

Desenvolvimento de um sistema automatizado para controle de ambiência de um aviário

Rodrigo Scalco Costella

*Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia do Rio Grande do Sul - IFRS*
Av. São Vicente, 785,
Farroupilha, RS, Brasil
Email: rodrigocostella@hotmail.com.br

Gustavo Künzel

*Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia do Rio Grande do Sul - IFRS*
Av. São Vicente, 785,
Farroupilha, RS, Brasil
Email: gustavo.kunzel@farroupilha.ifrs.edu.br

Resumo—O setor da avicultura de corte tem investido em automação para as granjas, visando melhorar o bem-estar das aves e a eficiência produtiva e econômica. O controle de fatores térmicos, como temperatura e umidade do ar, é essencial para o conforto das aves e sua produtividade. Nesse contexto, a coleta automatizada dessas variáveis pode estar relacionada com a Indústria 4.0, permitindo a criação de um ambiente de produção mais inteligente e conectado. Um sistema de monitoramento, controle e aquisição de dados pode contribuir para reduzir o estresse térmico das aves e melhorar sua conversão alimentar. Este Trabalho de Conclusão de Curso propõe desenvolver um sistema de arquitetura aberta de hardware e software aplicado a uma granja de aves com esse objetivo. O TCC envolve desde a pesquisa sobre as condições de conforto térmico das aves, projeto da arquitetura do sistema, definição de sensores, atuadores e sistemas de controle, além de testes e validação do protótipo.

Palavras chave: Temperatura, Umidade, WiFi, Microcontrolador, Automação.

I. INTRODUÇÃO

Os primeiros passos da avicultura brasileira foram voltados para a subsistência, sendo que os excedentes eram comercializados. A partir de 1930, a produção de aves tornou-se comercial, por meio de iniciativas privadas. Em 1970, o setor avícola passou por diversas transformações tecnológicas, técnicas e genéticas, contribuindo para o avanço da atividade no cenário nacional [1].

Segundo dados de 2021, o Brasil é o maior exportador de carne de frango do mundo, com 4,6 milhões de toneladas. O país é seguido pelos EUA (3,3 milhões de toneladas) e União Europeia (1,7 milhões de toneladas). Ainda, a produção de frangos teve um valor bruto em 2021 de 108,9 bilhões de reais [2].

Em 1970, surgiu o sistema de Integração Vertical, no estado de Santa Catarina. O modelo consiste na aproximação entre o produtor e a indústria, sendo que é fornecido ao produtor todo o apoio necessário, como insumos (ração e medicamentos), os animais recém-nascidos e assistência técnica. A produção da granja é então repassada para a indústria, que garante a remuneração ao produtor. Esse modelo de produção garantiu amplo desenvolvimento no setor nos âmbitos de qualidade da carne, biossegurança e sanidade [1].

O setor da avicultura de corte vem investindo em sistemas automatizados para as granjas. Esses sistemas, além de di-

minuírem a necessidade de mão de obra, buscam a eficiência no bem-estar das aves e na viabilidade em aspectos produtivos e econômicos [3].

Os fatores térmicos, representados principalmente por temperatura e umidade do ar, são extremamente relevantes para a ave. O frango é um animal homeotérmico, capaz de manter sua temperatura corporal constante. A ave está em situação de conforto somente quando não desperdiça energia nem para se aquecer ou para se resfriar, atingindo assim a produtividade máxima. Caso o conforto térmico não seja atingido, a ave é exposta ao estresse calórico, prejudicando assim o consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar, podendo levar até à morte do animal. Assim, se faz importante o controle da ambiência dos galpões, a fim de proporcionar condições de conforto as aves [4] [5].

Outro fator importante na produtividade refere-se à cama do aviário. Ela é composta por maravalha ou serragem, e tem a função de diminuir o impacto e absorver a umidade. Na cama ocorre a decomposição microbiana dos dejetos do frango, o que emite gás amônia, prejudicial às aves. Altas concentrações de amônia podem provocar doenças respiratórias e até reduzir a taxa de crescimento das aves [6]. Para diminuir os índices de gás no ambiente, é importante a ventilação do ambiente de produção, a fim de expulsar os gases tóxicos.

No contexto da automação, o controle de umidade e temperatura é uma tarefa comumente realizada em diversos ambientes, como estufas, câmaras de armazenamento e sistemas de climatização. Existem equipamentos disponíveis em uma ampla faixa de preços, o que torna o controle dessas variáveis relativamente acessível. Sensores de umidade e temperatura, controladores e atuadores podem ser integrados, permitindo monitorar e ajustar os níveis de umidade e temperatura de forma eficiente.

A coleta de dados é essencial para registrar informações ao longo do tempo de diferentes dados do processo, como dos valores das leituras dos sensores, estados dos atuadores e variáveis de controle. Esta prática está diretamente relacionada aos pilares da Indústria 4.0 que envolvem a digitalização, automação e análise de dados [7]. Ao adotar essas tecnologias, é possível criar um ambiente de produção mais inteligente e conectado, onde os dados são utilizados para monitorar,

controlar, identificar padrões, prever problemas e embasar decisões. Essa abordagem é de suma importância na criação de aves de corte e contribui para melhorar a eficiência operacional, reduzir custos e impulsionar a automação e evolução dos sistemas produtivos. A observação das informações tem o potencial de identificar problemas no processo e contribuir para futuras melhorias na granja, a fim de otimizar a produção.

A. Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo desenvolver o protótipo de um sistema de monitoramento, controle e aquisição de dados aplicado a uma granja de aves, com o intuito de diminuir o estresse calórico e melhorar a conversão alimentar das aves.

B. Objetivos Específicos

Para realizar o projeto proposto, é importante listar alguns objetivos específicos:

- 1) Pesquisar quais são as condições de conforto térmico das aves;
- 2) Projetar a arquitetura do sistema;
- 3) Definir os sensores, atuadores e sistemas de controle que serão aplicados;
- 4) Desenvolver a lógica de controle adequada ao projeto;
- 5) Desenvolver os módulos e testar e validar o protótipo em laboratório.

O trabalho foi dividido em seções para melhor organização. Na Seção 2 do trabalho, será realizada uma revisão abrangente dos conceitos relacionados ao tema em discussão. Também será realizada uma análise dos microcontroladores utilizados no contexto do sistema em estudo, juntamente com uma explanação dos protocolos empregados para a comunicação e troca de dados. Na Seção 3, será apresentada a proposta do sistema, onde serão delineados os principais objetivos, requisitos e funcionalidades do sistema em desenvolvimento. Será fornecida uma visão geral de como o sistema irá operar, incluindo as interações entre os diferentes componentes. No que diz respeito a Seção 4, são delineados o desenvolvimento do protótipo e as soluções propostas, acompanhados por representações visuais que ilustram as implementações sugeridas. Na Seção 5, serão expostos os resultados derivados dos testes conduzidos no projeto. Em seguida, na Seção 6, serão delineadas as perspectivas para trabalhos futuros. Por fim, na Seção 7, será elaborada a conclusão do trabalho, destacando os principais resultados obtidos e as contribuições ao longo do processo.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção será apresentada a fundamentação teórica e os conceitos principais utilizados neste trabalho. Serão abordados elementos como microcontroladores, sistemas supervisórios, protocolos de comunicação e IoT (Internet of Things), além de um estudo que demonstra a temperatura e umidade ideal para a criação de aves. Esses elementos desempenham um papel fundamental na automação de tarefas, na integração de dispositivos físicos à Internet, e a compreensão desses conceitos é de suma importância para a execução adequada do projeto proposto.

A. Ambiência

A ambiência do galpão depende da idade da ave. Nos primeiros dias de vida dos animais, a temperatura do galpão deve ser mais elevada se comparada às últimas semanas. Nos primeiros dias, a temperatura deve ser mantida a aproximadamente 33 °C, enquanto nos últimos dias do processo ela vai sendo reduzida a 16 °C. A umidade indicada nos primeiros dias deve estar entre 30 % e 50 %, enquanto que nas últimas semanas deve estar entre 50 % e 70 %. A Tabela I apresenta a os valores ideais para a idade da ave [8].

Tabela I
TEMPERATURA E UMIDADE IDEAIS PARA O CRESCIMENTO DAS AVES

Idade - dias	% Umidade Relativa	Temperatura °C
0	30 - 50	32 - 33
7	40 - 60	29 - 30
14	50 - 60	27 - 28
21	50 - 60	24 - 26
28	50 - 65	21 - 23
35	50 - 70	19 - 21
42	50 - 70	18
49	50 - 70	17
56	50 - 70	16

Fonte: Adaptado de [8].

B. Microcontrolador

Segundo [9], os microcontroladores surgiram na década de 70, com o avanço dos sistemas embarcados, possibilitando a automatização de tarefas que antes eram feitas manualmente. São amplamente utilizados no segmento industrial e em aplicações da Indústria 4.0.

Um microcontrolador é um circuito integrado que possui um processador, integrado com uma interface de entradas e saídas (I/O). A cada nova versão, estes equipamentos agregaram mais funcionalidades, como memória RAM (Random Access Memory), interfaces de comunicação serial e USB. Recentemente, tecnologias de comunicação como WiFi e Bluetooth foram implementadas aos microcontroladores, facilitando assim a integração destes com a IoT [10].

C. Internet das Coisas

Um conceito importante na automação processos é a IoT, que surgiu a partir de avanços nas áreas de sensoriamento, sistemas embarcados, microeletrônica e comunicação. Essas tecnologias permitem a conexão de dispositivos físicos à internet, estabelecendo uma rede em que os equipamentos podem interagir entre si. Além disso, a IoT está ganhando notoriedade na indústria devido ao seu alto potencial para melhorar a eficiência operacional, otimizar processos e desenvolver uma automação inteligente [11].

A IoT depende de diversas tecnologias para integração de equipamentos a rede, como sensores (responsáveis pela coleta de dados), tecnologias de comunicação (WiFi, Bluetooth) e computação (microcontroladores responsáveis por executar algoritmos). Assim, a rede recebe e transfere dados, interconectando os equipamentos [11].

Uma vantagem da IoT é a capacidade de controlar remotamente os dispositivos a ela conectados. Assim, é possível coletar informações e interagir com os equipamentos usando o smartphone ou computador, por exemplo [12].

D. Sistema SCADA

Supervisory Control and Data Acquisition (Controle Supervisório e Aquisição de Dados) ou SCADA, é um conjunto de software e hardware que possibilita a supervisão e controle de um sistema. O SCADA permite o gerenciamento dos atuadores e controladores do processo, e normalmente possui uma interface gráfica para facilitar a interação com o usuário. Os sistemas SCADA se diferenciam dos outros sistemas de controle devido à possibilidade de supervisão. O operador monitora as variáveis do processo e pode modificar algumas delas em tempo real [13].

Um exemplo de um sistema SCADA é uma página na Web, que pode ser desenvolvida através de um Web Service. Essa aplicação tem como base o protocolo HTTP (Hypertext Transfer Protocol), e permite a troca de dados entre o servidor e o cliente (um navegador), através de uma rede [14].

E. Protocolo HTTP

Os protocolos de comunicação podem ser definidos como um conjunto de regras para que os equipamentos se comuniquem entre si. Segundo [15], o HTTP é um protocolo muito utilizado em aplicações na Web, e funciona a partir do modelo cliente-servidor. O cliente inicia uma conexão, enviando uma requisição HTTP para o servidor. O servidor recebe a requisição, a processa e envia uma resposta de volta para o cliente, conforme a Fig. 1.



Figura 1. Comunicação cliente-servidor [14].

O protocolo HTTP é executado pelo TCP (Transmission Control Protocol), o que garante a conexão, sendo que o cliente e o servidor não tem necessidade de verificar os erros de mensagens perdidas, mensagens duplicadas e mensagens longas. Assim, uma conexão TCP é estabelecida a cada comunicação entre o servidor e o cliente, sendo que é encerrada pelo servidor após o envio da resposta [16].

Ao acessar um site ou endereço IP específico, o navegador atua como cliente HTTP e envia uma requisição para o servidor. Este processa a requisição e responde com o documento HTML (HyperText Markup Language) solicitado. O navegador interpreta e renderiza a página para apresentar ao usuário [17].

F. Linguagem HTML

O HTML é classificado como uma linguagem de marcação. Seu principal propósito é estruturar e organizar o conteúdo de páginas na Web, fornecendo a estrutura do documento. Um navegador interpreta o código HTML e renderiza a página, apresentando a mesma ao usuário [18].

G. Trabalhos Relacionados

Nesta subseção serão apresentados alguns trabalhos relacionados com a automação de aviários utilizando microcontroladores, bem como as tecnologias utilizadas em seus desenvolvimentos. Pode-se verificar a predominância do uso de sensores da família DHT (DHT-11 e DHT-22) para a medição da temperatura e umidade do ambiente. Ainda, tecnologias como Website e aplicativos foram utilizadas nesses trabalhos, permitindo a integração deles com soluções digitais, como análise de dados e inteligência artificial.

Em [19], foi desenvolvido um protótipo em escala reduzida de um aviário, para controle de temperatura e umidade, utilizando o microcontrolador ESP-32, com um display que apresenta os valores de temperatura e umidade do ambiente. Ainda, foi desenvolvido um Website, a fim de apresentar as informações históricas. O sensor utilizado para a coleta de dados de temperatura e umidade foi o DHT-22, sendo que os atuadores utilizados foram um cooler, uma resistência e um umidificador, a fim de simular um ambiente semelhante a um aviário.

O estudo descrito por [6] utilizou como base a aquisição de dados das variáveis do processo de criação de aves por meio do microcontrolador ESP-32, estabelecendo comunicação com um banco de dados e um aplicativo. O aplicativo permite a visualização dos valores dos parâmetros controlados. Os sensores utilizados para o monitorar o gás amônia foram o MQ-137 e o MQ-135, sendo que o segundo obteve maior assertividade. O protótipo foi testado em uma granja, sendo que os resultados obtidos foram considerados satisfatórios.

No trabalho desenvolvido por [20], foi utilizado um sensor DHT-11 para sensoriamento da temperatura e umidade do aviário. Além disso, foi desenvolvido um banco de dados e um aplicativo, que apresenta em tempo real as variáveis controladas do sistema. O controle do processo foi feito a partir de um ESP-32. As informações coletadas pelo sensor e a apresentação dos dados foram consideradas satisfatórias.

Em [21] é apresentado um controlador de ambiência comercial, o qual é capaz de se conectar em uma rede WiFi. O usuário do sistema consegue acessar os dados via smartphone ou computador, com a possibilidade de visualizar o estado dos atuadores bem como informações sobre as variáveis, além de alterar as configurações de cada atuador.

III. PROPOSTA

A. Funcionamento do sistema

Este trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema automatizado utilizando arquiteturas abertas de hardware e software em uma granja de aves de corte, a fim de controlar a ambiência do galpão, proporcionando o bem-estar das aves e

o aumento da produtividade. A automatização é aplicada para o controle de duas variáveis importantes no processo (temperatura e umidade), através do uso de sensores apropriados. Ainda, são coletados dados de qualidade do ar da granja. Os dados e informações são então apresentados ao usuário. O ambiente de um aviário consiste em um galpão com cortinas laterais, ventiladores dispostos ao longo do galpão, sendo que o direcionam o ar de uma extremidade até a outra do galpão, com um sistema de benulzição disposto no na parte superior do galpão, direcionando pequenos jatos de água ao solo, além de um sistema de aquecimento, com tubulações que espalham o ar quente pelo galpão.

O diagrama apresentado na Fig. 2 ilustra os componentes do sistema. Nesta representação, o Módulo de Coleta de Dados (MCD) é responsável por capturar as informações provenientes dos sensores instalados na granja de aves de corte. Ele consiste em sensores conectados a um microcontrolador, capaz de se conectar através de uma rede WiFi. No MCD, o microcontrolador é responsável por processar as informações dos sensores e disponibilizar os dados através do protocolo HTTP, proporcionando uma forma padronizada de transmitir os resultados e garantir a comunicação entre os módulos e outros dispositivos.

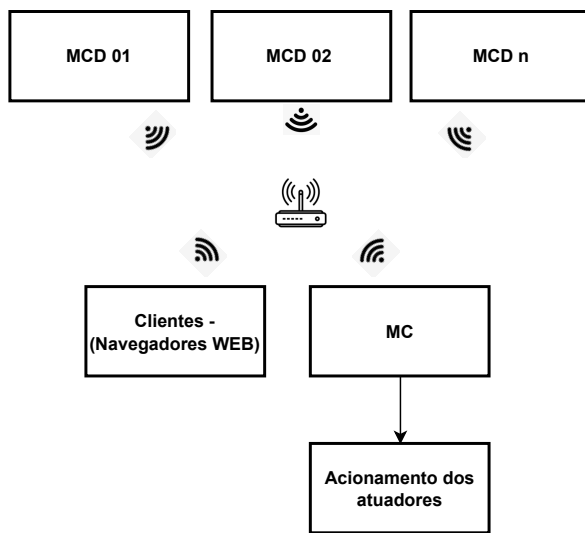


Figura 2. Arquitetura do sistema.

Cada MCD é considerado um servidor HTTP dentro do sistema proposto. Isso significa que é capaz de receber solicitações e enviar respostas seguindo o protocolo HTTP. Essa abordagem permite que o sistema seja escalável, uma vez que é possível ter vários MCDs espalhados pelo ambiente de produção, cada um coletando informações em pontos específicos. O estudo sobre a distribuição e a quantidade de MCD's utilizados em cada processo está fora do escopo deste trabalho.

Os MCDs incluem uma função de geração de uma página HTML incorporada em sua programação. Desta forma foi aplicado o conceito de SCADA, que neste caso consiste em uma página Web, a qual exibe os valores das variáveis adquiridas

pelos sensores e permite a interação com o usuário. O sistema pode ser acessado por múltiplos clientes (navegadores), como tablets e smartphones com aplicativos de navegação Web. Os navegadores são capazes de realizar o acesso à página Web fornecida pelos MCDs, possibilitando a visualização das informações disponibilizadas.

O Módulo de Controle (MC), apresentado na Fig. 2, tem a função de realizar o controle e a gestão das informações coletadas pelos MCDs. Diferentemente dos MCDs, o MC não possui uma arquitetura escalável, sendo composto por apenas um módulo para cada sistema.

O MC é constituído por um microcontrolador e é classificado como um cliente, estabelecendo comunicação com os MCDs por meio do protocolo HTTP. Como cliente, ele envia requisições HTTP direcionadas aos MCDs com o intuito de solicitar informações específicas. Essas requisições podem abranger a obtenção de leituras dos sensores ou qualquer outra forma de dados necessários para o funcionamento adequado do sistema.

Por sua vez, os MCDs, que funcionam como servidores HTTP, respondem às requisições do MC com as informações solicitadas, como temperatura e umidade atual. Eles retornam as respostas contendo os dados solicitados pelo cliente. O MC também pode enviar informações para os MCDs por meio das requisições HTTP. Essas informações podem incluir configurações do sistema, comandos de controle ou qualquer dado relevante para o funcionamento dos MCDs.

Desta forma, a comunicação entre o MC e os MCDs é bidirecional. O MC faz requisições HTTP para obter dados dos MCDs, que respondem com as informações solicitadas. Além disso, o MC pode enviar informações para os MCDs por meio das requisições HTTP.

Os clientes (navegadores Web), além de acessarem as informações provenientes dos MCDs, poderão enviar dados para estes, sendo que posteriormente essas informações podem ser transmitidas ao MC. Esses dados podem incluir valores de Setpoint, por exemplo. Dessa maneira, a comunicação estabelecida também pode ser considerada como bidirecional.

Todos os clientes e servidores devem estar conectados na mesma rede WiFi. Essa conectividade é fundamental para estabelecer a comunicação adequada e garantir que as requisições e respostas sejam enviadas e recebidas corretamente entre os dispositivos.

O MC também será responsável pelo acionamento dos atuadores do processo. Esse acionamento é realizado por meio de relés conectados ao microcontrolador presente no MC. Essa configuração permite que o MC envie sinais de controle para ligar ou desligar os atuadores conforme necessário. Esses relés serão conectados a contadoras, que são dispositivos eletromagnéticos capazes de acionar equipamentos eletrônicos de maior potência e corrente elétrica. Dessa forma, as contadoras atuam como intermediárias entre os relés e os atuadores, garantindo um acionamento adequado dos atuadores.

Os atuadores do sistema proposto são dois grupos de ventiladores, nebulizador, aquecimento e cortinas. Estes dispositivos oferecem um modo de operação manual, permitindo que

os atuadores sejam ativados conforme a demanda do usuário. Além disso, há um modo automático que utiliza controle por histerese, a fim de reduzir acionamentos abruptos causados por ruídos no sinal dos sensores e aumentar o tempo de vida dos relés e dispositivos de acionamento. Neste modelo de controle, o sistema permanece em seu estado atual até que a variável controlada atinja o limite superior ou inferior da janela de histerese. Essa abordagem introduz uma faixa de tolerância, evitando comutações frequentes dos acionamentos. Um exemplo de controle por histerese é apresentado na Fig. 3. Na figura, pode-se verificar o acionamento do atuador de acordo com os limites inferior e superior do valor atual do setpoint.

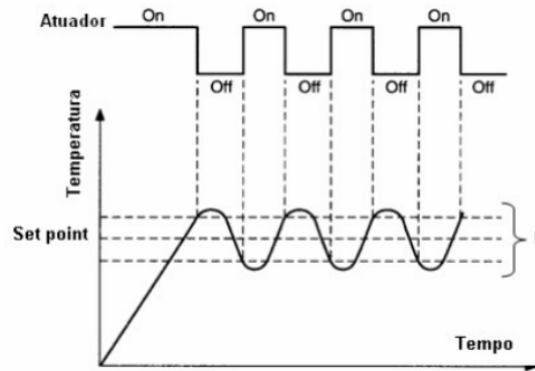


Figura 3. Controle dos acionamentos por Histerese [22].

Os ventiladores desempenham um papel importante na circulação do ar e na melhora da qualidade do ambiente. O sistema tem um modo de ventilação mínima, sendo que neste modo, os ventiladores são acionados a cada 5 minutos, permanecendo ligados por 30 segundos (dados obtidos empiricamente). Essa função visa promover uma circulação regular do ar, renovando e melhorando a qualidade do ar do ambiente para o bem-estar das aves. No entanto, é importante destacar que, caso os ventiladores estejam acionados para controlar a temperatura, o modo de ventilação mínima não terá controle sobre os ventiladores.

As cortinas têm um método de controle que funciona da seguinte maneira: um temporizador é programado para coletar as informações de temperatura a cada 3 minutos. Se a temperatura média do ambiente estiver acima da faixa de valores desejada, as cortinas abrirão 15 % para permitir a entrada de ar fresco e reduzir a temperatura. Por outro lado, se a temperatura estiver abaixo da faixa desejada, as cortinas fecharão 15 % para reter o calor e aumentar a temperatura. A porcentagem de abertura e fechamento das cortinas é controlada através do tempo de acionamento do motor, e é um valor arbitrado, sendo que precisa ser testado para futura validação.

O sistema tem um botão de emergência ligado ao MC, que é utilizado para interromper imediatamente o funcionamento de todos os atuadores, em caso de emergência. Ao pressionar o botão de emergência, os atuadores são desativados, garantindo

a segurança e o controle da situação em caso de necessidade.

Para um controle mais eficiente das variáveis, o MC calcula a média das leituras dos diversos MCDs utilizados na aplicação, sendo que este valor será utilizado como parâmetro a ser comparado ao setpoint, a fim de realizar o acionamento dos atuadores. Ainda, o MC é responsável por determinar quais atuadores deverão ser ligados, comparando a diferença do setpoint com a média da variável controlada.

Cada MCD tem a capacidade de criar uma página na web dedicada à supervisão do sistema. Nessa página, é possível tanto acionar os atuadores quanto verificar as variáveis do sistema.

O sistema também possui uma interface de configuração inicial para o usuário inserir as informações da rede WiFi e os dados dos endereços IPs através de comunicação WiFi com o microcontrolador. Os dados serão armazenados na memória EEPROM (Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory) do MC e dos MCDs, com a finalidade de ficarem armazenadas e serem alteradas quando necessário.

B. Definições de projeto

O microcontrolador utilizado no projeto foi o ESP-32, como pode ser visto na Fig. 4. A escolha deste microcontrolador se deu pela facilidade de conexão do mesmo com a rede WiFi, permitindo assim comunicação sem fio. O controlador é programado através de linguagem C e C++, através da Arduino IDE.



Figura 4. Microcontrolador ESP-32 [23].

A alimentação do microcontrolador utilizado pode ser feita tanto por meio do cabo USB, quanto pelos pinos disponíveis. Para a aplicação proposta, a alimentação é fornecida através de uma fonte chaveada externa de 5 V, que é conectada aos pinos de alimentação do ESP-32, garantindo assim uma alimentação estável para o adequado funcionamento do microcontrolador.

Para o acionamento das saídas, são conectados módulos de relés às saídas do microcontrolador, conforme mostra a Fig. 5. Os módulos utilizados já possuem um optoacoplador, o que garante isolamento do microcontrolador ao sistema de acionamento. Com essa configuração, os relés são acionados com 3,3 V, diretamente dos pinos de saída do ESP-32. Esta disposição garante controle das saídas, além de uma proteção dos componentes eletrônicos. O relé funciona como um dispositivo de interface entre o microcontrolador e as contadoras, permitindo que os sinais de baixa potência do microcontrolador controlem cargas de maior potência ligadas nas saídas das contadoras.

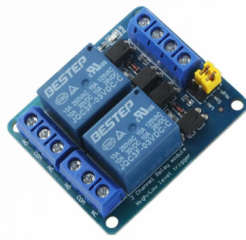


Figura 5. Módulo de relé optoacoplado [24].

As contadoras são equipadas com bobinas de 220 V em corrente alternada (Fig. 6). A bobina é uma parte essencial da contadora, responsável por gerar um campo magnético quando energizada. Esse campo magnético é utilizado para atrair e fechar os contatos internos da contadora, permitindo o fluxo de corrente elétrica no circuito externo.



Figura 6. Representação de uma contadora tripolar. [25]

Para a leitura de temperatura e umidade é utilizado o sensor DHT-22, como pode ser observado na Fig. 7. Ele utiliza um sensor capacitivo para medir a umidade relativa do ar e um termistor para medir a temperatura. O sensor fornece os dados de temperatura e umidade a partir de uma comunicação digital com o microcontrolador, facilitando assim a integração dos equipamentos.

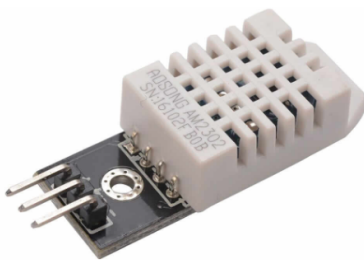


Figura 7. Sensor de temperatura e umidade - DHT-22 [26].

Para a coleta de dados sobre a qualidade do ar, é utilizado o sensor MQ-135. Este possui a capacidade de coletar dados da concentração de gases tóxicos e transmiti-los ao microcontrolador. Este sensor é alimentado com 5 V, e a sua saída analógica deve passar por um divisor resistivo antes de ser conectada aos pinos analógicos do ESP-32. A Fig. 8 representa o sensor que foi utilizado.

A presença de múltiplos gases pode impactar a sensibilidade e a resposta do sensor MQ-135, tornando a validação

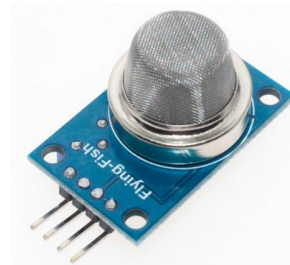


Figura 8. Sensor de gases tóxicos MQ-135 [27].

específica para um determinado gás, como amônia, um desafio significativo. Além disso, a conversão das leituras analógicas para concentrações específicas de gases não é uma tarefa trivial. A relação entre a leitura analógica e a concentração de um gás específico geralmente requer a análise de curvas características ou gráficos fornecidos pelo fabricante do sensor. Essa complexidade na conversão adiciona uma camada de incerteza e dificuldade na validação das leituras, que não foi abordada nesse projeto.

C. Arquitetura do MCD

Cada MCD tem um sensor DHT-22 e um sensor MQ-135 conectados a um microcontrolador ESP-32, e implementa um servidor HTTP. O esquema elétrico do MCD pode ser conferido na Fig. 9.

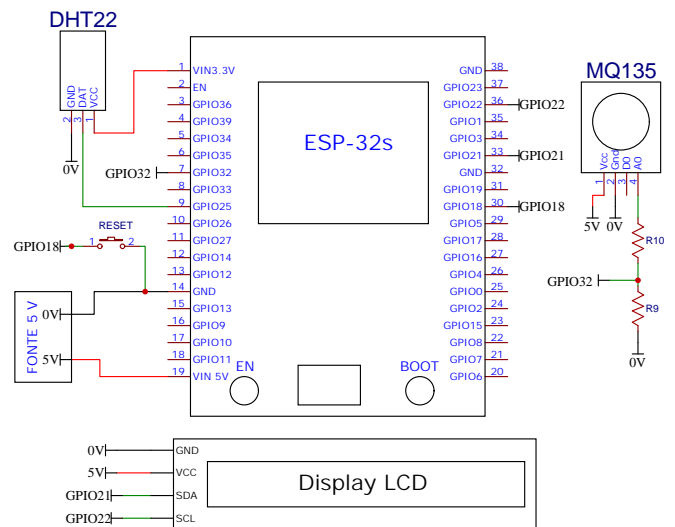


Figura 9. Esquema elétrico do MCD.

O módulo possui um botão de redefinição (reset), utilizado para auxiliar na conexão do módulo à rede WiFi, e também um display LCD conectado, a fim de apresentar ao usuário alguns parâmetros importantes para o funcionamento do sistema. O display LCD se comunica com o microcontrolador através da comunicação I2C, para que seja possível realizar a comunicação com apenas 4 fios. No MCD, as seguintes informações serão apresentadas no display:

- 1) Estado de conexão com a rede WiFi;
- 2) Indicação do estado de funcionamento;
- 3) Endereço IP atual.

Inicialmente, o MCD se conecta na rede WiFi, a fim de possibilitar a transmissão de dados através do protocolo HTTP. Posteriormente, o microcontrolador realiza a leitura das variáveis, através dos sensores. Em seguida, verifica se há um cliente ou MC conectado e inicia a comunicação com o mesmo. A sequência de operações do programa do MCD pode ser conferida no fluxograma da Fig. 10.

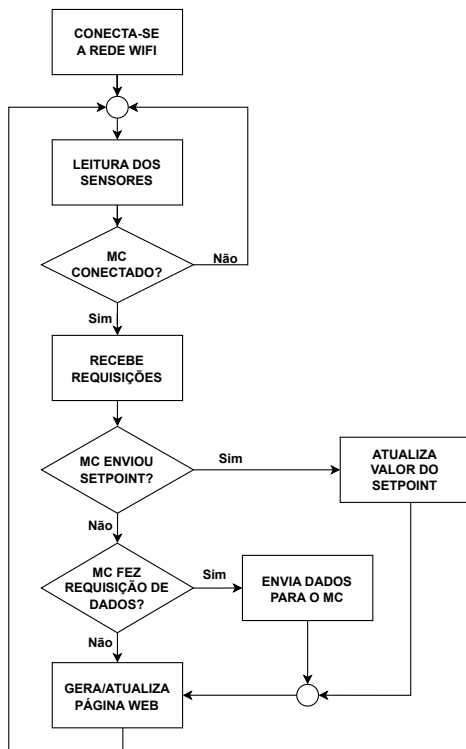


Figura 10. Fluxograma do software do MCD.

D. Arquitetura MC

O MC também é composto por um ESP-32, e módulos de relés optoacoplados. Assim, o módulo é responsável por coletar as informações de temperatura e umidade de cada MCD, processar essas informações, e acionar ou não os atuadores através de suas saídas digitais conectadas aos relés. A alimentação do sistema também é feita por uma fonte conectada diretamente aos pinos de alimentação do ESP-32. O esquema elétrico do MC pode ser verificado na Fig. 11.

Um botão de emergência é conectado diretamente aos pinos do MC, com a finalidade de desativar todos os atuadores quando for pressionado, além de um botão de Reset, utilizado para realizar a conexão do módulo com a rede WiFi. O módulo também possui um display LCD, a fim de repassar algumas informações importantes para o usuário, que se comunicará com o microcontrolador através de comunicação I2C. O display informará as seguintes situações:

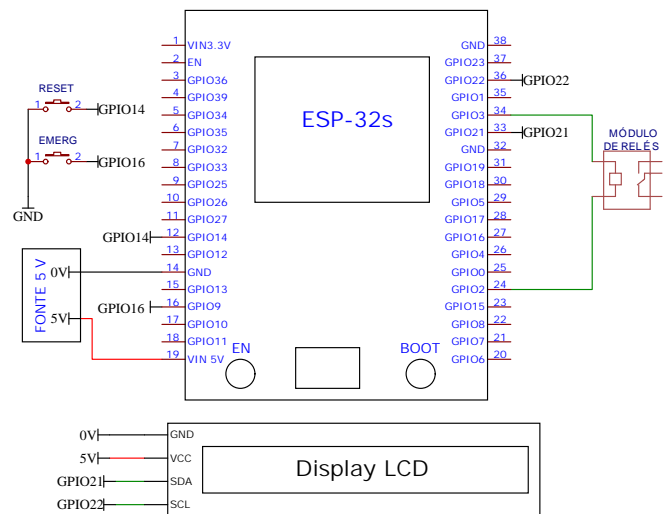


Figura 11. Esquema elétrico do MC.

- 1) Botão de emergência ativo;
- 2) Estado de conexão do MC na WiFi;
- 3) Indicação de estado de funcionamento;
- 4) Lista de MCDs conectados.

O microcontrolador do MC inicialmente estabelece uma conexão com a rede WiFi, e se conecta com os MCDs através do endereço IP dos mesmos. Posteriormente, o microcontrolador recebe as informações dos servidores através do protocolo HTTP, manipula os dados e realiza o acionamento dos atuadores. Em seguida, envia as informações para os MCDs conectados, a fim de atualizar as páginas Web. A sequência de operações do MCD pode ser conferida no fluxograma da Fig. 12.

IV. DESENVOLVIMENTO

A. Configuração entre os módulos e com a rede WiFi

O procedimento de configuração inicial dos módulos com a rede WiFi, bem como a configuração entre os módulos foi projetada para ser flexível, para permitir futuras reconfigurações sem dificuldades. Isso foi alcançado por meio do uso da biblioteca WiFiManager, do ESP-32.

O usuário deve ligar um módulo de cada vez para realizar a configuração, sendo que é necessário sempre iniciar a configuração pelos MCDs que serão utilizados. Sendo assim, o primeiro MCD deve ser energizado e então pressionado o botão de redefinição (reset) do mesmo. O display LCD do módulo apresentará a mensagem de "ABERT. CONFIG", para informar que está em modo de configuração. Assim, o MCD irá abrir um ponto de acesso WiFi, chamado "ESP-CONFIG" com a senha "12345678". Ao conectar-se a este ponto de acesso, o usuário é redirecionado para uma página da web que solicita as informações de nome de rede (SSID) e senha da rede WiFi à qual deseja se conectar.

Essas informações são armazenadas na biblioteca, de modo que mesmo após reiniciar o ESP-32, ele tentará se conectar au-

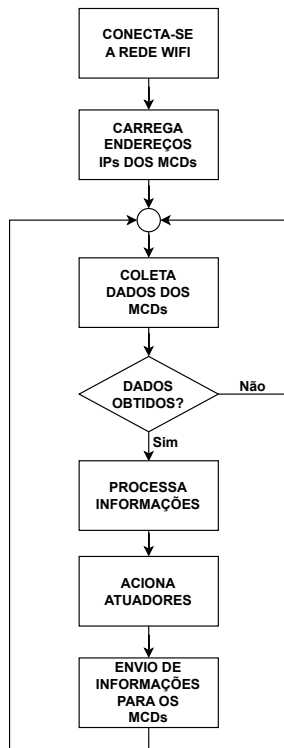


Figura 12. Fluxograma do software do MC.

tomaticamente à última rede configurada. A Fig. 13 apresenta a tela da página de configuração.



Figura 13. Tela configuração.

Ao acessar essa página, o usuário deverá selecionar a opção "Configure WiFi", para ser redirecionado a tela da Fig. 14. Nesta tela, é possível selecionar a rede WiFi que deseja se conectar, bem como informar a chave de acesso da rede. Após

selecionar a opção "Save", e caso a conexão for bem-sucedida, o endereço IP atribuído ao MCD será exibido no display LCD do módulo. O ponto de acesso de configuração será encerrado automaticamente. Se o botão de redefinição for pressionado novamente, as informações da rede Wi-Fi serão apagadas, e o ponto de acesso é reaberto.

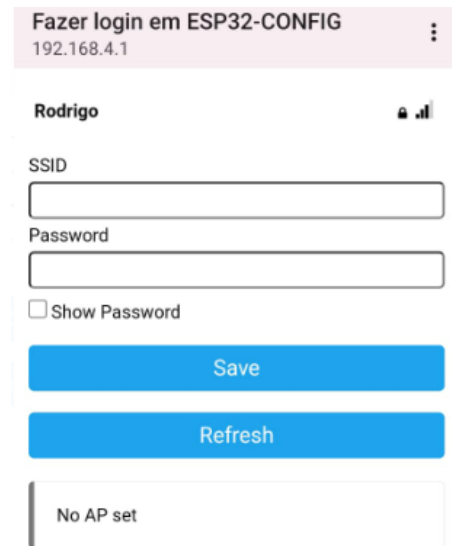


Figura 14. Tela de configuração do MCD.

Após realizada a configuração em todos MCDs, o usuário deverá fazer a configuração no MC do sistema. Para isso, deve energizá-lo e pressionar o botão de redefinição do mesmo. Da mesma forma que ocorre no MCD, o MC irá gerar um ponto de acesso. A página inicial gerada pelo MC é a mesma da Fig. 13, sendo que após selecionada a opção "Configure WiFi", o usuário é redirecionado a página da Fig. 15.

Na página da Fig. 15, além de selecionar a rede WiFi e informar a senha da mesma, devem ser informado os endereços IPs dos MCDs utilizados no sistema. Esses endereços podem ser verificados no display LCD de cada MCD. Após finalizada a configuração, o display LCD do MC irá apresentar o status do sistema, informando se a configuração foi bem sucedida ou não. Ainda, este display apresentará os endereços IPs dos MCDs conectados a ele. Caso o botão de redefinição do MC for pressionado, as informações da rede WiFi e dos endereços IPs serão excluídas.

B. Página Web

A página Web é responsável pela supervisão do sistema. Nela o usuário pode acionar os atuadores manualmente, bem como selecionar o modo automático. Uma página Web é gerada para cada MCD do sistema. Para selecionar o modo automático, todas as páginas devem estar com esse modo selecionado, enquanto que se a página está em manual, o usuário conseguirá acionar os atuadores manualmente. Se mais de uma página estiver com a opção "Manual" selecionada, a

Rodrigo 📶

SSID

Password

Show Password

IP MCD 01

IP MCD 02

Save

Refresh

No AP set

Figura 15. Tela de configuração do MC.

edição dos parâmetros é bloqueada. A Fig. 16 apresenta a página Web desenvolvida.

DADOS DOS SENSORES DO MCD 01

Temperatura: 28.20 °C Temperatura Média: 26.90 °C Setpoint atual de Temperatura: 26.50 °C <small>Digite o setpoint de temperi</small> Atualizar Setpoint	Umidade: 62.60% Umidade Média: 65.75% Setpoint atual de Umidade: 64.00% <small>Digite o setpoint de umidad</small> Atualizar Setpoint	Gás não Detectado!
--	---	--------------------

ESTADO DOS ATUADORES DO SISTEMA

Modo de Operação:

ATUADOR	ESTADO SELECIONADO (MANUAL)	ESTADO ATIVO (MANUAL)
Nebulizador	Desliga	Nebulizador Desligado
Aquecimento	Desliga	Aquecimento Desligado
G1 Ventiladores	Desliga	Grupo 01 Vent. Desligado
G2 Ventiladores	Desliga	Grupo 02 Vent. Desligado
Ventilação Min. G1	Desliga	Grupo 01 Vent. Min. Desligado
Ventilação Min. G2	Ligar	Grupo 02 Vent. Min. Desligado
Cortinas	Parar	Cortina Parada

Figura 16. Página Web gerada pelos MCDs.

Na parte inicial da página Web, é apresentado os valores locais de umidade, temperatura e informação da qualidade do ar, além de valores médios variáveis controladas. Para as variáveis controladas (temperatura e umidade), é apresentado o valor de setpoint, bem como um campo para editá-lo. Esse valor é utilizado quando o sistema está em modo automático, sendo que esse valor é o ideal para o ambiente.

Quando um setpoint for digitado na página WEB do MCD 1, ele automaticamente é atualizado nos demais MCD. Essa informação digitada é repassada ao MC para que ele consiga unificar a mesma informação em todos MCDs.

O usuário também pode verificar através da página Web o estado de cada atuador, se está ligado ou desligado. No final da página Web, são apresentados dois gráficos, sendo que o primeiro relaciona a temperatura média com o setpoint, enquanto

que o segundo relaciona umidade média com o setpoint. Esses gráficos são importantes pois facilitam a interpretação das variáveis, e ainda mantém um histórico de dados. A Fig. 17 apresenta a imagem do gráfico de temperatura, enquanto a Fig. 18 apresenta o gráfico de umidade. O eixo vertical do gráfico representa a medida da variável controlada. Enquanto isso, o eixo horizontal relaciona-se ao tempo, com a medida mais recente situada no extremo direito do gráfico e a mais antiga no extremo esquerdo. A legenda do gráfico abrange de 12 a 0, sendo que a medida na posição zero é a mais atual, enquanto a medida na posição 12 representa um valor registrado 12 horas atrás. O gráfico apresenta valores coletados em intervalos de 15 minutos, sendo possível verificar o comportamento da variável ao longo do tempo.

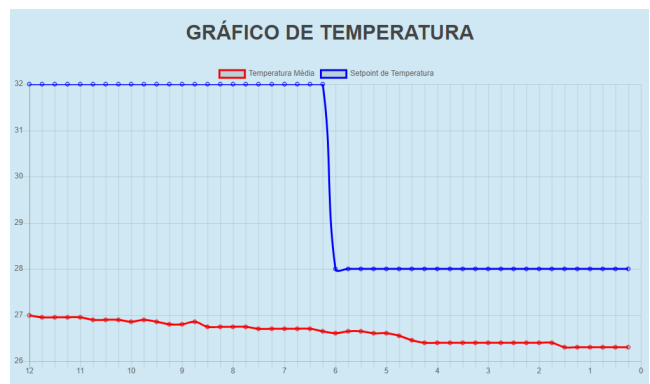


Figura 17. Gráfico Temperatura.



Figura 18. Gráfico Umidade.

C. Modo Automático do sistema

O modo automático tem como objetivo a gestão autônoma dos atuadores, dispensando a intervenção do usuário. Este modo de operação efetua o controle com base na análise das variáveis a serem controladas do sistema e dos respectivos valores de referência (setpoints). Em conformidade com esse propósito, o sistema monitora e regula os atuadores de modo a otimizar a proximidade da temperatura e da umidade em relação aos setpoints configurados.

É fundamental destacar que, para reduzir a temperatura do ambiente, o sistema requer que as cortinas estejam na posição aberta. Se houver necessidade, ativa os ventiladores do grupo "G1 Ventiladores" primeiro, seguidos pelo grupo "G2 Ventiladores" e, por último, os Nebulizadores. Por outro lado, para aumentar a temperatura do espaço, o sistema demanda o fechamento das cortinas e a ativação do sistema de "Aquecimento".

A gestão da umidade, o sistema realiza o acionamento da "Ventilação Mínima" com o intuito de reduzir a humidade ambiente, enquanto para incrementar a humidade, recorre à ativação do "Nebulizador".

A Tabela II ilustra a correlação entre os atuadores e as variáveis medidas quando o sistema opera em modo automático em relação aos setpoints definidos. No controle automático, a temperatura e a umidade média são comparadas com os valores de referência (setpoint) para cada variável. No contexto do Grupo 1 de Ventiladores, se a temperatura média exceder o valor de referência em 1 °C, o atuador será ativado, e será desativado quando a temperatura atingir o valor de referência correspondente.

Tabela II
RELAÇÃO ENTRE OS SETPOINT E OS ATUADORES

ATUADOR	TEMPERATURA		UMIDADE	
	LIGA	DESL.	LIGA	DESL.
G1 VENT.	SP + 1 °C	SP		
G1 VENT.	SP + 2 °C	SP		
NEBULIZ	SP + 3 °C	SP	SP - 20 %	SP
AQUECIM.	SP - 1 °C	SP		
VENT. MÍN. G1			SP + 10 %	SP
VENT. MÍN. G2			SP + 20 %	SP
CORT. SOBE	SP - 0,5 °C	SP		
CORT. DESCE	SP + 0,5 °C	SP		

Ainda, vale ressaltar que alguns atuadores são utilizados para controlar as duas variáveis (como é o caso do nebulizador), sendo que no acionamento do mesmo depende das duas variáveis controladas.

D. Hardware MCD

Foram utilizadas caixas plásticas para suportar o hardware do MCD. O circuito foi construído em placas padrão, a fim de uma melhor organização do protótipo. A imagem da placa do hardware do MC pode ser conferido na Fig. 19.

Percebe-se que o microcontrolador ESP-32 foi colocado estrategicamente no centro da placa, a fim de facilitar as conexões. A placa também possui um botão de pulso, responsável por redefinir as configurações de rede WiFi salvas no microcontrolador. A Fig. 20 apresenta a vista externa do MCD.

Ainda, o módulo possui os sensores instalados na caixa (parte inferior da Fig. 19). Os sensores foram dispostos na parte externa do módulo, para que desta forma sejam expostos ao ambiente.

O display é responsável por apresentar algumas informações ao usuário do sistema. Na parte inferior foi disposta uma

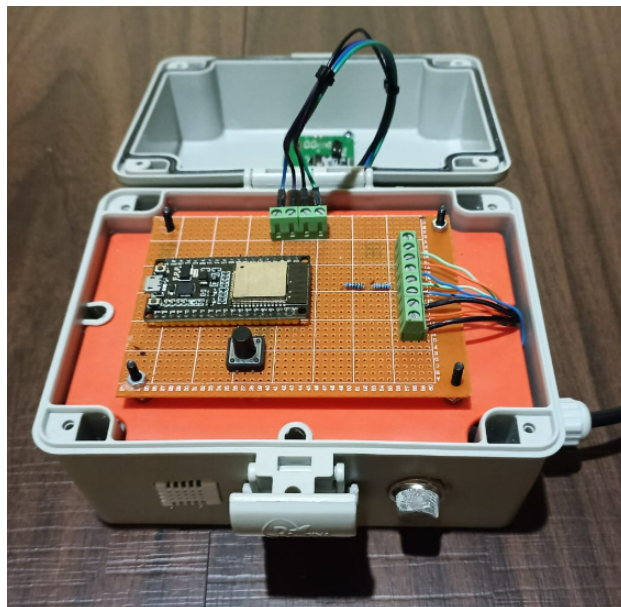


Figura 19. Montagem MCD.



Figura 20. Caixa de proteção MCD.

fonte chaveada de 5 V. Ainda, para melhor organização foram colocados bornes parafusáveis, a fim de facilitar as conexões com a placa desenvolvida.

E. Hardware MC

O circuito do MC também foi desenvolvido em placa padrão. Conforme mostra a Fig. 21, o ESP-32 foi disposto no centro da placa, sendo que também é composta por um botão de redefinição. A placa também é composta por módulos de relés, que representam as saídas do sistema para os atuadores.

O hardware do MC também conta com display LCD na parte externa, responsável por mostrar informações relevantes. Ainda, é composto por um botão de emergência, responsável por interromper o acionamento dos atuadores caso pressionado. É importante que esse módulo seja disposto em local adequado, visto que é ele que realizará o acionamento da

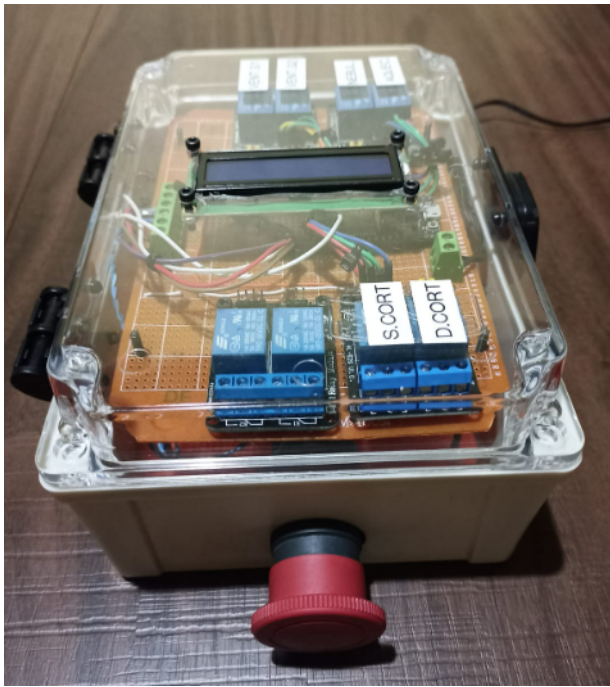


Figura 21. Montagem MC.

potência do sistema (contadoras que posteriormente ligarão os atuadores).

V. RESULTADOS

Os testes foram realizados em laboratório, a fim de validar o funcionamento do sistema. Os dois MCDs e o MC foram ligados, configurados e conectados a uma rede WiFi. As funcionalidades propostas foram todas testadas, sendo que seu funcionamento foi adequado. A operação dos atuadores do protótipo foram validadas através da verificação do acionamento dos relés, sendo que os atuadores não fizeram parte dos testes. Sendo assim, o acionamento desses atuadores precisam ser estudados na prática, pois talvez seja necessário algum ajuste nas formas de acionamento dos relés

Um ponto a ser ressaltado é o tempo de resposta do sistema. Toda vez que uma informação é alterada na página Web gerada por um MCD, ela deve ser repassada para o MC e posteriormente enviada por este para os demais MCD. O tempo para essa informação circular em todos módulos é de aproximadamente 8 segundos, sendo que normalmente ocorre em menor tempo. Esse tempo de resposta pouco influencia no controle das variáveis, visto que a mudança das variáveis é bem mais lenta se comparada ao tempo de atualização do sistema.

O sistema foi colocado em funcionamento em laboratório, sendo que o MC apresentou aquecimento no microcontrolador, mas seu funcionamento não foi prejudicado. Isso está relacionado ao número de vezes em que o módulo se conecta com a rede WiFi, visto que ele fez a conexão para poder trocar dados com os MCDs. Uma possível solução para o problema

é a instalação de um cooler ou dissipador de calor, a fim de reduzir a temperatura do controlador.

Não foi realizada a validação da leitura dos índices de amônia do ambiente. A impossibilidade de realizar a validação das leituras de amônia pelo sensor MQ135 é justificada pelo fato do sensor MQ135 ser projetado para detectar uma variedade de gases, o que introduz uma complexidade adicional na interpretação das leituras.

VI. TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho estabelece bases para investigações em futuras pesquisas. Uma perspectiva promissora envolve a consideração da alteração do protocolo empregado, visando a capacidade de controlar o sistema de maneira remota, sem depender da conexão à mesma rede local do sistema. O protótipo foi desenvolvido para dois MCD, sendo que para adição de mais MCDs no sistema, se faz necessário alguns ajustes nos códigos.

Outra área significativa de desenvolvimento seria a implementação de uma estratégia robusta para lidar com falhas de conexão à rede WiFi. É importante estabelecer um protocolo que assegure a manutenção de um estado seguro no ambiente de produção em situações de desconexão, bem como acionamento de alarmes visuais e sonoros para alertar o usuário.

Também é importante conduzir testes práticos do sistema em um cenário real, como um aviário. Isso envolveria a conexão dos atuadores no sistema desenvolvido, permitindo uma análise aprofundada do seu desempenho. Esses testes práticos são fundamentais para identificar possíveis melhorias necessárias e validar a eficácia do sistema em condições operacionais reais. Os feedbacks obtidos nesses testes fornecerão entendimentos valiosos para refinamentos e otimizações do sistema.

VII. CONCLUSÃO

O desenvolvimento de soluções de automação acessíveis para controle da ambiência em uma granja de aves de corte tem grande relevância no setor avícola. Através da implementação de um sistema automatizado, baseado em sensores, microcontroladores e comunicação sem fio, é possível melhorar as condições de criação das aves, garantindo seu bem-estar e promovendo um ambiente propício ao crescimento saudável e produtivo. A utilização de tecnologias abertas, acessíveis e de fácil implementação, como o microcontrolador ESP-32, viabiliza a adoção da automação em granjas de diferentes tamanhos e capacidades de investimento. Isso contribui para a disseminação da tecnologia e possibilita que produtores de aves de corte, independente do porte de suas operações, possam se beneficiar das vantagens oferecidas pela automação. Além disso, a abordagem de comunicação bidirecional entre os módulos de coleta de dados e controle, por meio do protocolo HTTP, amplia as possibilidades de interação e monitoramento do sistema. Isso permite aos produtores acessarem as informações do ambiente de criação das aves por meio de

dispositivos como smartphones e tablets, facilitando a tomada de decisões e o gerenciamento eficiente da granja.

No decorrer do trabalho, foram revisados vários conceitos relacionados ao tema em estudo, como protocolo HTTP, controle por histerese e sistemas supervisórios. Ainda, foi definido o funcionamento do sistema, bem como os componentes que serão utilizados para a montagem do protótipo. A quantidade de MCDs necessária para um determinado ambiente depende da aplicação, da forma que cada ambiente será controlado e do potencial de investimento, visto que não foram encontrados estudos que recomendam a distribuição dos sensores.

Este trabalho oferecerá bases para pesquisas posteriores, para que outros estudos sejam desenvolvidos neste contexto. Para trabalhos futuros, também será avaliado a possibilidade da utilização do protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) para a comunicação entre os módulos.

REFERÊNCIAS

- [1] S. De Zen, M. D. Iguma, C. B. Ortelan, V. H. S. dos Santos, and C. B. Felli, "Evolução da avicultura no Brasil," *Informativo CEPEA, Análise trimestral, custos de produção da avicultura*, Ano, vol. 1, 2019.
- [2] Associação Brasileira de Proteína Animal, "Relatório anual da abpa - 2022," 2022, acesso em: 28 de maio de 2023. [Online]. Available: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2023/01/abpa-relatorio-anual-2022.pdf>
- [3] W. O. Rodrigues, R. Garcia, I. Nääs, C. Rosa, and C. E. Caldarelli, "Evolução da avicultura de corte no Brasil," *Enciclopédia Biosfera*, vol. 10, no. 18, 2014.
- [4] I. d. F. Tinôco, "Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros," *Brazilian Journal of Poultry Science*, vol. 3, pp. 01–26, 2001.
- [5] V. M. N. Abreu and P. G. de Abreu, "Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil," *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 40, no. supl. esp., pp. 8335–8338, 2011.
- [6] L. A. d. Carvalho *et al.*, "Desenvolvimento de rede de sensores para monitoramento da concentração de gases em aviários," Master's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.
- [7] J. E. G. Silva and P. F. Ponciano, "Coleta e conversão de dados industriais para sistemas informatizados utilizando o conceito de indústria 4.0," 2018.
- [8] COBB, *Manual de Manejo de Frangos de Corte*. aviculturainteligente, 2008.
- [9] G. S. Medeiros, "Internet das coisas em sistemas de gerência para agronegócio," *Nome do Jornal/Revista*, 2021.
- [10] S. de Oliveira, *Internet das coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry Pi*. Novatec Editora, 2017.
- [11] B. P. Santos, L. A. Silva, C. Celes, J. B. Borges, B. S. P. Neto, M. A. M. Vieira, L. F. M. Vieira, O. N. Goussevskaia, and A. Loureiro, "Internet das coisas: da teoria à prática," *Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, vol. 31, p. 16, 2016.
- [12] S. C. Massola and G. S. Pinto, "O uso da internet das coisas (iot) a favor da saúde," *Revista Interface Tecnológica*, vol. 15, no. 2, pp. 124–137, 2018.
- [13] E. Pérez-López, "Los sistemas scada en la automatización industrial," *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 28, no. 4, pp. ág–3, 2015.
- [14] L. M. M. Rodrigues, "Atualização automática de sistemas scada em produção," 2018.
- [15] C. d. S. A. Tourino, "Desenvolvimento de um nó multissensorial para monitoramento remoto de variáveis climáticas," *Sem periódico*, 2022.
- [16] A. V. F. E. SILVA, "Uma análise comparativa das versões do protocolo http: Evolução e pontos que ampliem o uso do http/3," 2021.
- [17] L. LIMA and E. PETRICA, "Protocolo http," *Nome do Jornal/Revista*, Ano.
- [18] H. J. Bortolossi, "Criando conteúdos educacionais digitais interativos em matemática e estatística com o uso integrado de tecnologias: Geogebra, javaview, html, css, mathml e javascript," *Revista do Instituto GeoGebra Internacional de São Paulo*, vol. 1, no. 1, pp. XXXVIII–XXXVI, 2012.
- [19] A. P. Assunção, "Automação de aviário baseado em internet das coisas," 2021.
- [20] E. L. Ximenes and M. B. Chweszczuk, "Desenvolvimento de uma arquitetura iot para sensoriamento de aviários," B.S. thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2022.
- [21] "Inobram automações," acesso em: 18 de junho de 2023. [Online]. Available: <https://www.inobram.com.br/smaai-5>
- [22] Controle de processos ações de controle. <https://professor.luzerna.ifc.edu.br/ricardo-kerschbaumer/wp-content/uploads/sites/43/2020/11/Aula-7-Controle-de-processos.pdf>. Acessado em 23/05/2023.
- [23] "Módulo wifi + bluetooth esp32 arduino - nodemcu gc-76," acesso em: 17 de maio de 2023. [Online]. Available: <https://www.multcomercial.com.br/modulo-wifi-bluetooth-esp32-arduino-nodemcu-gc-76.html>
- [24] "Módulo relé 3v 2 canais - ideal para uso com esp32," acesso em: 17 de maio de 2023. [Online]. Available: <https://www.smartkits.com.br/modulo-rele-3v-2-canais-ideal-para-uso-com-esp32>
- [25] "Contator ac3 tripolar 12a 220v 1na 3rt2017-1an21 siemens," acesso em: 23 de maio de 2023. [Online]. Available: <https://www.anhangueraferramentas.com.br/produto/contator-ac3-tripolar-12a-220v-1na-3rt2017-1an21-siemens-108135>
- [26] "Módulo dht22 - sensor de temperatura," acesso em: 25 de maio de 2023. [Online]. Available: <https://curtocircuito.com.br/modulo-dht22-sensor-de-temperatura.html?srsltid=AR57-fAj3l1Cbwzd8N37n-DwyQuOFSJqgQNq57ZdykiUYGvzkkOUZyaXUjk>
- [27] Savarati, "Sensor de gás mq-135 gases tóxicos," acesso em: 04 de junho de 2023. [Online]. Available: <https://www.saravati.com.br/sensor-de-gas-mq-135-gases-toxicos.html>