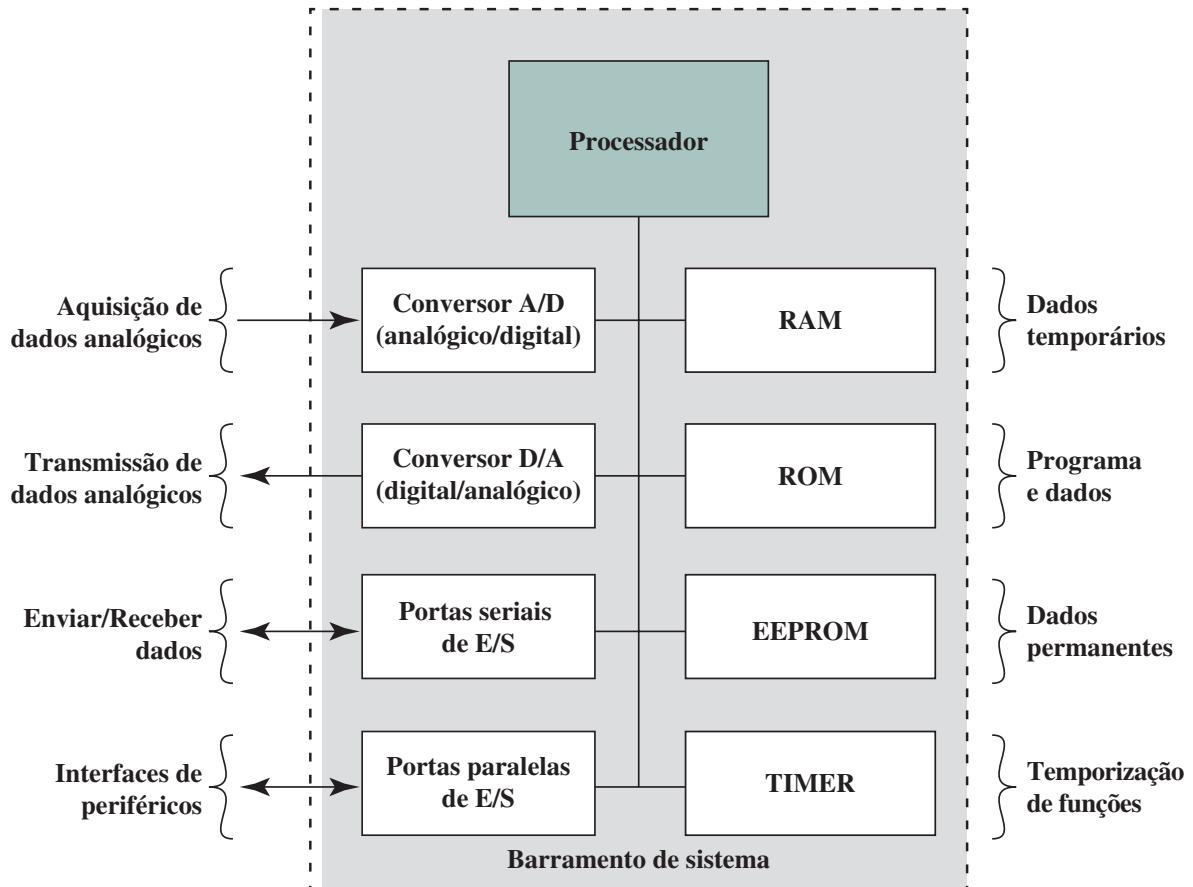
Junior (2013) declara que utiliza o termo "Microcomputador-de-um-só-chip" para definir os microcontroladores desde o seu primeiro livro. O autor acrescenta que a principal característica do dispositivo está em reunir, em um único chip, todos os periféricos necessários para o projeto e fabricação de dispositivos eletrônicos dos mais diversos tipos, desde simples sinalizadores e luzes pisca-pisca até equipamentos médicos mais sofisticados. Esses dispositivos estão cada vez sendo mais utilizados, uma vez que o mercado atual está também cada vez mais 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,

¹ Quando a dissipação da temperatura corporal é mínimo

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 uma eficiência de energia muito menor (STALLINGS, 2017). Ao observar a Figura 1, pode-se encontrar os elementos apontados em um chip microcontrolador típico.

Figura 1 – Elementos de um chip microcontrolador típico.



Fonte: Stallings (2017)

Nesse sentido, 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. A seguir, a Seção 2.2.1 apresenta o microcontrolador ESP32 e suas principais características.

2.2.1 ESP32

O ESP32 é um microcontrolador criado pela Espressif², 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 (*Wireless Fidelity* - Fidelidade sem Fio) integrado, um custo relativamente baixo e a adoção da IDE Arduino³ como plataforma de desenvolvimento de aplicações para o microcontrolador, tendo uma comunidade ampla ao seu lado e boas bibliotecas que são compatíveis ao dispositivo.

Deve ficar claro que existem vários tipos de ESP32 e placas de desenvolvimento, variando o tamanho, processador, 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* publicado pela Espressif (2021), tem as seguintes características:

- CPU: Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6, clock de 80 a 240 MHz;
- memória ROM (*Read-Only Memory* - Memória Somente de Leitura): 448 KBytes;
- memória RAM (*Random Access Memory* - Memória de Acesso Aleatório): 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.

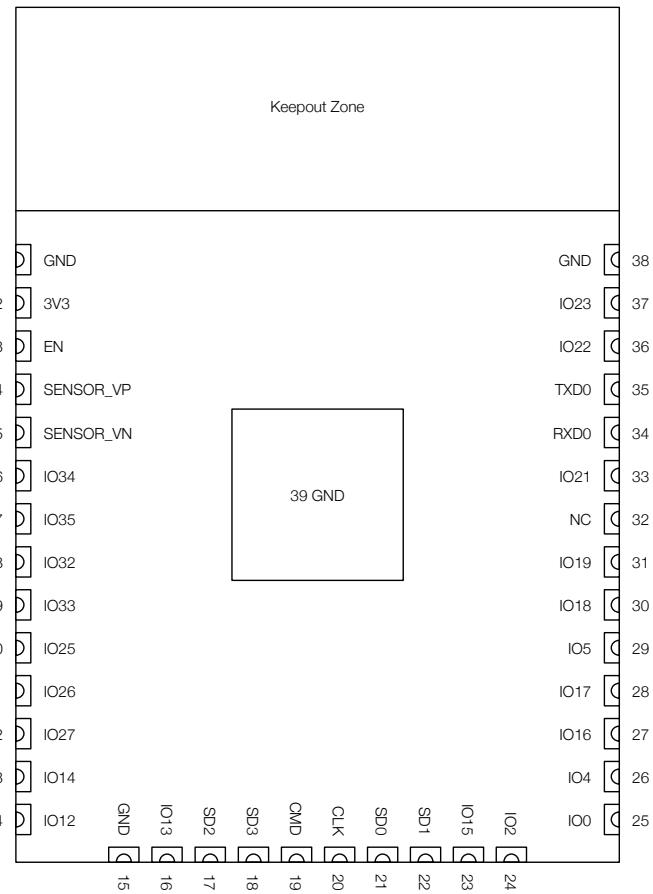
As portas GPIO (General Purpose Input/Output - Entrada/Saída de Uso Geral), que são, basicamente, os pinos de entrada e saída, podem ter funções diferentes, como conversor de analógico para digital de 12 bits, conversor digital para analógico de 8 bits e sensor capacitivo. A Figura 2 mostra o esquemático 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 a placa de desenvolvimento Devkit v.1 DOIT que é utilizada no protótipo do trabalho.

² <https://www.espressif.com/>

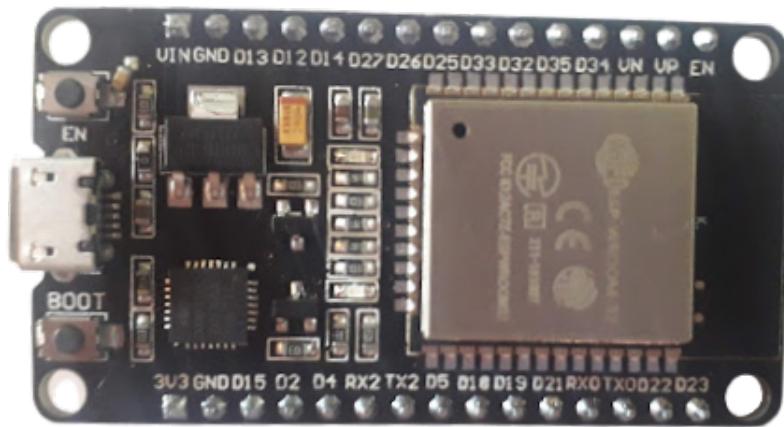
³ <https://www.arduino.cc/en/software>

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.

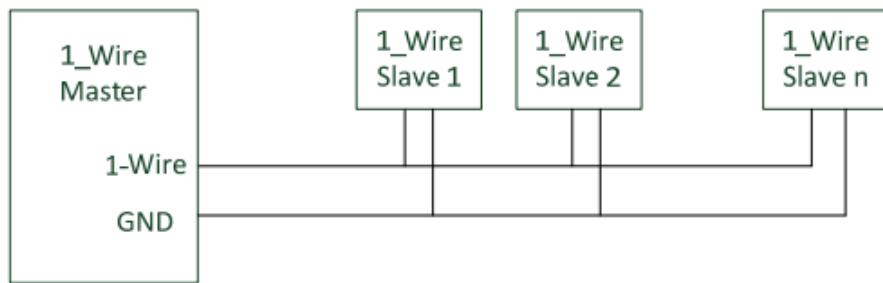


Fonte: O Autor, 2022.

2.3 Protocolo de comunicação 1-Wire

O protocolo de comunicação *1-Wire* (*One-Wire* - Um-Fio) foi desenvolvido pela empresa Dallas Semiconductor e foi posteriormente adquirida pela Maxim Integrated⁴ (SACCO, 2015). A comunicação desse protocolo é do tipo mestre-escravo e opera 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 *1-Wire* (MAXIM-INTEGRATED, 2012).

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



Fonte: Maceková (2012)

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-Wire* (MAXIM-INTEGRATED, 2019). Ainda segundo o autor, os escravos, frequentemente, operam nas seguintes faixas de tensão:

- 1,71 V (mínima) até 1,89 V (máxima);
- 1,71 V (mínima) até 3,63 V (máxima);
- 2,97 V (mínima) até 3,63 V (máxima);
- 2,80 V (mínima) até 5,25 V (máxima).

De acordo com a fabricante Maxim-Integrated (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 possuem 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, ao utilizar esse tipo configuração, é necessário que a linha de dados *1-Wire* apresente um valor de tensão próximo do que o dispositivo precisa para se alimentar.

⁴ <https://www.maximintegrated.com>

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 presente trabalho, eles terão a finalidade de determinar as condições que precisam ser controladas para uma produção eficiente.

Braga (2012) orienta que ao selecionar os sensores para uma aplicação, deve-se ficar atento às necessidades que eles serão submetidos, que, caso sejam mal avaliadas, podem levar a resultados inesperados num projeto. Nesse sentido, apesar do protótipo deste trabalho necessitar de um cuidado especial das temperaturas e umidade, não é necessário que os sensores do sistema apresente 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 um 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 Maxim-Integrated (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;
- $\pm 0,5$ °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 *1-Wire*;
- medição de temperatura calibrado de fábrica.

Ainda de acordo com *datasheet* do sensor, 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. Como o protocolo opera com uma comunicação digital, o manual define uma sequência para comunicar com o sensor conforme os passos relatados:

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

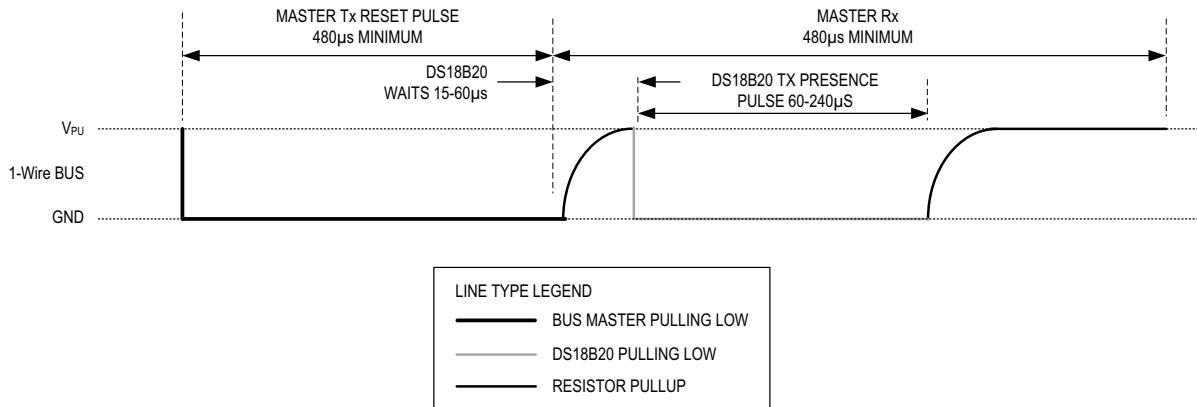


Fonte: O Autor, 2022.

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

A Figura 7 mostra que o sensor possui uma memória RAM interna de 9 registradores, cada um com a capacidade de 1 *byte*: os bytes 0 e 1 guarda os valores da temperatura lida, o valor inicial do campo é de 85°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 configuração de precisão de medição de temperatura; 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

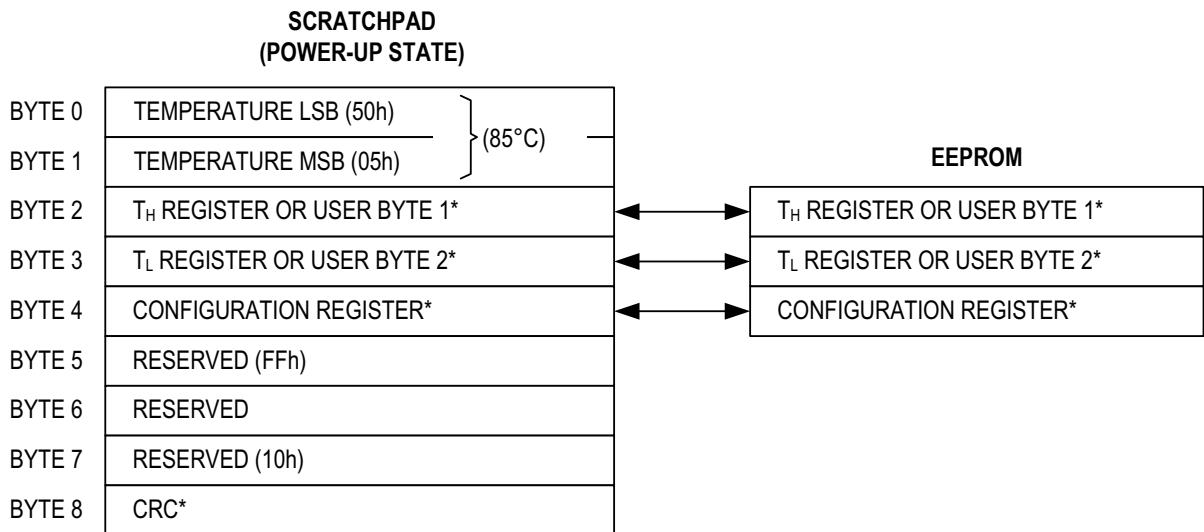
Figura 6 – Tempo de inicialização da comunicação.



Fonte: Maxim-Integrated (2019)

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: Maxim-Integrated (2019)

A Figura 8 apresenta o formato da leitura de temperatura, em °C, que estão localizados no byte 0 e byte 1 da memória interna. O primeiro conjunto de 8 bits (LS BYTE) é formado pelos bits menos significantes do valor da temperatura, de forma que do bit 2 ao 0 pode ou não ser utilizado, dependendo da configuração de precisão 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

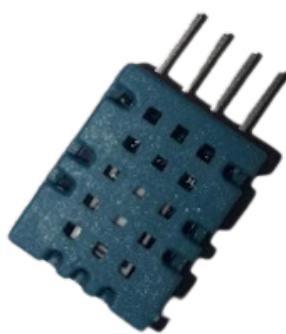
Fonte: Maxim-Integrated (2019)

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). Esse sensor digital é composto por um termistor do tipo NTC⁵ (*Negative Temperature Coefficient* - Coeficiente Negativo da Resistência), e um sensor resistivo do tipo HR202 para umidade. De acordo com D-Robotics (2019), pode-se destacar as principais características do DHT11:

- 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;
- $\pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ de precisão na medição da temperatura;
- tensão de operação de 3 VDC a 5,5 VDC.

Figura 9 – Sensor DHT11.



Fonte: O Autor, 2022.

⁵ Resistor que apresenta abaixa sua resistência quando a temperatura aumenta

Este dispositivo também utiliza comunicação *1-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.

Para enviar os dados para o controlador, o sensor envia um total de 5 bytes de dados, sendo 2 bytes para umidade, 2 bytes para a temperatura e 1 byte para soma de verificação. Seguindo a Figura 10, que apresenta o formato desses dados enviados, os 2 bytes referente a umidade (BYTE 1 E BYTE 2) ou temperatura (BYTE 3 E BYTE 4) são formados por um byte mais significativo e outro menos significativo. Por fim, o sensor envia o byte da soma de verificação (BYTE 5) que informa quantos bits, dos 32 enviados anteriormente, foram setados em 1.

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

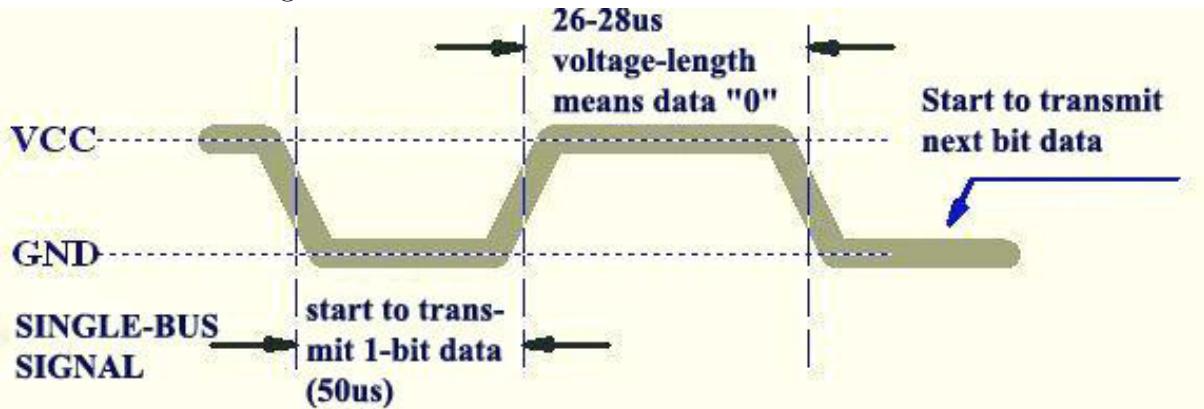
		BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
umidade (mais significativo)	BYTE 1	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
	+	BIT 15	BIT 14	BIT 13	BIT 12	BIT 11	BIT 10	BIT 9	BIT 8
umidade (menos significativo)	BYTE 2	$2^{(-8)}$	$2^{(-7)}$	$2^{(-6)}$	$2^{(-5)}$	$2^{(-4)}$	$2^{(-3)}$	$2^{(-2)}$	$2^{(-1)}$
	+	BIT 23	BIT 22	BIT 21	BIT 20	BIT 19	BIT 18	BIT 17	BIT 16
temperatura (mais significativo)	BYTE 3	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
	+	BIT 31	BIT 30	BIT 29	BIT 28	BIT 27	BIT 26	BIT 25	BIT 24
temperatura (menos significativo)	BYTE 4	$2^{(-8)}$	$2^{(-7)}$	$2^{(-6)}$	$2^{(-5)}$	$2^{(-4)}$	$2^{(-3)}$	$2^{(-2)}$	$2^{(-1)}$
	+	BIT 39	BIT 38	BIT 37	BIT 36	BIT 35	BIT 34	BIT 33	BIT 32
soma de verificação	BYTE 5	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0

Fonte: Adaptado de D-Robotics (2019)

O sensor DHT11 começa a enviar seus valores de temperatura e umidade depois que o microcontrolador faz uma requisição, que envia um sinal de nível lógico baixo na linha de dados por um tempo mínimo de 18 ms. Isso faz que o dispositivo saia do modo de baixo consumo de energia e entre 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.

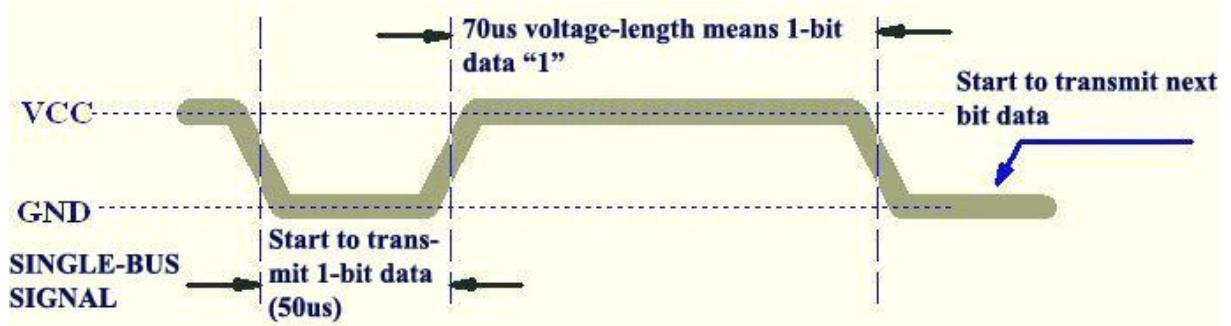
Antes de mandar os 40 bits, o sensor começa enviando um sinal em nível lógico baixo de 80 μ s, e, logo em seguida, deixa a linha de dados por 80 μ s no nível lógico alto. Após mandar esse sinal de resposta, ele começa mandar os bits pelo barramento, de forma que todos os bits de dados começam com o nível lógico baixo por 50 μ s e em seguida descola-se para o nível lógico alto. O que determina se o bit enviado 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 70 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: D-Robotics (2019)

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



Fonte: D-Robotics (2019)

2.5 Atuadores

No âmbito da automação de sistemas industriais, Thomazini e Albuquerque (2020) argumenta que os atuadores são dispositivos que tentam modificar uma variável controlada. Essa modificação ocorre após receber um sinal de comando de um controlador, geralmente uma mudança mecânica, como uma alteração de posição ou velocidade (GROOVER, 2011). Pode-se citar, como exemplo de atuadores, as válvulas (pneumáticas, hidráulicas), 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:

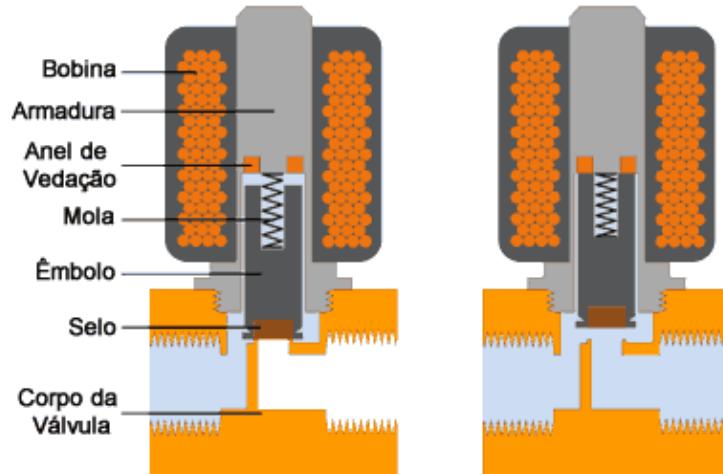
- atuador elétrico: o mais comum das categorias, pode ser tanto linear (deslocamento linear de saída) como rotativo (deslocamento angular de saída);
- atuador hidráulico: utiliza fluido hidráulico para amplificar o sinal de comando do controlador, podendo ser linear ou rotativo;
- atuador pneumático: 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 fica responsável por liberar ou impedir a passagem de um fluido quando ela é energizada. Esse mecanismo é 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 presença da 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 (sem presença de energia elétrica), o êmbolo tampa o orifício que o fluido circula, 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 na posição de repouso 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 fechado de 2/2 vias.

Figura 13 – Esquema típico de uma válvula solenoide.



Fonte: Cristiano Bertulucci Silveira (2017)

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

Figura 14 – Válvula Solenoide para água 127 VDC.



Fonte: O Autor, 2022.

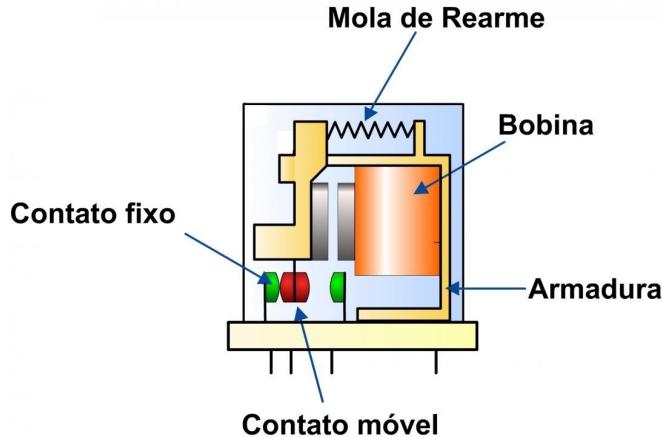
2.5.2 Relé eletromecânico

O relé eletromecânico tem a finalidade de fazer uma operação em um contato elétrico, de forma que esse dispositivo utiliza uma força mecânica em resposta a um estímulo (RUSH, 2011). Esse estímulo é basicamente dado pelo sinal de comando vindo de um controlador. Conforme Stroski (2018), em suma, a força mecânica do atuador opera o contato elétrico 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 de os 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, de maneira que ela transporta um contato móvel que engata em um contato fixo. A Figura 15 mostra a organização dos componentes presentes internamente em um típico relé de atracamento. 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.

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

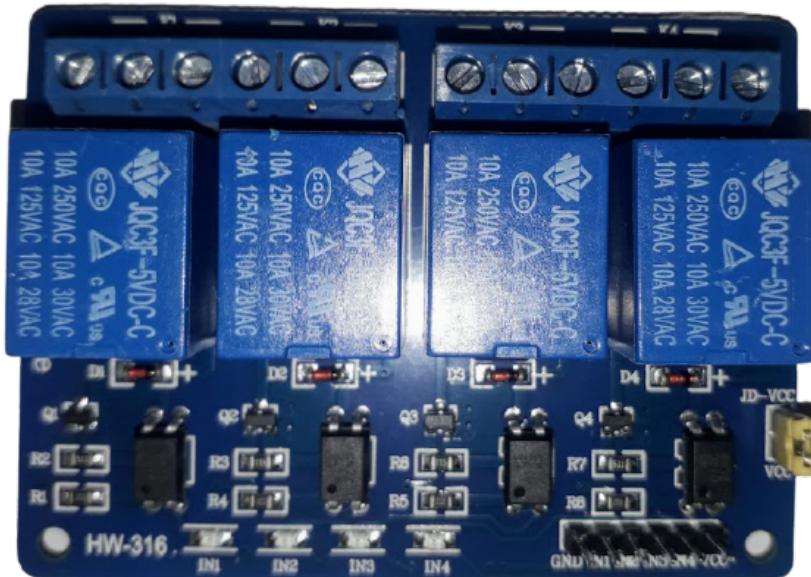
Figura 15 – Relé típico de atracamento.



Fonte: Stroski (2018)

utilizá-lo, basta alimentá-lo e mandar o sinal à determinado entrada do respectivo relé para abrir ou fechar o contato elétrico.

Figura 16 – Módulo Relé 5V 4 Canais.



Fonte: O Autor, 2022.

2.6 Internet das Coisas e Sistemas Embarcados

De acordo com Gogoni (2019), o conceito de IoT se refere a uma enorme rede de dispositivos, que são além dos habituais, conectados. 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 se tornam 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 crescer ainda mais com o passar dos tempos em consequência dos dispositivos eletrônicos estarem em uma constante redução de preço e 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

As próximas seções apresentam trabalhos que fazem referência ao que já foi estudado e pesquisado sobre sistemas para monitoramento e automações em galpões de criação de aves, auxiliando diretamente na condução do desenvolvimento deste trabalho.

2.7.1 *Sistema automatizado embarcado em microcontrolador para controle e supervisão do ambiente térmico para aviários*

No artigo de Alecrim, Campos e Júnior (2013), foi desenvolvido um sistema automatizado para controle e supervisão do ambiente térmico para aviários, embarcado em um microcontrolador PIC18F4520. O trabalho adotou um sensor de temperatura LM35 para monitorar a temperatura do galpão e um sensor HIH 4000 para umidade relativa. O sistema desenvolvido possui uma interface homem-máquina que apresenta suas informações por meio de um *display LCD* (*Liquid Crystal Display - Display de Cristal Líquido*) e botões para o usuário interagir com o sistema. O trabalho utilizou linguagem C para implementação do *software*, e teve como primeiro passo a sua simulação no *software* Proteus para resultados mais concretos e eficientes. Em sequência, o sistema foi testado em um galpão da Universidade Federal de Lavras, que utiliza o sistema de resfriamento adiabático evaporativo.

O sistema desenvolvido conseguiu monitorar a temperatura e umidade do galpão de criação de frangos de corte, e atuar no controle da temperatura, realizando acionamentos de sistemas de resfriamento ou aquecimento, de acordo com a necessidade

do ambiente. O protótipo desenvolvido apresentou um baixo custo material, mostrando-se tecnicamente viável a sua instalação em um aviário.

2.7.2 Implementação e avaliação de um sistema automatizado de monitoramento e controle térmico em um aviário convencional utilizando tecnologia IoT

Outro projeto relacionado à área de estudo deste trabalho é a tese de doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental de Marcelo Eduardo de Oliveira (2019), que consistiu em desenvolver um sistema embarcado utilizando vários sensores distribuídos em pontos estratégicos de um aviário e, consequentemente, conseguir controlar automaticamente os atuadores que interferem na ambiência deste galpão. Dos principais dispositivos utilizados no sistema desenvolvido, pode-se destacar o microcontrolador Raspberry Pi 3 Modelo B+ que faz papel do servidor geral e um microcontrolador ESP8266 acoplado em uma placa de desenvolvimento NodeMCU que realiza a leitura dos sensores. Para monitorar as condições do ambiente aviário, o sistema adotou sensores Termopar tipo-k para temperatura, DHT11 para umidade e temperatura, e sensores LDR (*Light Dependent Resistor* - Resistor Dependente de Luz) para luminosidade.

Além de controlar a temperatura e umidade do ambiente, o sistema de Marcelo Eduardo de Oliveira (2019) utilizava um mecanismo para abrir ou fechar as cortinas do aviário, que podia ser controlada remotamente ou operada automaticamente, conforme a intensidade da luz captada nos sensores LDR presente no sistema.

O sistema é composto por dois servidores para os usuários acessarem: um servidor Web feito para captação de relatórios de monitoramento dos sensores e atuadores do aviário e outro que utiliza o protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport* - Transporte de Filas de Mensagem de Telemetria) para interação com o sistema em tempo real, podendo realizar o controle dos atuadores.

O trabalho obteve uma redução de até 76,83% dos valores de temperatura captada nos sensores quando estava operando os atuadores de forma automática, além de reduzir o consumo de energia.

2.7.3 Sistema embarcado para controle e supervisão de ambiência em aviário utilizando Web Service

No trabalho de conclusão de curso de Lima Junior (2017), foi implementado um sistema conectado à *Internet* visando alcançar um baixo custo material 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 consistiram em um Rasberry Pi 3 Model B e um Arduino Uno Rev3, sendo, respectivamente,

um para processar o servidor e hospedar a interface Web, e o outro para processar as informações dos sensores e controlar os atuadores.

Os equipamentos do sistema podem ser acionados automaticamente, desde que o modo autônomo seja configurado. A lógica de acionamento dos ventiladores e das lâmpadas funcionam de acordo com uma temperatura máxima e mínima de trabalho. O sistema tentará manter a temperatura entre esses valores informados, dentro do raio de cobertura de cada atuador.

A interface com o sistema é realizado através de uma página *Web* responsiva que fica hospedada na nuvem, juntamente a um *Web Service* feito em Node.JS, que faz comunicação com ela. Esse *Web Service*, além de prover as aplicações à página *Web*, ele realiza consultas e armazenamento em um banco MongoDB, que fica hospedado em um servidor de banco de dados. Internamente, o Raspberry Pi 3 também possui um serviço *Web* feito em Node.JS, que tem a finalidade de apenas trocar informações com o serviço que está hospedado na nuvem.

O sistema desenvolvido foi capaz de acionar atuadores, monitorar a temperatura e umidade do aviário, e gerar relatórios referentes às condições do aviário que foram captadas anteriormente, podendo ser utilizadas para análises. O custo médio dos materiais presentes no sistema foi de R\$ 497,80.

2.7.4 Sistema de controle e monitoramento de ambiência para aviários do tipo pressão negativa

O trabalho de conclusão de curso de Tiggemann (2015) consistiu no desenvolvimento de um sistema embarcado que monitora e controla a temperatura ambiente, umidade, qualidade do ar e pressão estática do aviário. O sistema embarcado utiliza apenas um microcontrolador Raspberry Pi 2 para realizar todo processamento da interface e controle dos sensores e atuadores do presente no aviário. As aplicações implementadas no controlador foram desenvolvidas na linguagem de programação Java e utilizam um banco de dados MySQL para armazenar seus dados.

O sistema possui duas interfaces: um para ser manuseado dentro do aviário que faz interação com usuário através de um *display LCD* e botões; e uma página *Web* que pode ser acessada por dispositivos eletrônicos que conseguem acessar navegadores de internet. O sistema tem a opção de operar com diferentes números de atuadores e sensores, tendo que ser inicialmente configurado informando esses respectivos valores.

2.7.5 Temperature and humidity control system for broiler chicken coops

O sistema desenvolvido no trabalho de Ramadiani *et al.* (2021) tem o intuito de monitorar a temperatura e umidade utilizando um sensor DHT11. O controle era feito

apenas quando a temperatura ultrapassasse os 30 °C, de forma que uma bomba d'água é acionada para nebulizar o ambiente.

A temperatura e umidade pode ser monitorada através de um *display LCD*, que comunica com o microcontrolador Arduino Uno ATMega328 do sistema. Esse microcontrolador requisita e disponibiliza na tela LCD o valor atual da temperatura e umidade do sensor DHT11, controla o status elétrico do nebulizador por meio de um módulo relé, e aciona o alarme quando a temperatura estiver acima do valor esperado.

2.7.6 Argumentação

As obras citadas anteriormente tem uma grande relevância para o desenvolvimento do trabalho, pois elas trazem diferentes aspectos que contribuíram na condução deste trabalho. O sistema desenvolvido no trabalho de Alecrim, Campos e Júnior (2013) teve como foco a sua lógica de autonomia dos atuadores do sistema, tendo um bom resultado para essa finalidade. Apesar de uma ótima fonte de embasamento para auxiliar no desenvolvimento uma lógica de acionamento mais robusta, os sensores analógicos podem trazer problemas em conexões de longas distâncias. O aprimoramento do sistema para a incrementação de uma interface que funcione em dispositivos móveis auxiliaria ainda mais o avicultor. O sistema embarcado de Ramadiani *et al.* (2021) seguiu o mesmo padrão, mas não interage com o usuário, apenas trazendo os valores do sensor de temperatura e umidade. Um problema desse sistema é dado pela falta de um ventilador que deveria ser ligado juntamente ao nebulizador para realizar a renovação do ar e aperfeiçoar o sistema evaporativo.

O sistema desenvolvido no trabalho de Marcelo Eduardo de Oliveira (2019) obteve bons resultados, mas um custo um pouco elevado para pequenos aviários, devido ao seu alto número de sensores, atuadores, microcontroladores e servidores de hospedagem. O trabalho de Tiggemann (2015), tendo como principais diferenças que este não faz o armazenamento dos valores dos sensores, sendo possível apenas visualizar o valor atual, e a outra é dada pela página *Web* ser de acesso apenas na rede local. Os dois trabalhos focam em aviários de médio e grandes portes, sendo que, devido ao seu tamanho, o número de sensores necessitam ser maiores.

A ideia de desenvolver um *Web Service* para o sistema embarcado, que foi realizada no trabalho de Lima Junior (2017), traz uma possibilidade expansão bem alta, visto que, além da interface *Web* criada por ele, outros sistemas podem acessar aquela aplicação para interagir com o sistema embarcado. De desvantagem, pode-se observar a falta de uma interface em que o usuário poderia acessá-la mesmo com a ausência de internet, e também o provável custo mensal/anual de hospedar em nuvem o servidor de aplicação e o banco de dados do sistema.

De todos as obras citadas anteriormente, apenas o sistema desenvolvido no trabalho de Tiggemann (2015) monitora a temperatura da água dos bebedouros do aviário,

mas não faz nenhum tipo de controle em casos de valores irregulares dessa variável. O diferencial deste trabalho pode ser dado pelo monitoramento e controle dessa variável que, na maioria das vezes, é esquecida.

3 METODOLOGIA

Este capítulo tem a finalidade de elucidar as etapas metodológicas necessárias para se atingir os objetivos propostos. A primeira Seção (3.1) descreve a classificação da pesquisa em que este trabalho se encontra. Em seguida, a Seção 3.2 apresenta a solução desenvolvida para resolver o problema identificado. Já, a Seção 3.3 aborda os materiais e tecnologias utilizados, tanto para o desenvolvimento do protótipo quanto os materiais presentes no protótipo. A Seção 3.4 apresenta o galpão de criação de aves que foi utilizado para teste do protótipo de sistema embarcado desenvolvido neste trabalho. Por fim, a Seção 3.4 aborda a metodologia de desenvolvimento adotada e os procedimentos realizados.

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 se levanta 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 se encontra 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 sistema para monitoramento e controle de um ambiente aviário focando ter um baixo custo material, desde que o pequeno avicultor já tenha alguns equipamentos básicos de criação do aviário, como ventiladores e nebulizadores instalados no seu galpão de criação.

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 configurados 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 monitora e controla os equipamentos do aviário. O acesso a essa interface é feito através de uma página *Web* hospedada no microcontrolador, que é acessada através do Wi-Fi. O ESP32 consegue ser programado para disponibilizar uma interface *Web* que é acessada através do endereço de IP¹ (*Internet Protocol - Protocolo de Internet*) responsável por identificar esse dispositivo na rede que ele mesmo está gerando. Esse servidor *Web* se comunica com o cliente utilizando o protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol - Protocolo de Transferência de Hipertexto*). Um esquemático dessa conexão é mostrada na Figura 17.

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; e um trocador de água que contém uma válvula solenoide para realizar a troca da água presente no bebedouro tipo *nipple*².

3.3 Materiais e Tecnologias

O trabalho fez 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).

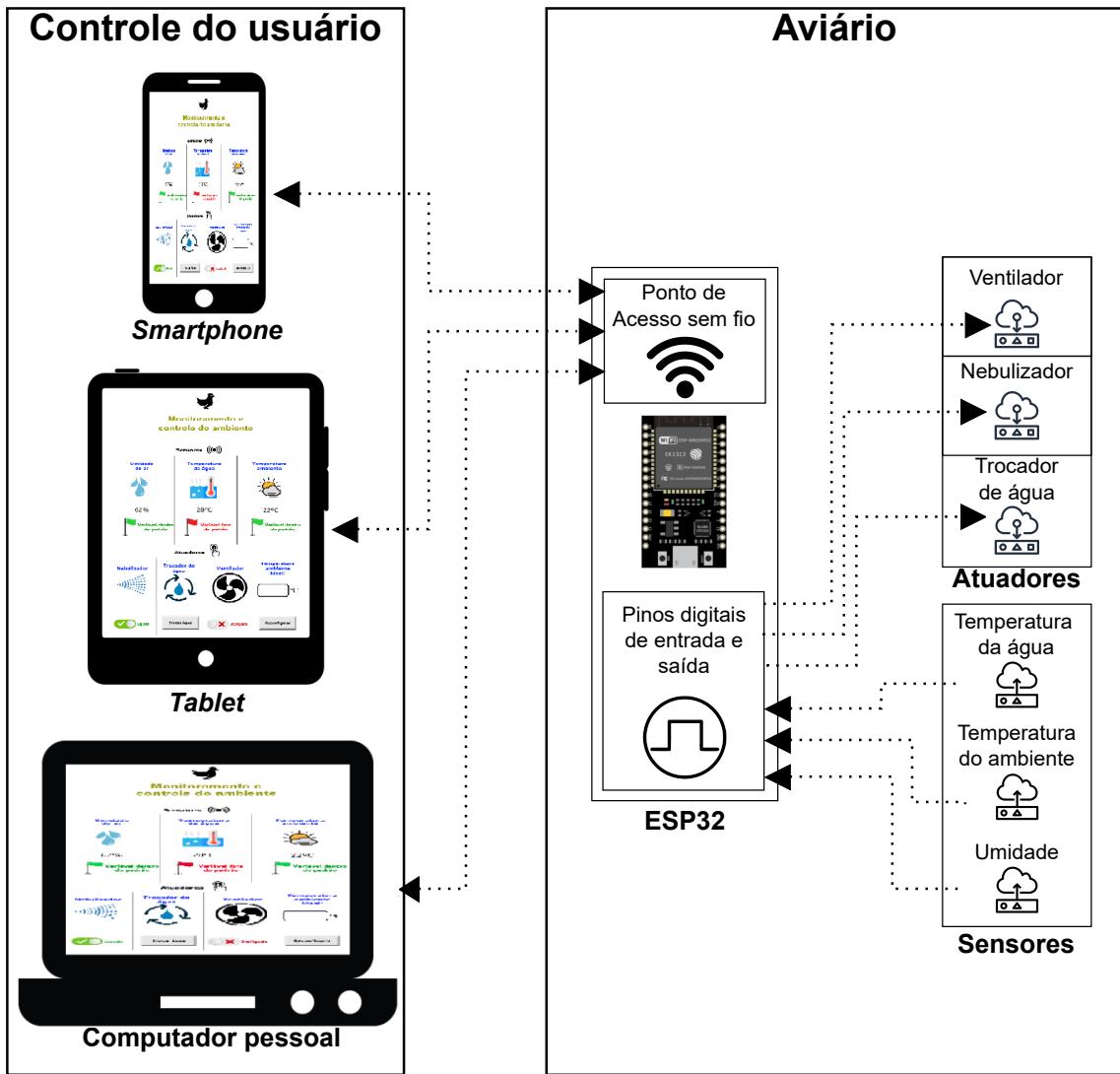
3.3.1 Ferramentas utilizadas

Para desenvolver os códigos do sistema embarcado foi utilizado as plataformas apresentada no Quadro 1. As plataformas foram executadas em um *Notebook Samsung Expert X23 NP300E5M i5-7200U* com um sistema operacional *Windows 10 Pro* 64-bits.

¹ Identificador que permite que as informações sejam enviadas entre dispositivos em uma rede

² Bebedouro que possui vários bicos de ingestão da água contida dentro de um cano instalado de forma longitudinal

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



Fonte: O Autor, 2022.

Quadro 1 – Plataformas de *software* utilizadas para o desenvolvimento.

Item	Utilização
Google Chrome	Navegador utilizado para testes da interface Web.
Visual Studio Code	Editor de código-fonte para o desenvolvimento da interface Web.
Arduino IDE	Ambiente de desenvolvimento do código presente no microcontrolador.
KiCad	Software 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 no Quadro 2. Essas bibliotecas foram instaladas no ambiente

de desenvolvimento Arduino IDE.

Quadro 2 – 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 <i>Web</i> 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 no Quadro 3.

Quadro 3 – 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 no Quadro 4.

Quadro 4 – 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

o Quadro 5 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.

Quadro 5 – 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 5 V DC 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 Ω 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 DC 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 simulações 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 esse galpão de criação de frangos de corte.

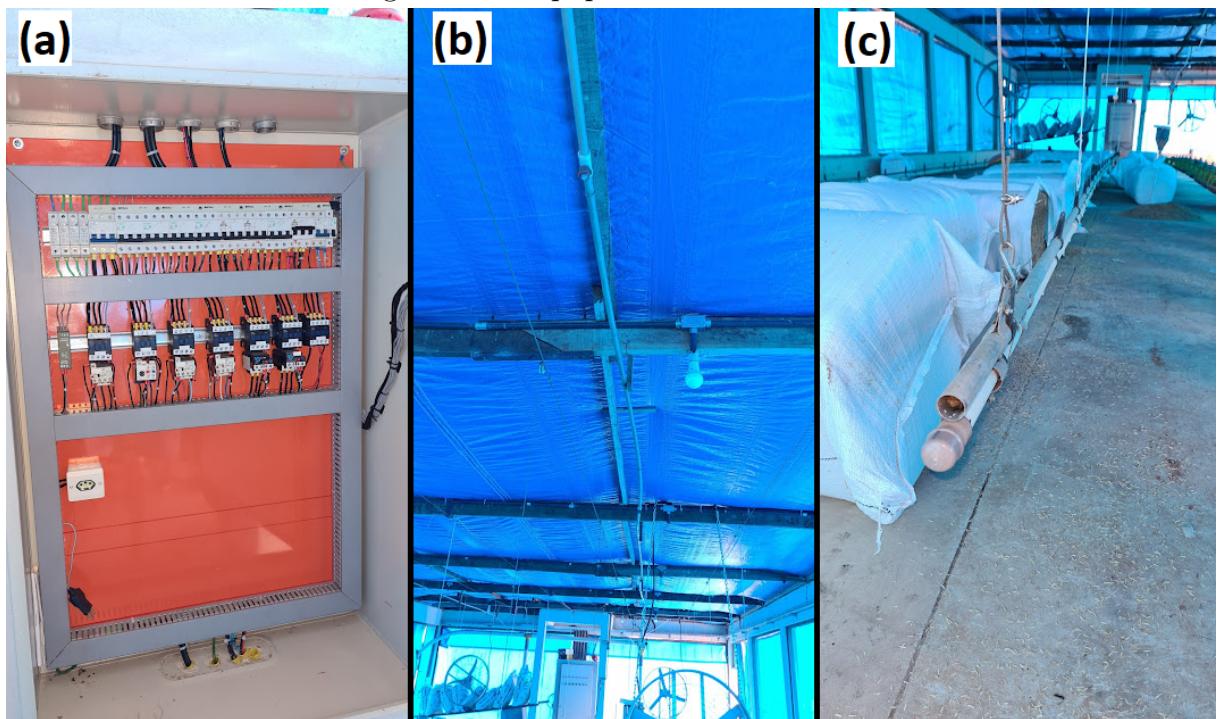
O protótipo foi instalado no aviário com o objetivo de avaliar o funcionamento do sistema e sua eficiência. O sensor de temperatura e umidade foi instalado no meio do aviário, na altura dos frangos de corte. Um dos canos dos bebedouros tipo *nipple* foi adaptado para funcionar juntamente com o sistema, adicionando a válvula de saída da água quando os sensores de temperatura da água apresentava um valor inadequado para os parâmetros configurados. O acionamento do ventilador e nebulizador foi feito com a ajuda do contator instalada no ambiente, de modo que os relés manda os sinais para modificarem o estado elétrico do atuador responsável. A Figura 19 mostra os equipamentos presentes 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

A seguir, nesta seção, é apresentada as metodologias utilizadas para desenvolver o trabalho e os procedimentos realizados, de forma cronológica.

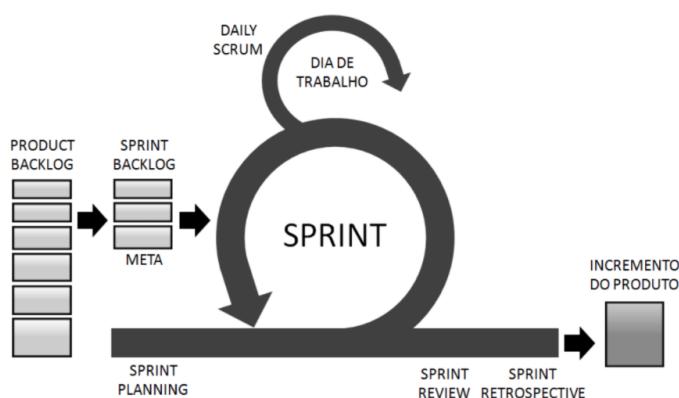
3.5.1 Metodologia de desenvolvimento

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 foi composta apenas pelo orientando do trabalho, acontecendo reuniões de *Sprint* em um período de 7 dias (uma vez por semana) para novas orientações e observações do andamento do trabalho.

O *Product Backlog* contou com estórias de todos os tipos necessários para desenvolver o trabalho, como revisões bibliográficas de materiais, consulta a manuais, desenvolvimento de *hardware* e *software*, simulações, visita ao ambiente de experimento, 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* semanal, como pode-se ver o ciclo completo do Scrum na Figura 20.

Figura 20 – O ciclo do Scrum.



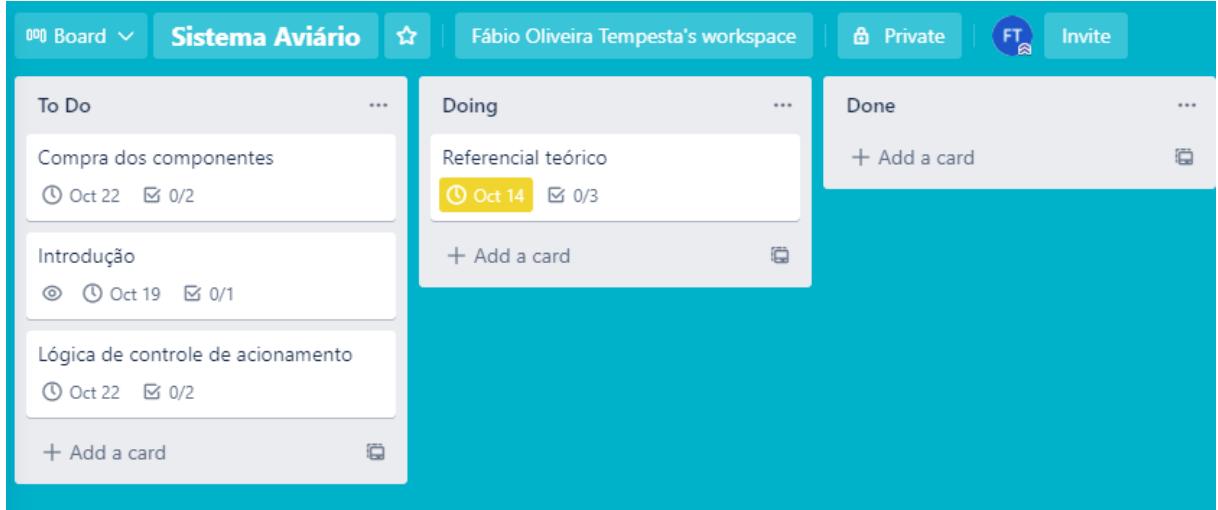
Fonte: Sabbagh (2014)

Para um melhor controle do fluxo de desenvolvimento de trabalho, foi adotada a ferramenta Trello³, que auxilia no gerenciamento de projetos em listas, para utilizar um

³ <https://www.trello.com/>

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.



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, desde que ele não dependa no funcionamento de outros

b) Requisitos de Desempenho

- i. Os valores das condições do ambiente captadas pelos sensores devem ser atualizadas na interface a cada cinco minutos

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 produto deve apresentar um custo final abaixo dos controladores presente no mercado

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 aprofundadas sobre as aves e as condições ideias para seu ambiente de criação. Após a fundamentação, foi feito uma atividade de confirmação, que foi 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 atingir uma 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, realização de 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.

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.

A finalização do trabalho consistiu no acabamento do protótipo e, em sequência, a aplicação do sistema embarcado no ambiente de experimento para avaliar o seu funcionamento.

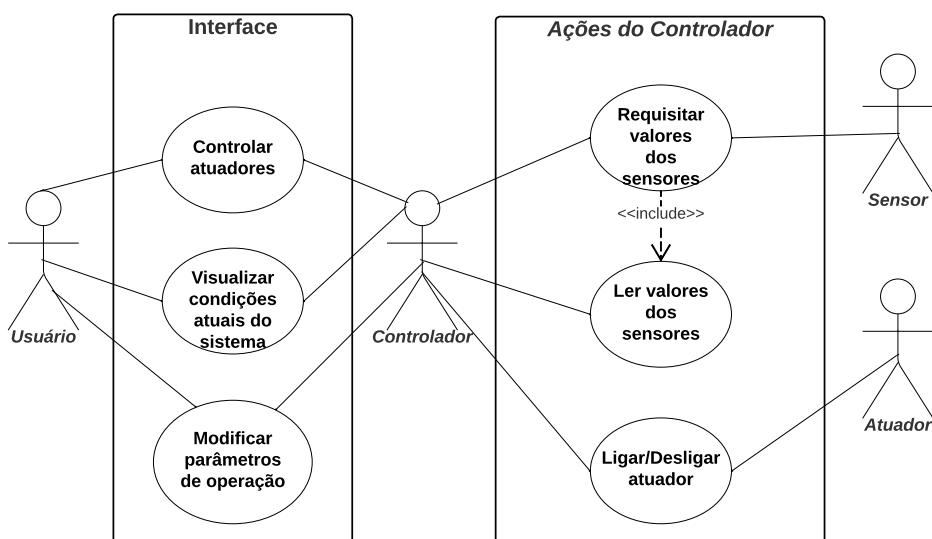
4 DESENVOLVIMENTO

O sistema embarcado pode ser dividido em quatro maiores partes 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 tentar modificar uma condição presente no aviário;
- **Interface:** permite o avicultor monitorar e controlar o sistema embarcado do aviário.

O diagrama de caso de uso apresentado na Figura 22 demonstra como essas partes do sistema se interagem, sendo que cada uma delas representam 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 do 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 do modo 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.

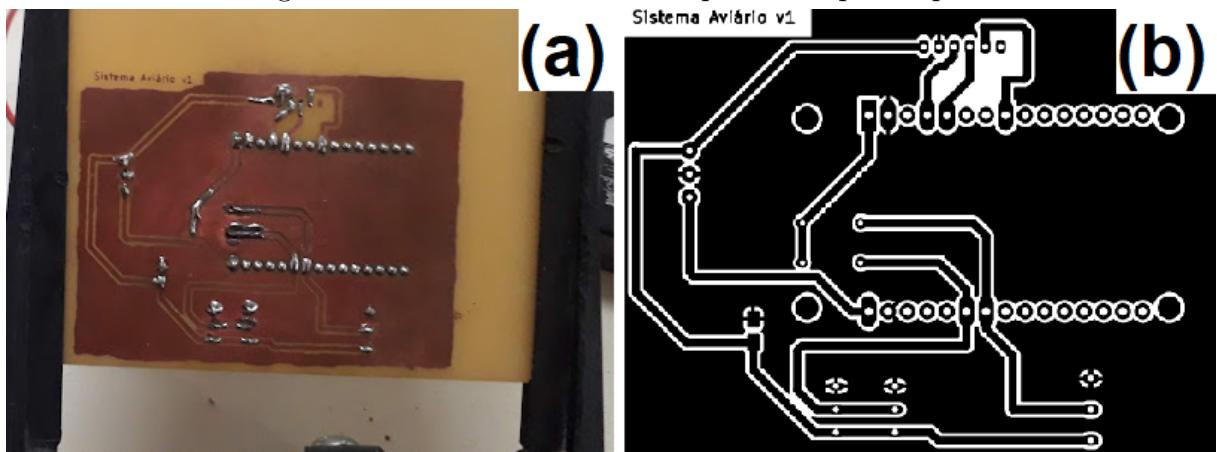


Fonte: O Autor, 2022.

4.1 Protótipo

O protótipo do sistema foi desenvolvido com a finalidade de facilitar a instalação do sistema em um galpão aviário, estender a vida útil do produto e garantir o funcionamento correto do sistema. Para isso, foi construído uma placa de circuito impresso (Figura 23) para torná-lo mais compacto e evitar o uso excessivo de fios, diminuindo a chance de interferências.

Figura 23 – Placa de Circuito Impresso do protótipo.



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

Fonte: O Autor, 2022.

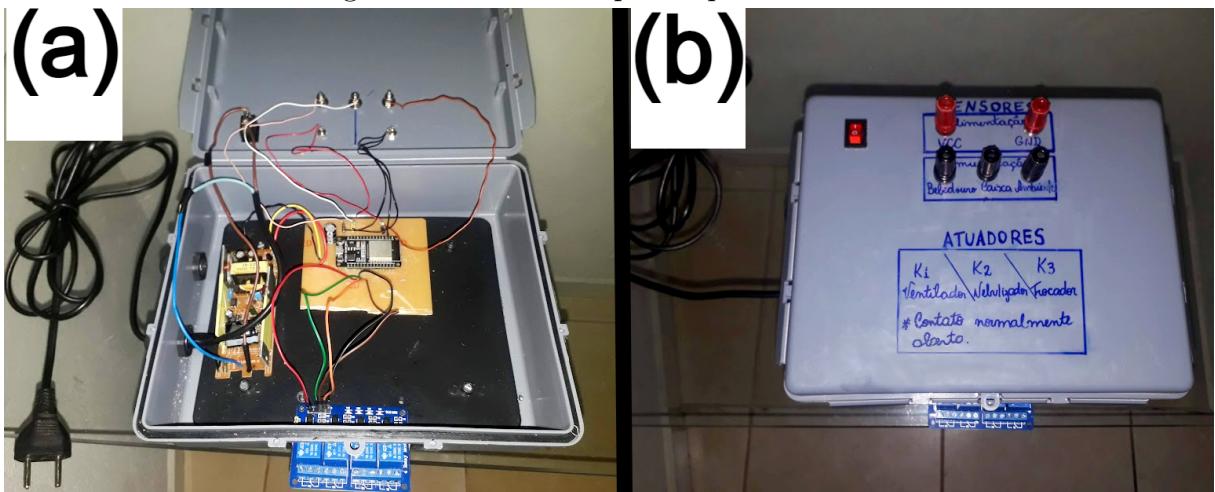
Essa placa do protótipo, o módulo relé e a fonte, que alimenta todos dispositivos presentes na placa, foram introduzidos na parte interna de uma caixa. Do lado externo da caixa ficaram apenas as entradas e saídas que necessitam ser conectadas para o funcionamento do sistema: uma tomada macho de alimentação 127 VAC, uma tomada fêmea para conectar a válvula solenoide, bornes para conexões dos sensores e a entrada dos relés acoplados no módulo para secccionamento da fase que chega no contator. A Figura 24 apresenta a caixa do protótipo externa 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 à prova d'água para medir a temperatura da água do bebedouro das aves; e outro sensor DS18B20 à prova d'água para receber o valor da temperatura da água presente na caixa d'água.

Figura 24 – Caixa do protótipo do sistema.



Legenda: (a) Lado interno; (b) Lado externo.

Fonte: O Autor, 2022.

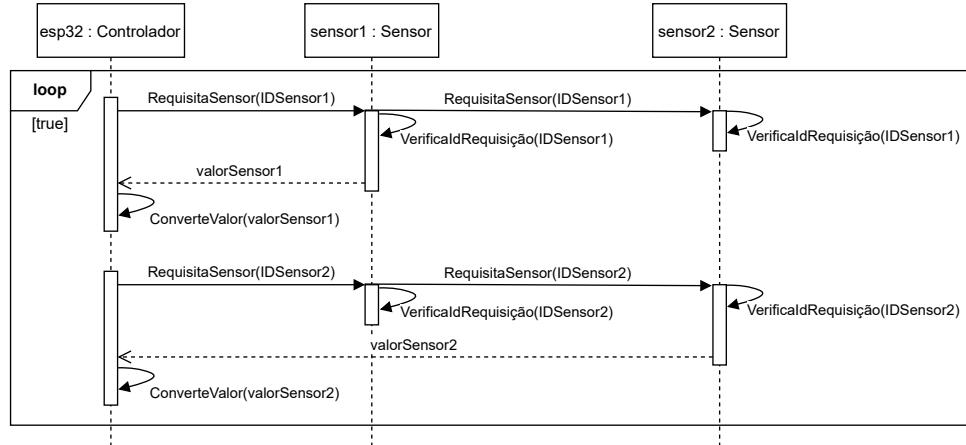
Como todos os sensores do sistema utilizam o protocolo de comunicação *1-Wire*, eles somente encaminham seus valores quando são requisitados pelo controlador. Depois do controlador reconhecer todos os sensores presentes na mesma linha de dados, ele começa a realizar requisições aos sensores, deixando claro qual sensor ele está requisitando no momento.

O diagrama de sequência da Figura 25 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. Todavia, 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 o seu 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 valor do sensor, que é retornada ao próprio microcontrolador. O operador de interação "*loop*" do diagrama repete sua sequência de tarefas a cada cinco minutos para manter atualizado sobre as condições do ambiente aviário.

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 26 mostra as conexões entre o controlador e os sensores, de modo que o controlador consiga obter seus devidos valores. Seguindo a figura, pode-se observar que todos os sensores têm suas ligações constituídas por três fios: um para linha de dados do

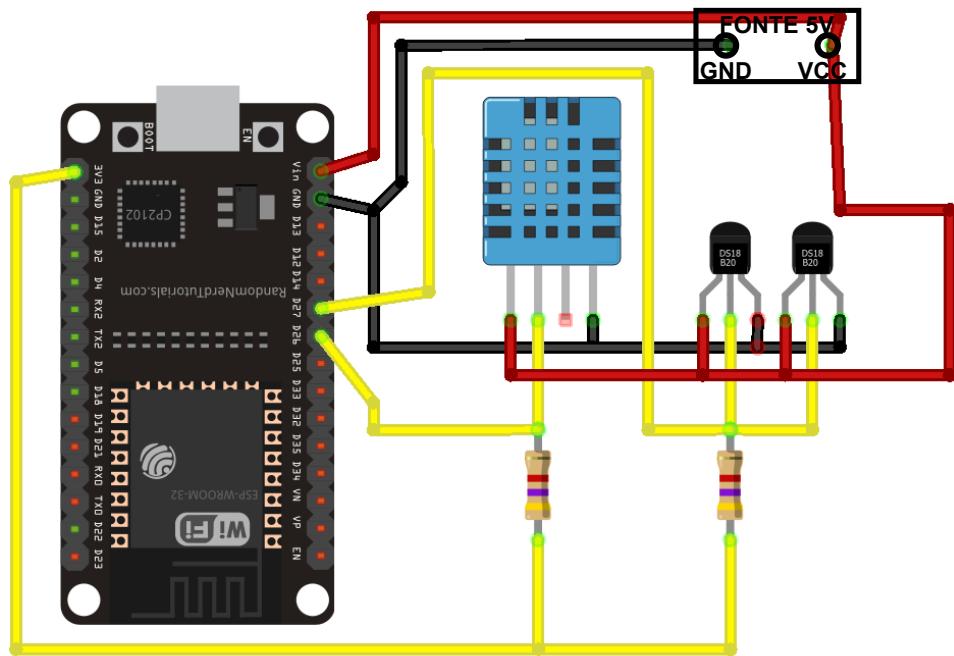
Figura 25 – Diagrama de sequência de requisições de sensores do mesmo tipo.



Fonte: O Autor, 2022.

protocolo 1-Wire (amarelo), uma alimentação de 5 VDC (vermelho) e o GND (Ground - Terra) (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 3,3 VDC (pino 3V3) para mantê-las no estado elétrico alto para o controlador realizar uma leitura com menos chance de erro.

Figura 26 – Conexões para leitura dos sensores.



Fonte: O Autor, 2022.

4.3 Atuadores

Todos os atuadores utilizam o módulo relé para alterar o estado elétrico de um equipamento utilizando o comando do 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 vindo 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 algum relé. O relé é responsável por liberar a passagem de energia da fase enquanto ele estiver desatracado, devido os atuadores serem conectados na configuração normalmente fechado. Os 10 amperes de corrente máxima do relé são suficiente para a alimentação dos atuadores de maneira segura. 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 contator elétrico, alimentando o atuador determinado.

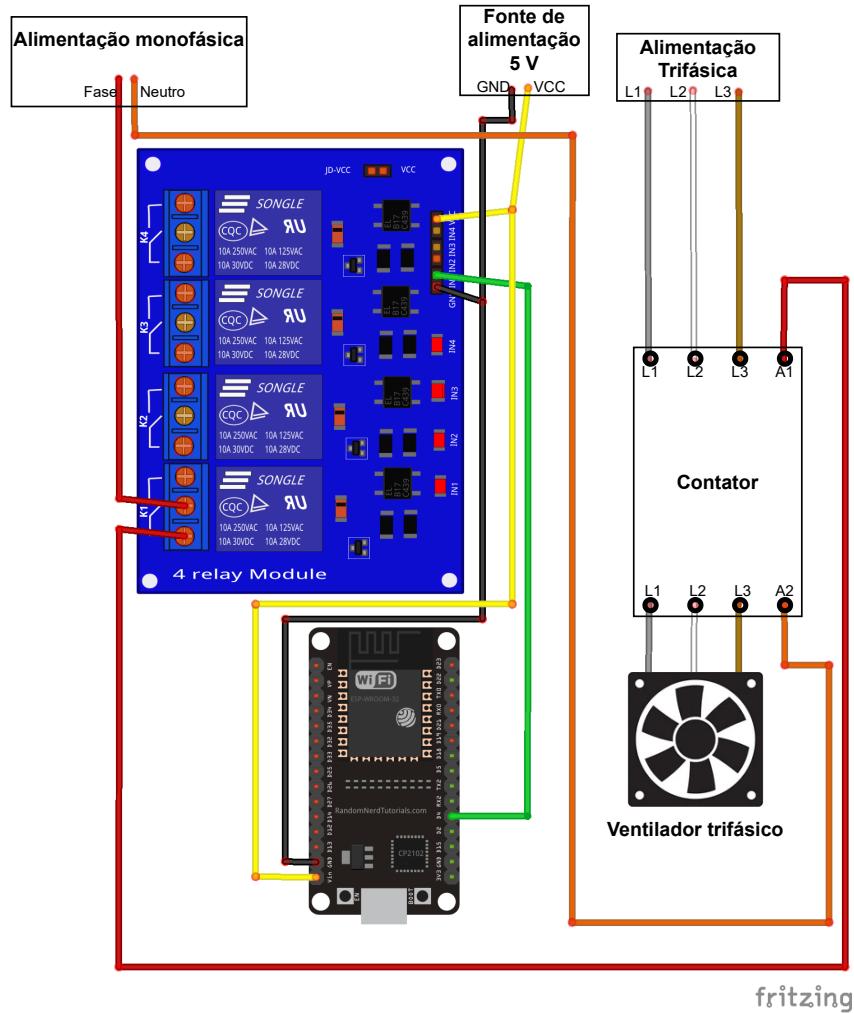
4.3.1 Ventilador

A Figura 27 demonstra a ligação elétrica desenvolvida para ventiladores industriais alimentados por uma tensão trifásica. O ventilador trifásico é ligado assim que o contator elétrico é atracado. Para o atracamento ocorrer, a fase seccionada no relé K1, que está embutido no módulo, deve estar liberada para chegar até o contator elétrico.

O sinal responsável por liberar a passagem da fase vem da porta digital 21 (D21) do microcontrolador. O sinal chega até a primeira entrada do módulo relé (IN1 - fio verde).

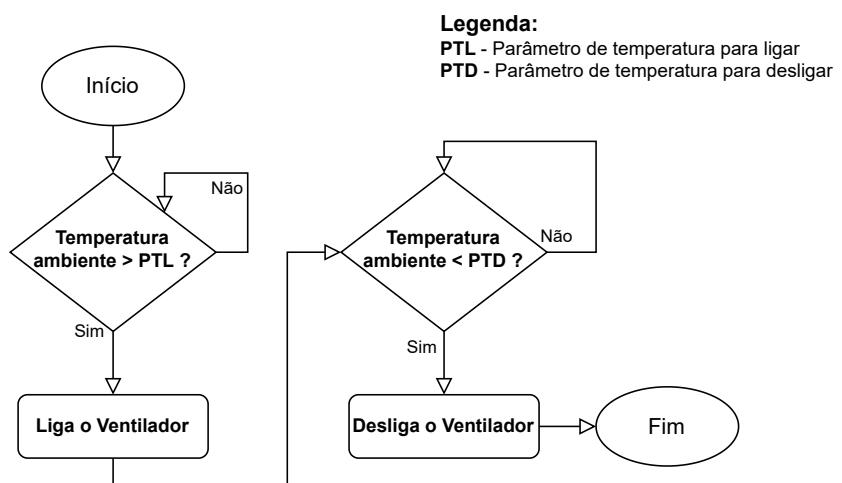
A sua lógica de acionamento no modo automático depende de dois parâmetros de temperatura, um para ligar e o outro para desligar o equipamento. Os valores desses parâmetros, que são de temperatura, são dados em graus Celsius. O parâmetro de ligar funciona de modo que quando a temperatura ambiente medida 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 28 apresenta esse funcionamento por meio de fluxograma, em que o ventilador começa em um estado inicial desligado.

Figura 27 – Ligações elétricas para para funcionamento do ventilador trifásico.



Fonte: O Autor, 2022.

Figura 28 – Lógica de acionamento do ventilador em modo automático.



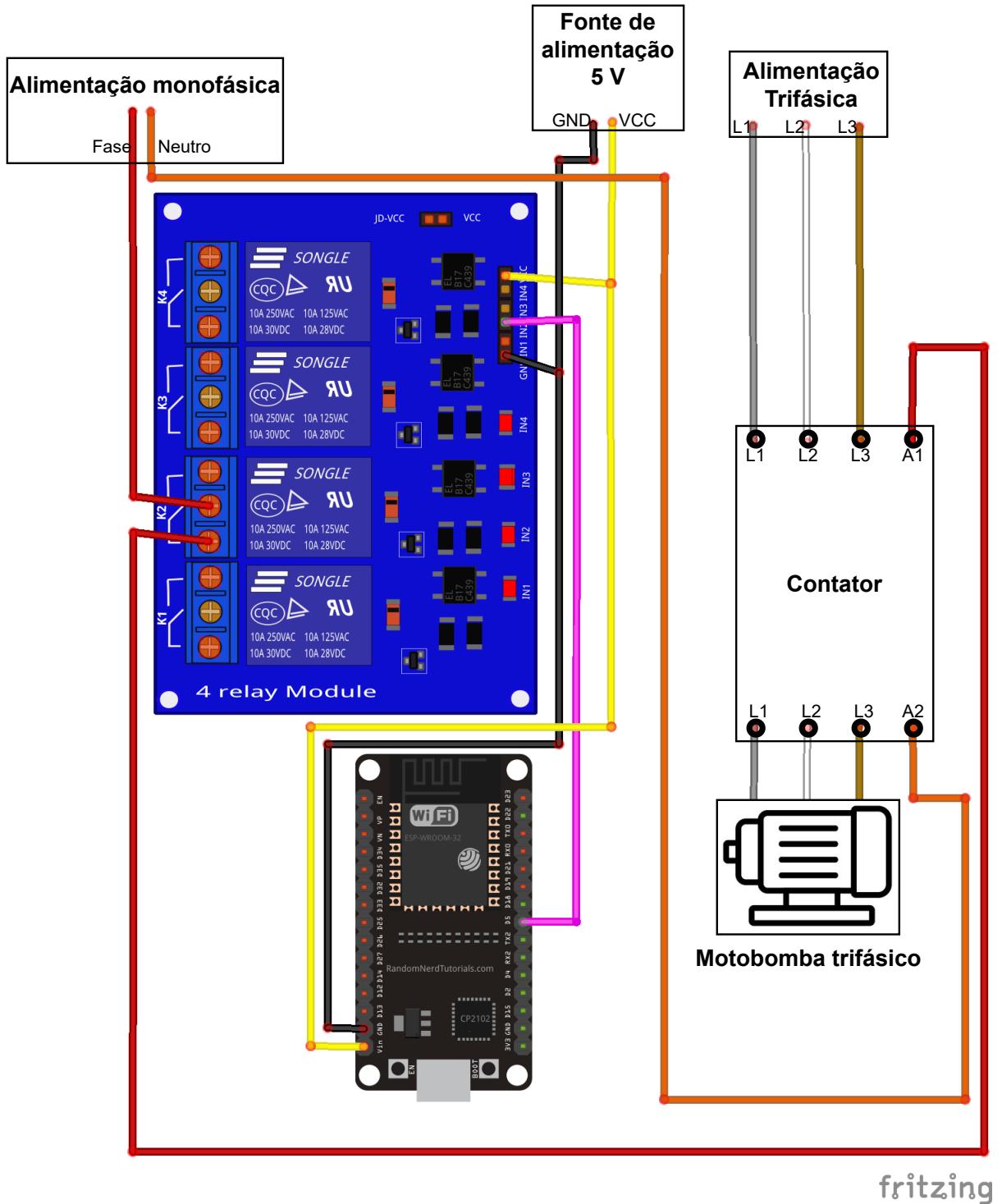
Fonte: O Autor, 2022.

4.3.2 Nebulizador

A Figura 29 demonstra a ligação elétrica desenvolvida para aviários com bomba de água com motor trifásico auxiliar o deslocamento da água até os canos do nebulizador. O ESP32, nesse caso, envia um sinal de uma porta digital 19 (D19) que é responsável pela segunda entrada do módulo relé (IN2 - fio rosa).

Quando o nebulizador deve ser ligado, o relé K2 libera a passagem de corrente da fase da alimentação monofásica. A fase do relé K2 chega até o contator, atracando ele e, por consequência, a motobomba é alimentada pela rede trifásica.

Figura 29 – Ligações elétricas para para funcionamento do nebulizador.



Fonte: O Autor, 2022.

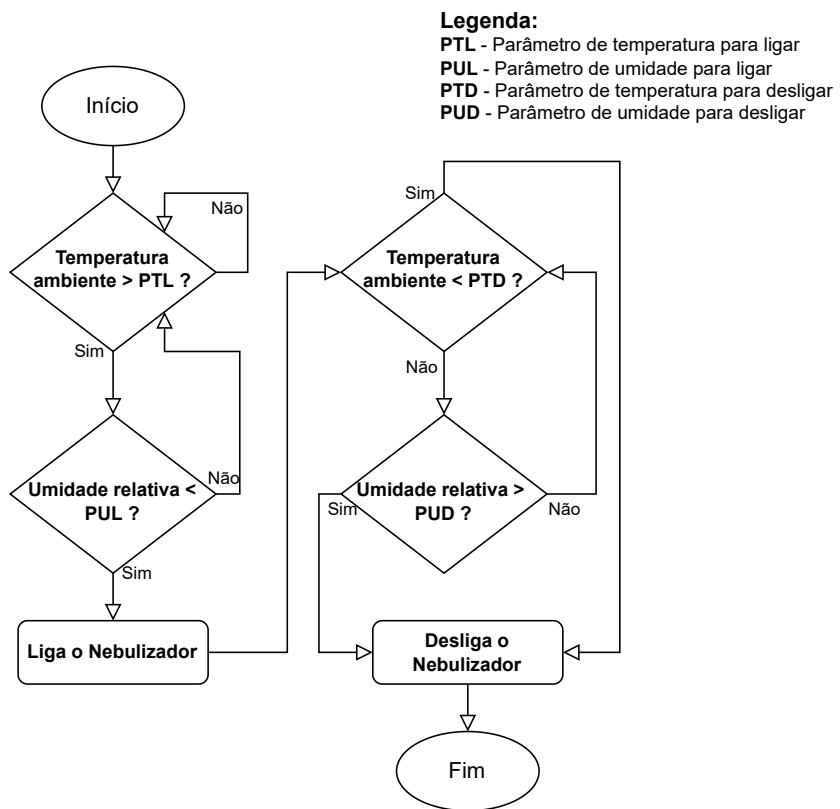
O nebulizador, tanto no modo automático quanto no modo manual, se e somente se o ventilador estiver ligado. Quando o ventilador se encontra desligado e o nebulizador é acionado, consequentemente, o ventilador é acionado também.

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 resfria-

mento 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, dado em porcentagem.

A lógica de acionamento do nebulizador é demonstrada na Figura 30 por meio de um fluxograma, em que o nebulizador começa desligado. Segundo o fluxograma, o equipamento é acionado quando o sensor DHT11 estiver informando uma temperatura acima do seu devido parâmetro juntamente a uma umidade relativa abaixo do valor do parâmetro responsável por ela. Para ser desligado, algum dos valores do sensor deve estar fora da faixa do parâmetro para desligar, podendo ser a temperatura ambiente maior ou igual que PTD, ou a umidade relativa menor ou igual que PUD.

Figura 30 – Lógica de acionamento do nebulizador em modo automático.



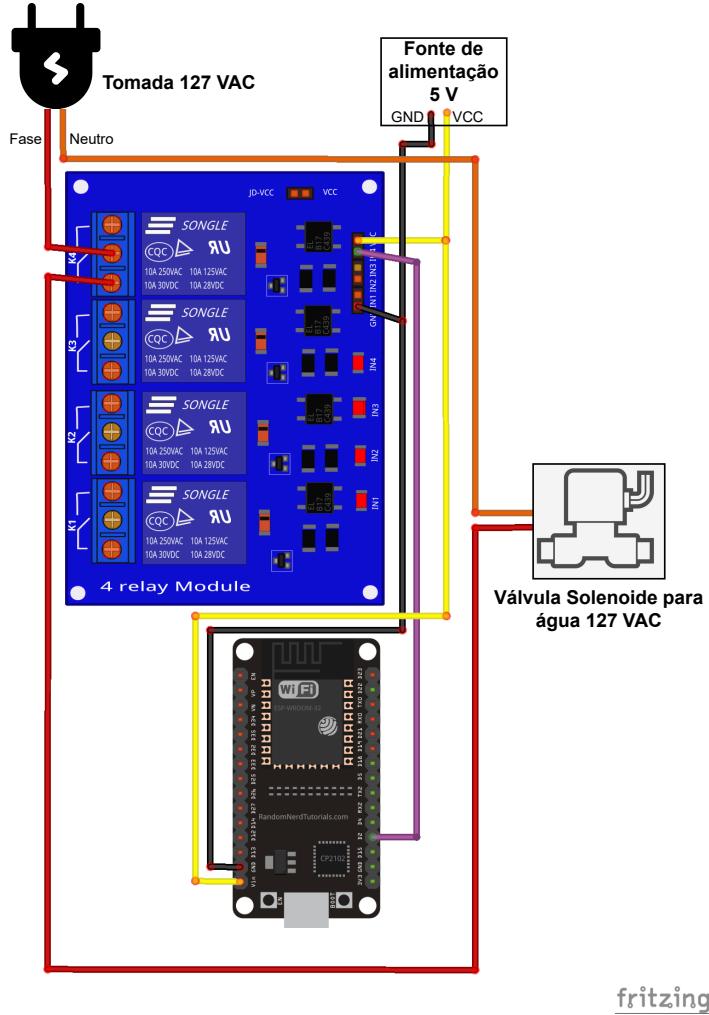
Fonte: O Autor, 2022.

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 31 demonstra as ligações elétricas para o funcionamento do mecanismo. O ESP32 envia um sinal da porta digital 18 (D18) para a quarta entrada do módulo relé (IN4) para o fio da fase seccionado 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 a porta D18 manda um sinal baixo para a entrada, a válvula é fechada novamente.

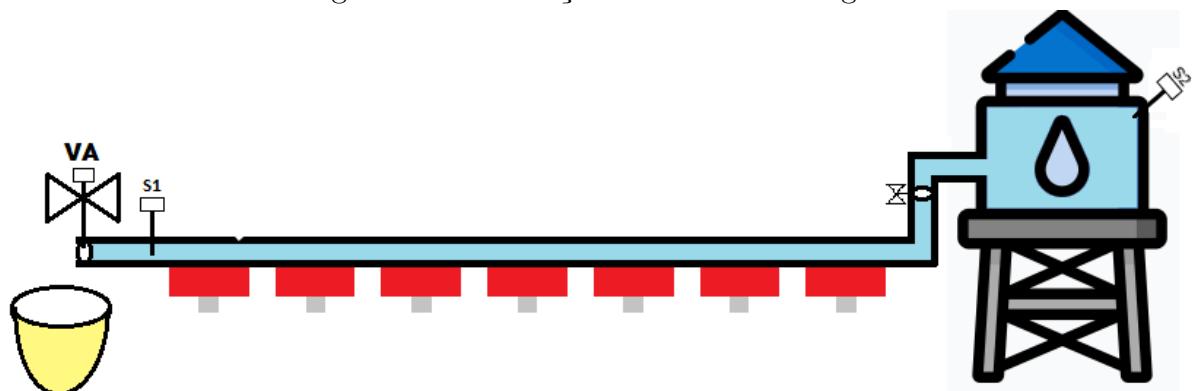
Figura 31 – Ligações elétricas para para funcionamento do trocador de água.



Fonte: O Autor, 2022.

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 apresentar uma temperatura um pouco menor 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" do bebedouro. Para uma troca inteligente, um sensor foi instalado dentro da água do bebedouro (S1) e outro na água da caixa d'água (S2). A Figura 32 ilustra esse funcionamento, de forma que a entrada de água no cano do bebedouro fica sempre aberta, deixando a água presente dele pressurizada. Quando a válvula VA abre, a água presente no bebedouro cai dentro de um recipiente, podendo ser reaproveitada para outra atividade, e, em seguida, a água que estava na caixa chega aos canos.

Figura 32 – Ilustração do trocador de água

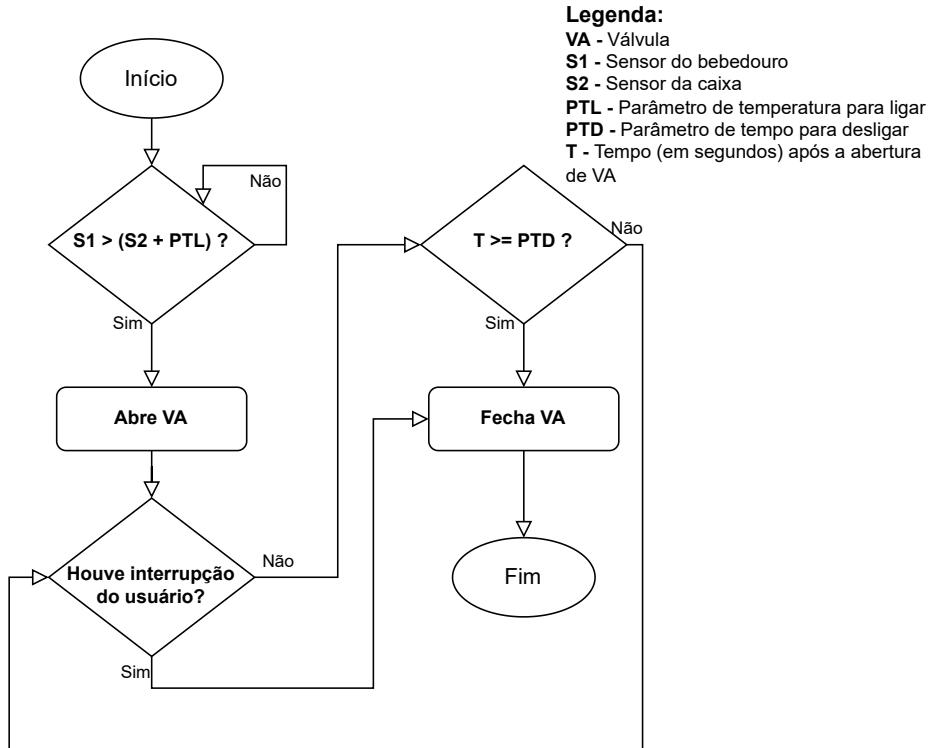


Fonte: O Autor, 2022.

Quando o equipamento está no modo de operação automático, seu acionamento depende de duas variáveis que podem ser reconfiguradas 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 toda a água "velha" pela "nova".

No fluxograma que apresenta sua lógica de acionamento (Figura 33), 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, conforme o valor do parâmetro responsável (PTD).

Figura 33 – Lógica de acionamento do trocador em modo automático.



Fonte: O Autor, 2022.

4.4 Interface Web

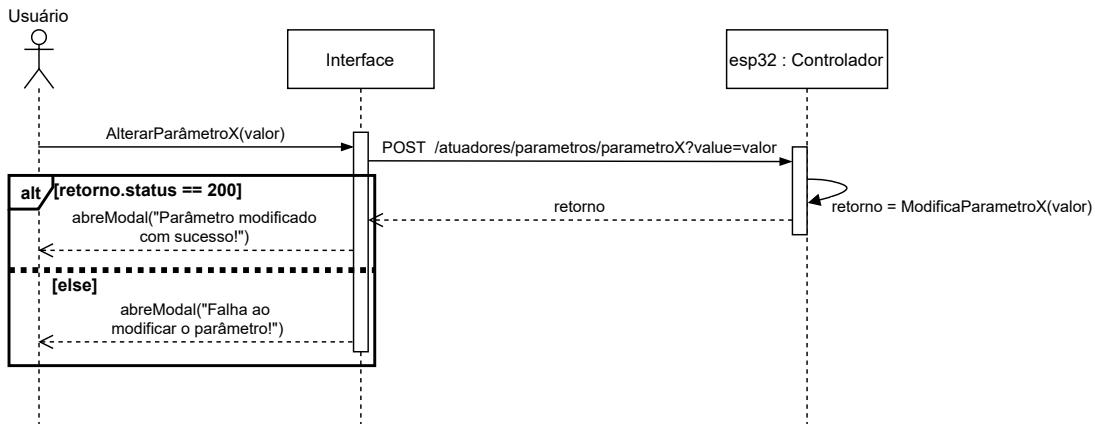
A interface *Web* do sistema embarcado foi desenvolvida utilizando o modelo cliente-servidor: o usuário acessa a página *Web* do sistema que, quando necessário, faz requisições ao servidor *Web* para buscar ou alterar alguma informação do sistema. A diferença é que tanto a página *Web* do sistema quanto o servidor de requisições 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 minutos 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 *Web Service* e, em seguida, é recebido a resposta daquela requisição. A função age de conforme 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 34 apresenta esse procedimento de requisição, começando pelo usuário tentando alterar um valor de funcionamento automático de um atuador.

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 35).

Figura 34 – Diagrama de sequência do procedimento de modificar um parâmetro através da interface.

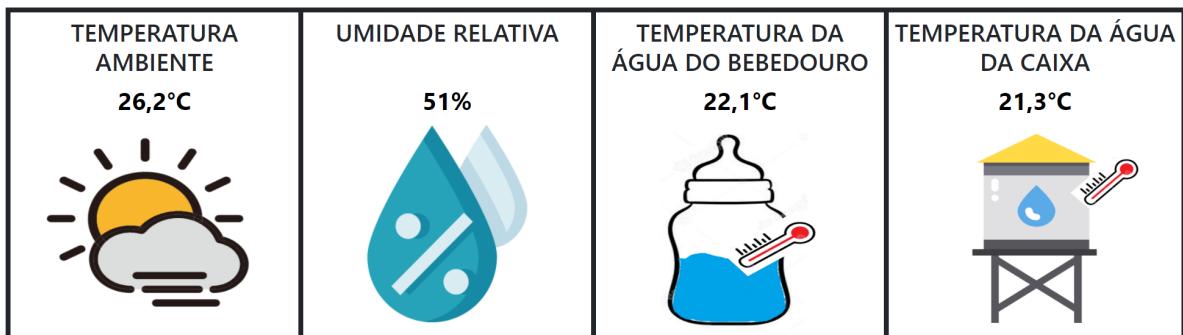


Fonte: O Autor, 2022.

Na parte dos sensores é informado o valor atual de cada sensor. Na parte dos atuadores é apresentado o status elétrico atual e o modo de operação (automático ou manual) 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.

Figura 35 – Captura de tela da página Web.

SENSORES (•)



ATUADORES ☰



Fonte: O Autor, 2022.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo é responsável por apresentar os resultados obtidos do desenvolvimento do protótipo. Primeiramente, a Seção 5.1 apresenta o custo material do protótipo desenvolvido. Logo em seguida, a Seção 5.2 descreve toda a instalação do protótipo em um aviário experimental e os resultados obtidos. Por último, a Seção 5.3 apresenta as vantagens e desvantagens que o produtor possa vivenciar com a instalação do sistema em seu(s) aviário(s).

5.1 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 2 a seguir, apresenta o custo médio encontrado no levantamento e a quantidade, em unidades, utilizada do material.

Tabela 2 – Preços do protótipo

Item	Quantidade	Valor (\$)
ESP32 - Devkit v1	1 unidade	7,90
Válvula Solenoide para Água 127 VDC	1 unidade	11,50
Sensor de temperatura a prova de água DS18B20	2 unidades	7,44
<i>Jumpers</i> de 20 cm	30 unidades	2,49
Módulo Relé 5 VDC - 4 canais	1 unidade	5,72
Cabo Flexível Paralelo 300V (2 X 1,5mm)	30 metros	20,33
Sensor de Umidade e Temperatura DHT11	1 unidade	2,82
Fonte 5 V DC	1 unidade	6,48
Cabo blindado CAT5	40 metros	20,18
Caixa de montagem	1 unidade	12,32
Borne p/ Plug Banana	5 unidades	2,06
TOTAL	-	99,22

Fonte: O autor, 2022.

5.2 Testes em ambiente experimental

Após o desenvolvimento do protótipo, o mesmo foi submetido a testes no Aviário de Corte 1, do Instituto Federal De Educação Ciência E Tecnologia De Minas Gerais - *Campus Bambuí*, na cidade de Bambuí/MG. O experimento foi feito sem a presença de animais no ambiente, e tinha o objetivo de avaliar o sistema para monitorar e controlar as condições apresentadas no aviário. Os componentes do sistema foram instalados em seus devidos lugares no aviário experimental para que os testes realizados fossem capazes dos sensores captar as condições e os equipamentos acionarem quando necessário.

Para acionar os equipamentos do aviário, o módulo relé do sistema ficou responsável por seccionar a fase que energizava o respectivo contator. Quando o controlador

detectava a necessidade de acionar um equipamento, o relé era atracado. Como a conexão deve ser feita no contato normalmente aberto, a partir desse momento aquele seccionamento era fechado, energizando o contator que, por consequência, ligava o equipamento. A Figura 36 apresenta o painel elétrico de comando do aviário, que abriga todos os contatores daquele galpão, juntamente com o protótipo que estava seccionando a fase dos ventiladores e da bomba de água do nebulizador.

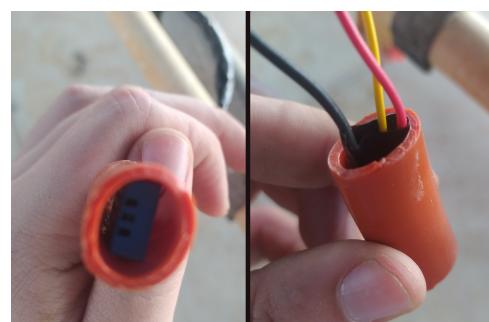
Figura 36 – Painel de comando do aviário e o protótipo instalado.



Fonte: O Autor, 2022.

O sensor DHT11, que é responsável por medir a temperatura e umidade do ambiente, foi instalado paralelamente ao cano do bebedouro das aves, visto que a posição da temperatura medida por esse sensor deve estar na altura das aves. Foi incorporado um pequeno revestimento de tubo de borracha ao redor do sensor para proteção do mesmo, como mostra a Figura 37.

Figura 37 – Sensor DHT11 com o revestimento de proteção.



Fonte: O Autor, 2022.

Para inserir o sensor de temperatura na caixa d'água do aviário também foi utilizado um pequeno tubo de borracha em seu fio para não danificá-lo. Esse sensor era

responsável por medir o valor de temperatura que a água presente da caixa da Figura 38 apresentava.

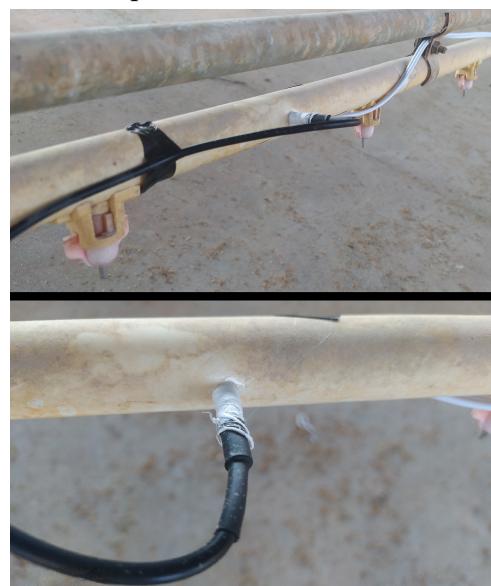
Figura 38 – Sensor de temperatura inserido na caixa d’água.



Fonte: O Autor, 2022.

O sensor responsável por medir a temperatura da água que os frangos consomem foi introduzido diretamente no cano do bebedouro tipo *nipple* (Figura 39). Para isso, foi realizado um furo um pouco maior que a espessura do sensor e seu excesso foi vedado para que não molhasse a cama das aves.

Figura 39 – Sensor de temperatura introduzido no cano do bebedouro.



Fonte: O Autor, 2022.

O mecanismo da troca de água foi instalado no mesmo cano do bebedouro que o sensor foi instalado, pois a autonomia dessa troca depende do valor desse sensor (Figura

40). No fim do cano do bebedouro foi introduzido a válvula solenoide para retirar a água desse cano, caindo dentro de um balde para ser reaproveitada posteriormente. Diferente dos outros atuadores, a válvula solenoide era controlada apenas pelo relé, que liberava ou interrompia sua alimentação.

Figura 40 – Válvula solenoide instalada na saída de água do cano.



Fonte: O Autor, 2022.

Com os experimentos realizados, o protótipo do sistema mostrou-se capaz de realizar um monitoramento em tempo real da temperatura e umidade do ambiente, da temperatura da água do bebedouro e da caixa. Para controle das condições, o sistema se mostrou apto a acionar dispositivos responsáveis por ventilação, nebulização e troca da água do bebedouro.

5.3 Vantagens e desvantagens

O protótipo desenvolvido e implementado no aviário do pequeno produtor pode trazer algumas mudanças em relação ao manuseio do aviário comparado aos produtores que ainda não utilizam sistemas para controle. O Quadro 6 a seguir apresenta essas mudanças separada em vantagens e desvantagens.

Quadro 6 – Vantagens e desvantagens do sistema

Vantagens	Desvantagens
Acionamento de equipamentos de forma automática ou de forma remota	Ausência de interface em casos da rede local perder a conexão com a Internet
Monitoramento remoto da ambiência	Pequeno número de testes realizados para uma maior confiança do produto
Precisão nas medições de condições climáticas	Falta de notificação em casos de falha
Homogeneidade térmica	
Redução do custo de energia referente aos equipamentos	

Fonte: O Autor, 2022.

6 CONCLUSÃO

O setor de criação de aves tem investido constantemente em tecnologia com o intuito de otimizar processos e aumentar os seus lucros. As vantagens de se investir em sistemas de controle e monitoramento para ambientes aviários vão desde o desenvolvimento animal, à qualidade da carne que chega como produto final, até o bem-estar animal e redução de custos.

O modelo de sistema proposto e desenvolvido neste artigo representa uma possível solução aos aviários de pequeno porte que ainda adotam a forma tradicional de controle. Após a instalação do sistema no aviário, o avicultor pode esperar uma melhor condição do ambiente aviário, aumento da produção e bem-estar das aves, e menor mão de obra. Para esse intuito, o estudo atingiu as expectativas, visto que o sistema conseguiu visualizar os dados dos sensores por um aparelho eletrônico e acionar os atuadores automaticamente de modo funcional. O protótipo final também atendeu ao requisito financeiro, pois apresentou custo total de desenvolvimento inferior a cem dólares, sendo um valor muito abaixo dos equivalentes disponíveis no mercado. Com isso, aumenta-se a chance do avicultor ter condições financeiras de instalar o sistema em seu galpão de criação.

Os maiores desafios deparados ao decorrer do desenvolvimento do trabalho foram dados pela dificuldade em manter todo o sistema operando em um microcontrolador ESP32, o desenvolvimento do código para operar nos dois núcleos do processador e a comunicação das requisições HTTP com o *script* da página *Web*. O uso do ESP32 para hospedar a página *Web* limita a sua complexidade, visto que é o microcontrolador que entrega tudo ao cliente e sua capacidade de processamento é muito baixa comparada a um servidor. Sobre a utilização dos dois núcleos do processador do ESP32, a aplicação começava a apresentar erros difíceis de serem decifrados, já que os erros não eram de compilação, e sim sobrecargas de memória. As dificuldades encontradas na comunicação entre a interface e o servidor foi causada possivelmente pela falta de experiência do autor na utilização da biblioteca que foi criado o servidor *Web* dentro do microcontrolador e a linguagem JavaScript, que fazia requisições no servidor.

O mecanismo do trocador de água deve ser passado por experimentos para avaliar a sua eficiência em diminuir a temperatura da água do bebedouro, analisando a temperatura da água antes e depois do acionamento do atuador. A validação do mecanismo pode trazer contribuições relevantes ao campo de pesquisa, visto que não foi encontrado um sistema que faz essa troca de modo automático.

É característico deste trabalho que o mesmo continue em expansão, pois ainda podem ser incrementados diversas outras funcionalidades. Desta forma, o sistema desenvolvido pode servir como início para outros trabalhos, permitindo melhorias e avanços.

Como sugestão, pode-se fazer o uso de uma versão do *software* (publicada no repositório¹) que salva os valores dos sensores em uma planilha online para realizar análises de dados e auxiliar em futuras tomadas de decisões.

¹ <<https://github.com/fabiotempesta/SistemaAviario>>

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; ABREU. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 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.
- BETHÔNICO, T. **Religião e inflação abrem caminho para frango dominar o consumo de carne**. 2022. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2022/06/religiao-e-inflacao-abrem-caminho-para-frango-dominar-o-consumo-de-carne.shtml>. Acesso em: 11 set. 2022.
- 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.
- CAVALCANTI, F. A. V. R. **Avicultura Caipira**: estudo de mercado para a cadeia da galinha caipira. Natal: Editora Sebrae, 2019.
- CONNOLLY, A. **Era digital: o futuro da tecnologia avícola**. 2018. Disponível em: [https://www.aviculturaidental.com.br/imprensa/era-digital-o-futuro-da-tecnologia-avicola/20180522-093843-w047](https://www.aviculturaustrial.com.br/imprensa/era-digital-o-futuro-da-tecnologia-avicola/20180522-093843-w047). Acesso em: 3 ago. 2021.
- D-ROBOTICS. **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.
- JUNIOR, 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. 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, suíños 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.aviculturainustrial.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.
- TIGGEMANN, F. **SISTEMA DE CONTROLE E MONITORAMENTO DE AMBIÊNCIA PARA AVIÁRIOS DO TIPO PRESSÃO NEGATIVA**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, RS, Brasil, 2015. Disponível em: <https://www.criexp.com.br/bdu/bitstream/10737/925/1/2015FabricioTiggemann.pdf>.
- WAZLAWICK, R. S. **Metodologia de pesquisa para ciência da computação**. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2009.