

**ETEC EURO ALBINO DE SOUZA**  
**ENSINO MÉDIO COM HABILITAÇÃO PROFISSIONAL DE TÉCNICO**  
**EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

**GUSTAVO SENHORETTI DINIZ**  
**WELLINGTON INÁCIO DE LIMA**  
**LUCAS FRANCINO MATTIELLO**

**MÓDULO DE ESTUFA RESIDENCIAL**

**Etec Euro Albino de Souza**  
**Ensino Médio com Habilitação Profissional de Técnico**  
**em Automação Industrial**

**Gustavo Senhorette Diniz**  
**Wellington Inácio de Lima**  
**Lucas Francino Mattiello**

**Módulo de Estufa Residencial**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Etec Euro Albino de Souza, do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, submetida à banca examinadora do curso Ensino Médio com Habilitação Profissional, como requisito para obtenção do diploma de Técnico em Automação Industrial.

**Orientadores:** Prof. Me. Diogo Pedriali. Prof. Fabio Fernando Barbosa.

**Ficha elaborada pelo Bibliotecário da Instituição.**

D585m Diniz, Gustavo Senhoretti; Mattiello, Lucas Francino; Lima, Wellington Inácio de.

Módulo de Estufa Residencial – Mogi Guaçu/SP, 2025.

58 p.

Trabalho de Conclusão do Curso de Ensino Médio com Habilitação Profissional de Técnico em Automação Industrial da ETEC Auro Albino de Souza, de Mogi Guaçu.

Orientadores: Professor Mestre Diogo Pedriali; Professor Especialista Fabio Fernando Barbosa.

1. Automatização. 2. Estufa. 3. Produção. 4. Cogumelos. I. Pedriali, Diogo; Barbosa, Fabio Fernando (orientadores). II. Título

CDD: 577.276

**ETEC EURO ALBINO DE SOUZA**  
**ENSINO MÉDIO COM HABILITAÇÃO PROFISSIONAL DE TÉCNICO**  
**EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

**GUSTAVO SENHORETTI DINIZ**  
**WELLINGTON INÁCIO DE LIMA**  
**LUCAS FRANCINO MATTIELLO**

**MÓDULO DE ESTUFA RESIDENCIAL**

Monografia aprovada por banca examinadora em 18 de novembro de 2025.

**Banca Examinadora:**

Prof. Diogo Pedriali – (Orientador)

Prof. Fabio Fernando Barbosa – (orientador)

Prof. Luis Carlos Pompeu

## **DEDICATÓRIA**

Este projeto é dedicado aos membros do grupo e aos professores orientadores, em particular aos professores, Diogo Pedriali e ao professor Alexandre Momesso. Também dedicamos este trabalho aos anos de empenho que fizeram nós chegarmos até aqui, e por nos capacitar física e mentalmente para este projeto e para a vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a todos as pessoas que ajudaram na elaboração desse projeto, e, aos nossos esforços, que fizeram este projeto possível de ser completado. Também agradecemos aos desafios que nos decorreram durante a jornada, pois deles tiramos grandes ensinamentos, e, a certeza de que o trabalho inteligente e astucioso vence, sempre, o trabalho árduo e ansioso.

“A pureza do coração depura, pois, a inteligência, e a retidão da vontade faz a exatidão do entendimento. ”

Éliphas Lévi(1854 - 1856)

## RESUMO

O cultivo é uma das formas de existência mais antiga utilizada pela humanidade. Com isso, tivemos a ideia de criar um projeto ao qual contribua para os avanços dos estudos na área. O tema do trabalho a seguir é a criação de um módulo de estufa residencial para cultivo de cogumelos em espaços reduzidos como em residências e apartamentos, projeto esse que tem sua elaboração por meio da utilização de técnicas de eletrônica e programação utilizando do microcontrolador ESP032 e do sensor de temperatura e umidade DHT11. Nossa expectativa com o projeto é a maximização do cultivo do cogumelo shimeji branco em ambiente reduzido, buscando o melhor aproveitamento do espaço e das capacidades do cogumelo.

**Palavras-chave:** Estufa; fungos; estufa automatizada; produção de cogumelos; estufa residencial.

## **ABSTRACT**

Cultivation is one of the oldest forms of existence used by humanity. With that in mind, we produced the idea of creating a project that contributes to advances in studies in the field. The theme of the following work is the creation of a residential greenhouse module for growing mushrooms in small spaces such as homes and apartments. This project is developed using electronics techniques and programming with the ESP32 microcontroller and the DHT11 temperature and humidity sensor. Our expectation with the project is to maximize the cultivation of white shimeji mushrooms in a reduced environment, aiming for the best use of space and the mushroom's capabilities.

**Key words:** Greenhouse; Fungi; automated greenhouse; mushroom production; residential greenhouse.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Formula do cálculo do controle PID	28
Figura 2 - Cronograma começo do ano	37
Figura 3 - Segundo cronograma	37
Figura 4 - Diagrama de funcionamento	40
Figura 5 - Desenho técnico da estrutura da estufa	41
Figura 6 - Analise de placa mau soldada	47
Figura 7 - Analise dos dados com o multímetro	47
Figura 8 - Exemplo de solda funcional	48
Figura 9 - Substituição dos componentes	48
Figura 10 - Teste eletrônica de controle	49
Figura 11 - Exemplo de erro no Wokwi	50
Figura 12 - Analise dos dados com o multímetro	51
Figura 13 - Teste protoboard	53
Figura 14 - Exemplo de placa	53
Figura 15 - Exemplo placa	54

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>PID</b>	Proporcional Integra Derivativo
<b>MER</b>	Modulo de Estufa Residencial
<b>IoT</b>	<i>Internet of Things</i>
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>PWM</b>	Modulação por Largura de Pulso
<b>TCC</b>	Trabalho de Conclusão de Curso

# SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1 OBJETIVO GERAL	14
1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.2 JUSTIFICATIVA	16
1.2.1 ANÁLISE FINANCEIRA	17
1.2.2 ANÁLISE SOCIAL	18
1.2.3 ANÁLISE AMBIENTAL	19
1.2.4 ANÁLISE DE SEGURANÇA	20
1.3 RELEVÂNCIA	21
1.4 ACESSIBILIDADE	21
<b>2 DESENVOLVIMENTO</b>	<b>23</b>
2.1 REFERENCIAL TEÓRICO	24
2.1.1 METODOLOGIA CIENTÍFICA	31
2.2 TÓPICOS DE FUNDAMENTAÇÃO	32
2.3 RECURSOS NECESSÁRIOS	33
2.4 CRONOGRAMA	34
2.5 DESENHOS E DETALHAMENTOS	38
2.6 CUSTOS	39
2.7 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO	41
2.8 PROTOCOLO DE TESTES	44
2.8.1 EXECUÇÃO DOS TESTES	47
2.8.2 COLETA DE DADOS DOS TESTES	48
2.8.3 ANÁLISE DOS DADOS DOS TESTES	49
2.9 MELHORIAS	49
2.10 ASPECTOS POSITIVOS	52
2.11 RISCOS	52
2.12 DIFERENCIAIS	54

2.13 RECOMENDAÇÕES	54
<b>3 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>54</b>
3.1 TRABALHOS FUTUROS	55
REFERÊNCIAS	56

# 1.INTRODUÇÃO

Desde tempos antigos, o consumo de cogumelos tem sido parte da alimentação humana, com registros históricos que indicam seu uso por civilizações antigas, como os egípcios, romanos e povos pré-colombianos (CHANG; MILES, 2004; RSD Journal, 2022). No Brasil, embora o hábito de consumir cogumelos ainda seja restrito, observa-se um crescimento no interesse e no consumo, impulsionado pela busca por uma alimentação mais saudável e nutritiva (FURLANI et al., 2007). Todavia, o cultivo de cogumelos em território brasileiro enfrenta desafios relevantes, principalmente relacionados ao custo elevado e às condições climáticas que limitam o crescimento natural dessas espécies, favorecendo a produção principalmente nas regiões Sul e Sudeste, onde o clima é mais apropriado (DREWINSKI, 2025). Essas limitações restringem o acesso do consumo à população, principalmente fora dessas áreas. Neste contexto, o desenvolvimento de ambientes controlados e climatizados para o cultivo aparece como uma solução promissora que pode ampliar o acesso ao alimento, oferecendo condições ideais para o crescimento dos cogumelos, com controle de umidade, temperatura e prevenção de contaminações, o que pode elevar a produção e o consumo em escala doméstica e comercial (AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA, citada em RSD Journal, 2022).

No capítulo 1 ao tópico 1.4 encontra-se fatores essenciais que nos motivaram a criação e elaboram desse projeto, em específicos os tópicos 1.1, 1.1.1 e 1.2 que abordaram tais fatores e cobriram parte essencial para a compreensão de como o projeto poderá ser implementado, de acordo com as nossas expectativas para tal. Posteriormente, teremos os tópicos voltados para a construção do protótipo do projeto, os tópicos 2.3, 2.4, 2.5, 2.7, 2.8 e 2.8.1 focam na construção e teste do protótipo, cobrindo aspectos de testes, cronogramas, execução de tarefas e pesquisas, testes de eletrônica e programação, esquemáticos de construção, protocolos de testes e as formas encontradas pelo grupo para executar as tarefas. No capítulo 2 e nos tópicos 2.1, 2.1.1, 2.2, 2.6, 2.8.2, 2.8.3 e 2.9, referem-se as fundamentações teóricas utilizadas, referencias de projetos semelhantes, análise dos testes, possíveis melhorias estruturais ou eletrônicas e aspectos de planejamento em geral. Do tópico 2.10 ao 3.1, foi dado aqui as análises do grupo ao que foi apresentado e corrigido, e, demonstrando o que era esperado pelo grupo, e o que de fato aconteceu durante a elaboração, fundamentação e construção do projeto.

## **1.1 OBJETIVO GERAL**

Este projeto tem o objetivo de cultivar de forma eficiente o cogumelo shimeji branco, por meio de um módulo de estufa residencial, em local que possuam pouco espaço para o cultivo. Nosso principal foco foi a construção do protótipo, uma vez que esse fundamentaria a monografia e daria ênfase nos dados apresentados, e, embasamento experimental para as nossas conclusões posteriores, dadas essas ressalvas, vamos ao que importa, o solucionamento do problema central que no nosso projeto é a manutenção das variáveis de temperatura e umidade, explicadas de melhor forma no capítulo posterior a esse, que será feita através de um sistema de monitoramento e controle que utilizara um controlador Proporcional Integral Derivativo (PID) para prever as variações nas variáveis de temperatura e umidade, e, assim corrigindo as antes mesmo que elas possam vir a se alterar, sendo o controle térmico será feito através das ventoinhas e o controle da umidade será feito através do umidificador. A comunicação do usuário com o sistema será feita através de um app Bluetooth e por um display LCD I2C OLED.

### **1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Com a constatação do objetivo geral, no tópico anterior a esse, faremos agora a definição de 7(sete) objetivos específicos, que foram estipulados para atingir o objetivo geral que é o cultivo eficiente do cogumelo shimeji branco em local com pouco espaço disponível, podendo ser controlado via Bluetooth. Como 1º(primeiro) objetivo específico temos a automação do cultivo utilizando o micro controlador ESP032, integrado com programação PID; 2º(segundo) a criação de um aplicativo móvel para o controle e monitoramento do cultivo dentro da estufa, via Bluetooth; 3º(terceiro) a utilização do PID como forma de controle consciente, em outras palavras, a utilização do controlador PID para a tomada de decisões de controle da temperatura e umidade de forma autônoma; 4º(quarto) a utilização do cooler como meio do controle da temperatura; 5º (quinto) a utilização do sensor de atomização, umidificador, para a manutenção da variável de umidade, através da renovação da umidade do ar dentro da estufa; 6º(sexto) a utilização do isopor como alternativa para o material de construção da estufa, e, como regulador térmico, uma vez que o mesmo é reconhecido por suas capacidades térmicas de controle de temperatura; 7º (Sétimo) a utilização do display LCD I2C OLED, para fins de consulta visual das condições de controle da estufa, como a exibição dos valores de temperatura e umidade em tempo real.

Critérios específicos como o que é o Modulo de Estufa Residencial (MER), ou, como funciona um controlador PID, serão abordados mais detalhadamente no capítulo de referencial teórico, portanto recomenda-se a leitura do mesmo para maior compreensão do projeto.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

O estudo de sistema de automatização de cultivo não é novo na área agropecuária, projetos como o nosso, mesmo que não ligados diretamente a agricultura e pecuária convencional desenvolvem tecnologias que poderão ser utilizadas na área do estudo, dando embasamento e evidenciando a construção de sistemas de controle PID para o controle da manutenção de variáveis dentro das estufas fúngicas e agrícolas. Por esses fatores identificamos 2(dois) aspectos principais que justificam a importância do tema, a primeira sendo as características de cultivo automatizado que visam a maximização do cultivo em um espaço pequeno em área residencial urbana, e o segundo aspecto do projeto é a sua importância acadêmica, que visa a construção do embasamento teórico para possíveis futuros projetos, uma vez que ao realizarmos a construção e elaboração do projeto proporcionamos avanços na área da automação de cultivo.

Escolhemos a fungicultura, como forma de alternativa de cultivo, que será desenvolvido na estufa, como finalidade de ampliar o conhecimento sobre outras formas de produção alternativas às mais conhecidas, como a alface.

A construção do protótipo é exemplo, da aplicação do que será apresentado, uma vez que o conhecimento neste trabalho, visa a aplicação prática das técnicas aqui desenvolvidas para controle das variáveis de temperatura e umidade através da automação do cultivo de forma eficiente.

Quanto as nossas expectativas com o projeto, esperamos ao final orientar e capacitar possíveis estudos na área de cultivo de cogumelos com sistemas PID, também acreditamos que com a realização do projeto obteremos amplo desenvolvimento intelectual acadêmico, uma vez que precisamos nos adaptar cognitivamente, ou seja, aprender um novo conteúdo, para conseguir elaborar o projeto.

### **1.2.1 ANÁLISE FINANCEIRA**

A análise financeira é um instrumento essencial para avaliar a viabilidade econômica de um projeto, possibilitando a compreensão dos custos, despesas e potenciais receitas envolvidas. Por meio da identificação e separação das despesas fixas e variáveis, é possível mapear o impacto destes custos na formação do preço final do produto. Conforme ressaltado por Neves e Viceconti (1999), a análise consiste em métodos que permitem interpretar dados financeiros para entender a posição econômica de uma empresa ou projeto. Blatt (2001) destaca que a análise financeira deve apresentar dados em percentual, possibilitando comparações com parâmetros do mercado e auxiliando na tomada de decisões estratégicas, por fim, a correta análise financeira é fundamental para garantir a competitividade e rentabilidade do projeto. A definição adequada do preço assegura que os custos sejam cobertos e o retorno financeiro esperado seja alcançado, promovendo a continuidade e o sucesso do empreendimento. O preço de custo de produção do nosso projeto, como apontado no capítulo de custos, foi de R\$ 451,00 para a estipulação do preço de venda, multiplicaremos o valor de produção pela porcentagem de lucro esperada, logo após somaremos o resultado dessa multiplicação ao valor original de produção gerando assim o preço de venda, ficando,  $451 * 40\% = 180,4$ , posteriormente somamos,  $451 + 180,4 = 631,4$ , aproximando o valor final de precificação da nossa estufa deve ficar por volta de R\$631,00, valor esse que garante 40% de lucro sobre o preço de produção do produto. Para a comprovação temos a seguinte fórmula  $VV - CP =$  porcentagem de lucro, onde  $VV$  é o valor de venda estipulado que aqui é R\$631,00,  $CP$  sendo o custo de produção que aqui é igual a R\$451,00, encaixando na fórmula,  $631 - 451 = 180$  aproximadamente. Agora, já com o valor monetário da porcentagem realizamos a seguinte equação para descobrir se o valor corresponde aproximadamente ao lucro estipulado,  $451 * X = 180$ , tal que  $180/451 = X$ , sendo  $X$  a nossa porcentagem de lucro esperada, realizando a operação temos o valor aproximado para  $X$  de 0,39911%, comprovando assim o nosso método de precificação. Importante ressaltar que esse método foi pensado pelo grupo, uma vez que um dos membros já possuía certa noção sobre precificação de produtos, sendo assim, não conseguimos apontar uma fonte teórica para o cálculo realizado, uma vez que foi realizado por empirismo e comprovado pelo mesmo método.

Identificamos que o método empregado anteriormente para a precificação do produto, foi o suficiente para as condições do nosso projeto, uma vez que o foco dele não é exclusivamente a competitividade econômica com outros projetos, mais sim a

tentativa de elaboração de um MER para cultivo de cogumelos. Porém para análises posteriores, seria válida a reestruturação do método de precificação visando uma maior competitividade econômica em comparação com outros projetos do mesmo tipo.

## **1.2.2 ANÁLISE SOCIAL**

Nos últimos 20 anos, o consumo de cogumelos no Brasil aumentou significativamente, passando de cerca de 50 gramas para 288 gramas por habitante. Esse crescimento reflete o reconhecimento gradual dos benefícios nutricionais e medicinais dos cogumelos, que são ricos em compostos bioativos como fenólicos, terpenos, esteroides e polissacarídeos, responsáveis por diversas atividades biológicas benéficas à saúde (KALÁČ, 2013). Na medicina tradicional chinesa, esses fungos são utilizados há séculos para fortalecer o organismo e aumentar a resistência contra doenças (WASSER, 2014). No país, os cogumelos mais consumidos são o Champignon de Paris (*Agaricus bisporus*), geralmente em conserva, seguido do Shimeji (*Pleurotus ostreatus*) e do Shitake (*Lentinula edodes*), ambos consumidos in natura (SANTIAGO et al., 2020). Apesar da demanda crescente, a produção nacional ainda é limitada, concentrando-se nas regiões Sul e Sudeste, com destaque para o estado de São Paulo, que lidera tanto a produção quanto o consumo (NASCIMENTO et al., 2022). Pesquisas recentes indicam que apenas 26% dos brasileiros consomem cogumelos semanalmente e 2% diariamente, sendo as espécies mais populares o Shitake, Shimeji, Champignon, Portobello e Hiratake (SANTIAGO et al., 2020). O cultivo de cogumelos apresenta inúmeras vantagens, especialmente para a agricultura familiar, por exigir pouca mão de obra, pequenas áreas, investimento inicial reduzido e rápido retorno financeiro (ZIED et al., 2017). Além disso, os insumos necessários, como capim, serragem, farelo de trigo e bagaço de cana, são facilmente encontrados e baratos, e os resíduos gerados no processo possuem valor agregado, podendo ser utilizados como fertilizantes ou em biorremediação (ROYSE et al., 2017). O setor ainda oferece oportunidades atraentes de crescimento, impulsionadas por fatores como o aumento do veganismo, a expansão de restaurantes orientais, o incentivo da EMBRAPA e a difusão de informações sobre os benefícios nutricionais e medicinais dos cogumelos (NASCIMENTO et al., 2022). A baixa concorrência e a alta demanda tornam o mercado promissor e economicamente vantajoso (ZIED et al., 2017). Entretanto, ainda há desafios a serem superados, como a sensibilidade dos cogumelos às variações ambientais e a falta de tecnificação do setor (NASCIMENTO

et al., 2022). O tempo de vida útil do produto, especialmente na forma in natura, requer uma logística eficiente e o desenvolvimento de tecnologias nacionais para armazenamento e transporte adequados (ROYSE et al., 2017). Dessa forma, embora o cenário atual apresente entraves, o cultivo de cogumelos no Brasil revela um potencial expressivo tanto do ponto de vista econômico quanto sustentável, configurando-se como uma alternativa agrícola promissora e de baixo impacto ambiental (Kalač, 2013).

### **1.2.3 ANÁLISE AMBIENTAL**

O cultivo de cogumelos destaca-se como uma prática agrícola sustentável, por aproveitar resíduos orgânicos e demandar poucos insumos em comparação a outros sistemas produtivos. Essa atividade contribui para a economia circular, transformando materiais como palha, serragem e bagaço de cana — antes considerados resíduos sem valor — em substratos férteis para a produção de alimentos nutritivos (SILVA; RAMOS; GONÇALVES, 2024). Além disso, o cultivo requer pequenas áreas, não necessita de revolvimento do solo e preserva a biodiversidade local, reduzindo riscos de erosão e degradação ambiental. Quando realizado em estufas, o sistema utiliza ainda menos espaço, integrando-se facilmente a outras práticas agrícolas e diminuindo a pressão sobre ecossistemas naturais. Outro benefício relevante é a baixa emissão de carbono, uma vez que o processo demanda menor quantidade de insumos químicos e não depende de fertilizantes sintéticos, tornando-se mais limpo e eficiente energeticamente (AGROCURSOS, 2025). Contudo, o cultivo em ambientes controlados traz desafios, como o aumento no consumo de energia para climatização, ventilação e iluminação, especialmente quando não são utilizadas fontes renováveis. O uso da água também requer atenção, pois, embora o consumo seja menor que em outras culturas, a manutenção da umidade constante é essencial para o desenvolvimento dos fungos. Além disso, é necessário planejar o destino do substrato esgotado após cada ciclo produtivo, de modo que ele seja reaproveitado como adubo orgânico ou material de compostagem, evitando impactos ambientais negativos. Assim, o cultivo de cogumelos pode ser considerado um modelo de produção sustentável e circular, quando aliado à eficiência energética, à boa gestão hídrica e ao reaproveitamento de resíduos. A utilização de estufas eficientes potencializa ainda mais esses benefícios, aumentando o rendimento produtivo e contribuindo para a preservação ambiental, pois o controle automatizado das variáveis reduz desperdícios

e otimiza o uso dos recursos naturais. Dessa forma, além de promover ganhos ecológicos, a atividade gera valor econômico e social, estimulando o desenvolvimento local e consolidando-se como uma alternativa viável e ecologicamente responsável para o futuro da agricultura moderna.

#### **1.2.4 ANÁLISE DE SEGURANÇA**

Ao abordar a segurança no cultivo de cogumelos, é essencial considerar fatores relacionados à saúde dos operadores, à integridade do produto e à sustentabilidade do ambiente de cultivo. Os principais riscos microbiológicos e de contaminação envolvem a esterilização ou pasteurização inadequada do substrato e do inóculo, que podem resultar na presença de bactérias, vírus, fungos concorrentes e insetos, comprometendo a produção e a segurança alimentar (STAMETS, 2000).

O correto funcionamento do sistema depende da precisão das leituras fornecidas pelo sensor DHT11 e da atuação dos controladores PID responsáveis por garantir a estabilidade das variáveis de temperatura e umidade. Falhas de leitura, erro lógico no algoritmo ou atuação indevida de atuadores podem comprometer a eficiência do controle e colocar em risco o cultivo. Para minimizar esses riscos, foram implementadas rotinas de verificação de erro (como a detecção de valores “NaN”), limitação de saída do controlador PID e feedback visual por meio do display OLED. No entanto, recomenda-se, para versões futuras, a utilização de watchdog timers, redundância de sensores, mecanismos de falha segura (fail-safe) e registros de erro (logs) capazes de facilitar o diagnóstico de falhas.

A estrutura da estufa, confeccionada em isopor reforçado, foi escolhida pelo baixo custo e pela boa capacidade de isolamento térmico. Entretanto, sua leveza e relativa baixa resistência mecânica apresentam riscos associados à durabilidade e à estabilidade do conjunto, resultando em infiltrações, deterioração ou deformações da estrutura, entretanto, é perfeita para manter a umidade e temperatura local por um longo período, além de prevenir contra causas externas como bactérias que possam infectar o fungo, e graças a isso e ao filtro implementado nas ventoinhas, a chance de algo acontecer é muito baixa. Mas recomenda-se, portanto, a utilização de materiais com maior resistência, bem como o reforço das juntas e pontos de fixação, a fim de prolongar a vida útil do protótipo e aumentar sua segurança operacional.

O usuário está sujeito a riscos durante a operação do sistema, tais como contato com ventoinhas em funcionamento, nebulizador ligado, ou manipulação

inadequada do circuito eletrônico. Para minimizar esses riscos, há a inclusão de instruções de uso claramente visíveis, avisos de segurança, chave geral para desligamento do sistema e travamento automático dos atuadores quando a tampa da estufa é aberta.

Ao final do ciclo produtivo, o substrato utilizado pode conter microrganismos residuais ou contaminantes, devendo ser descartado de maneira adequada. A eliminação incorreta do substrato pode contribuir para a proliferação de fungos indesejáveis e gerar impactos sanitários e ambientais. Por esse motivo, recomenda-se o descarte controlado, preferencialmente por meio de compostagem ou local apropriado, seguindo práticas seguras de higienização e manipulação.

Assim, protocolos de higienização e controle sanitário são indispensáveis. O fluxo de pessoas e a manipulação do material devem seguir normas de biossegurança, como o uso de roupas de proteção, desinfecção de mãos e equipamentos, e limitação de acesso ao ambiente de cultivo. No cultivo tradicional, o risco de contaminação é maior devido à exposição a poeira, insetos, bactérias e circulação inadequada de ar e pessoas, exigindo monitoramento e limpeza constantes. Já o cultivo em estufas oferece um ambiente mais controlado, com climatização, ventilação e umidade ajustáveis, o que favorece tanto a produtividade quanto a redução de contaminações cruzadas. Entretanto, requer monitoramento contínuo com sensores, protocolos de limpeza, planos de contingência e controle de acesso em áreas específicas para preparo, inoculação e colheita. Em qualquer método, a segurança física das instalações e dos equipamentos é essencial, devendo-se garantir estruturas robustas e operadores treinados para evitar acidentes e falhas técnicas. A prevenção inclui treinamentos regulares, manutenção preventiva e aplicação de boas práticas sanitárias e certificações que assegurem a qualidade e segurança do produto, como aponta (ROYCE; BAAR; TAN, 2017). O cultivo em estufas, quando bem projetado e administrado, apresenta vantagens significativas, reduzindo riscos e aumentando a padronização da produção. Assim, a segurança no cultivo de cogumelos depende da integração entre práticas sanitárias, controle ambiental rigoroso e protocolos operacionais padronizados, garantindo um processo produtivo seguro e alimentos de alta qualidade.

### **1.3 RELEVÂNCIA**

A relevância do nosso projeto se dá pela sua aplicabilidade econômica, que contribui com o índice de agricultura urbana e sustentável, índice esse que vem aumentando segundo Sinhori (2024); fator esse que ajuda os pequenos produtores, iniciantes na fungicultura a disporem de uma alternativa para o cultivo de cogumelos em área residencial com espaço reduzido, possui viabilidade social, uma vez que o consumo de cogumelos vem aumentando significativamente em decorrência da expansão das dietas veganas no Brasil, fator esse que é demonstrado por notícias acerca do desenvolvimento desse tipo de cultivo no país, como aponta Savenhago (2025), e por fim, possui amplo ramo de aplicação uma vez que o projeto pode ser modulado para possíveis necessidades individuais do consumidor.

### **1.4 ACESSIBILIDADE**

Temos 2 fatores a se levar em conta para definir a acessibilidade do projeto. A sua acessibilidade econômica e a sua inclusão para pessoas com deficiência. Para a primeira, como foi dito no capítulo de análise financeira, o projeto tem o valor de aquisição teórico estipulado de R\$631,00, valor este que o torna viável para o consumidor de classe média, sendo estas as famílias com renda domiciliar per capita entre R\$1926,00 e R\$8303,00 por mês como aponta (ANJOS, 2024). Podendo ser adquirido também por pessoas de classes superiores, porém foi pensado para o público específico da classe média no Brasil. Para a segunda parte, inclusão de pessoas com deficiências, o nosso projeto possui a facilidade de utilização como principal fator de inclusão, facilidade essa que é demonstrada através de sua lógica de funcionamento como aponta o tópico de referencial teórico, porém, como não é o foco do projeto, não dimensionamos o para pessoas com dificuldades de locomoção ou que possam vir a não conseguir transportar a estufa.

## 2 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento deste projeto teve como objetivo principal a criação e validação de um sistema automatizado de estufa residencial para o cultivo do cogumelo *Pleurotus ostreatus* (shimeji branco). Para alcançar tal finalidade, foi conduzido um processo que uniu pesquisa teórica, experimentação prática e construção de um protótipo funcional. A aplicação de conceitos de automação industrial, adaptados ao contexto doméstico, permitiu o controle preciso de variáveis ambientais fundamentais, como temperatura e umidade, assegurando condições ideais para o crescimento do fungo sendo a primeira etapa do desenvolvimento constituída da elaboração do referencial teórico, que fundamentou a escolha das tecnologias e dos métodos empregados. Foram estudados temas como o funcionamento de controladores PID, a importância do controle ambiental no cultivo de fungos e as características do microcontrolador ESP32. Essa base teórica possibilitou compreender os princípios de operação dos sensores e atuadores utilizados, bem como a lógica de programação necessária para o controle automático do sistema.

Em seguida, a etapa de metodologia científica orientou o processo de pesquisa e construção do protótipo. Adotou-se a abordagem qualitativa, sustentada por revisão bibliográfica e análise de fontes técnicas, científicas e empíricas, as informações coletadas serviram para aprimorar o dimensionamento do sistema, a escolha dos componentes e a implementação do código em linguagem C++. A pesquisa experimental foi essencial para a validação prática das soluções propostas e para o registro dos resultados obtidos durante a fase de testes após isso fizemos a etapa de recursos necessários, onde foram identificados e categorizados os elementos humanos, materiais e financeiros indispensáveis ao desenvolvimento do projeto sendo executado o trabalho de forma colaborativa entre os integrantes do grupo, sob orientação docente, utilizando materiais de baixo custo e fácil acesso, como isopor, papelão, sensores DHT11, ventoinhas, fonte 24V e microcontrolador ESP32. A opção por materiais acessíveis e recicláveis reforçou o compromisso do projeto com a sustentabilidade e a viabilidade econômica.

Com as informações necessárias concluídas demos início a execução prática, onde iniciou-se com o planejamento estrutural da estufa e a definição do esquema eletrônico. Posteriormente, procedeu-se à montagem física do protótipo, instalação

dos componentes e testes de integração entre hardware e software. O código, desenvolvido na plataforma Arduino IDE, incorporou bibliotecas específicas (Wire, Adafruit\_GFX, Adafruit\_SSD1306, DHT e PID\_v1), permitindo a leitura contínua das variáveis ambientais e o acionamento automático dos dispositivos de controle. O sistema realiza o monitoramento em tempo real das condições internas, acionando o nebulizador quando a umidade fica abaixo do limite ideal e as ventoinhas quando a temperatura excede o ponto de ajuste (*SetPoint*).

O cronograma de execução foi dividido em duas etapas anuais, abrangendo desde a fase de planejamento teórico até a montagem do protótipo. Embora nem todas as metas tenham sido concluídas dentro do prazo previsto, o progresso obtido até a entrega da monografia garantiu a comprovação da viabilidade técnica do projeto e a consolidação de uma base sólida para aprimoramentos futuros. Além da parte técnica, foram elaborados desenhos e detalhamentos gráficos, representando a estrutura física da estufa, a disposição dos componentes e os circuitos de ligação. As representações seguiram as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) aplicáveis ao desenho técnico, garantindo clareza e padronização visual.

No que se refere aos custos de desenvolvimento, o orçamento total estimado foi de R\$ 451,00, contemplando materiais, ferramentas e uma reserva técnica para eventuais substituições de componentes. Esse valor demonstra a viabilidade econômica da proposta, que alia baixo custo de produção com alto potencial de aplicabilidade em residências e pequenos espaços urbanos, e, por fim, a construção do protótipo consolidou o aprendizado teórico e experimental do grupo, resultando em um sistema funcional capaz de controlar automaticamente o ambiente de cultivo. O protótipo atendeu aos requisitos de precisão, eficiência e sustentabilidade, demonstrando a possibilidade real de aplicação da automação agrícola em escala doméstica.

Assim, o desenvolvimento deste trabalho comprova que a integração entre fundamentos teóricos, metodologias científicas e práticas experimentais pode gerar soluções tecnológicas acessíveis e eficazes, promovendo a inovação e a sustentabilidade no cultivo de alimentos em ambientes residenciais.

## 2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

A automação industrial aplicada aos processos agropecuários tem se mostrado um fator determinante para a otimização da produtividade, rentabilidade e sustentabilidade. Segundo Moreira et al. (2022), sistemas de automação podem realizar tarefas repetitivas com maior precisão e menor dispêndio energético em comparação a operações manuais, reduzindo erros humanos e aumentando a eficiência operacional. Dentro desse contexto, o controle preciso das variáveis ambientais, como temperatura e umidade, é essencial para o sucesso do cultivo de alimentos, especialmente no caso do cogumelo Shimeji branco, que exige condições específicas para seu desenvolvimento. O módulo de controle, conforme descrito por Nise (2015), é o dispositivo central responsável por gerenciar e regular o funcionamento de sistemas automatizados, atuando como o cérebro do sistema. Ele recebe dados dos sensores ambientais, processa essas informações e emite comandos para os atuadores, garantindo que os parâmetros se mantenham dentro das faixas desejadas para o processo. O módulo baseado no microcontrolador ESP32 é uma escolha estratégica devido à sua capacidade de processamento, conectividade Wi-Fi/Bluetooth integrada e suporte a múltiplas interfaces para sensores e atuadores (Espressif Systems, 2020). O controlador PID é uma técnica amplamente utilizada em automação para ajustar variáveis de controle, aproximando o valor medido ao *SetPoint* desejado (Ogata, 2010). Este controlador calcula a saída com base em três termos: proporcional ao erro atual, integral dos erros passados e derivativo da taxa de variação do erro, conforme a equação demonstrada na Figura 1. A sintonia dos ganhos  $[K_p]$ ,  $[K_i]$  e  $[K_d]$  pode ser feita pelo método de tentativa e erro ou por técnicas como Ziegler-Nichols para garantir resposta rápida e estável (Åström e Hägglund, 2006). No sistema proposto, atuadores como ventoinhas e nebulizadores são acionados via Modulação por Largura de Pulso (PWM), controlados pelo ESP32 por meio de transistores IRZ44N, promovendo o controle efetivo da temperatura e umidade da estufa. A estufa para cultivo de cogumelos é um ambiente protegido com baixa incidência de luz e controle preciso de temperatura e umidade, fatores cruciais para o sucesso do cultivo (Michelon, 2018). O nebulizador ultrassônico converte energia elétrica em vibrações de alta frequência, gerando névoa que eleva a umidade do ar de forma eficiente e com baixo custo em relação a umidificadores convencionais (Zhang et al., 2019). A alimentação elétrica do sistema é garantida por uma fonte de

24 V 5 A, com conversores DC-DC LM2596 para os 5 V necessários aos componentes eletrônicos, garantindo segurança e estabilidade no funcionamento. Para monitorar as variáveis ambientais, utiliza-se o sensor DHT11, capaz de medir temperatura entre 0 e 50 °C com precisão de  $\pm 2$  °C e umidade relativa do ar entre 20% e 90% com precisão de  $\pm 5\%$ , adequado às necessidades do cultivo (Sensirion, 2017). A interface homem-máquina é realizada por um display LCD OLED I2C, que oferece alta visibilidade e baixo consumo energético (Adafruit, 2020), facilitando o acompanhamento em tempo real das medições e controles, a programação do módulo foi implementada em linguagem C++, escolhida pela facilidade de integração com bibliotecas específicas que suportam os componentes utilizados. As bibliotecas utilizadas incluem: Wire: para comunicação com o display OLED via protocolo I2C; Adafruit\_GFX e Adafruit\_SSD1306: para controle específico do display OLED SSD1306; DHT: para leitura dos dados do sensor DHT11 de temperatura e umidade; PID\_v1: que oferece funções pré-implementadas para controle PID, facilitando a sintonia e execução do algoritmo. O programa realiza a leitura contínua da temperatura e umidade, processa essas informações com os controladores PID configurados com valores de SetPoint para manter o ambiente nas condições ideais. Se o valor da umidade ultrapassa o limite programado, o nebulizador ultrassônico é acionado; se a temperatura ultrapassa o valor definido, as ventoinhas são ligadas para manter o ambiente estável. O status atual do sistema é exibido no display OLED, atualizando a cada dois segundos, o que permite ao usuário acompanhar o funcionamento em tempo real. Assim, a programação integrada ao hardware oferece um sistema robusto para controle ambiental eficiente em espaços residenciais, garantindo condições favoráveis para o cultivo do cogumelo Shimeji branco, reduzindo a necessidade de intervenção manual e aumentando a produtividade (Arduino, 2021; Espressif Systems, 2020). Quanto a cogubox, ela é um kit para cultivo doméstico de cogumelos, especificamente projetado para facilitar o cultivo do Shimeji branco. Segundo o fabricante, o kit já vem pronto para uso, a caixa contém um substrato 100% natural colonizado pelo micélio do cogumelo. Para cultivar, basta abrir a caixa, fazer um corte no plástico, e borrifar água 2 vezes por dia para manter o substrato úmido. Posteriormente, os cogumelos começam a frutificar e já podem ser colhidos entre 3 e 4 dias após o aparecimento, com produção completa por volta do 5º ao 7º dia.

Figura 1 - Fórmula do cálculo do controle PID

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Fonte: KALATEC AUTOMAÇÃO. Acesso em: 19 out. 2025.

Código de programação completo a seguir, é importante ressaltar que o mesmo foi construído de forma empírica como apontado no capítulo de protocolo de testes, ele está auxiliado de comentários:

```
#include <Wire.h> // é utilizada na comunicação com o display oled
#include <Adafruit_GFX.h> // biblioteca do display oled
#include <Adafruit_SSD1306.h> // serve para o controle específico de OLED
SSD1306/ BIBLIOTECA específica
#include <DHT.h> // biblioteca para o controle do sensor DHT11
#include <PID_v1.h> // biblioteca específica para controladores PID / poupa
tempo com algumas funções já prontas

// ==== Definições de hardware ====
#define DHTPIN 4 // Pino do sensor DHT11
#define DHTTYPE DHT11 // Tipo do sensor
#define SCREEN_WIDTH 128 // Largura OLED
#define SCREEN_HEIGHT 64 // Altura OLED
#define OLED_RESET -1 // Reset do display OLED

#define NEBULIZADOR 16 // Saída nebulizador
#define VENTOINHA1 17 // Saída ventoinha 1 "renovação ar"
#define VENTOINHA2 18 // Saída ventoinha 2 "exaustor"
#define BOTAO 15 // Botão para ligar sistema

// ==== Objetos ====
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); // inicializa o sensor e define o mesmo como
sendo do tipo DHT11
Adafruit_SSD1306 oled(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire,
OLED_RESET); // inicializa o display oled no tipo I2C
```

```

// ==== Variáveis de sensores ==== são do tipo double por se tratar de
grandezas físicas medidas e controladas, portanto faz-se necessário a especificação
double temperatura = 0;
double umidade = 0;

// ==== Variáveis do PID ==== segue-se o mesmo em relação ao tipo das
variáveis
double SetpointTemp = 22; // Valor desejado de temperatura
double SetpointUmi = 80; // Valor desejado de umidade
double tempOutput, umiOutput;

PID tempPID(&temperatura, &tempOutput, &SetpointTemp, 2, 5, 1, DIRECT);
// cria o objeto PID para o controle da temperatura
PID umiPID(&umidade, &umiOutput, &SetpointUmi, 2, 5, 1, DIRECT);//cria o
objeto PID para o controle da umidade

// ==== Estado do sistema ====
bool sistemaAtivo = false; // bool - > só pode assumir os estados de true e false

// ==== Setup ====
void setup() {
    pinMode(NEBULIZADOR, OUTPUT); //define a função que terá o pino do
nebulizador
    pinMode(VENTOINHA1, OUTPUT); //define a função que terá o pino da
ventoinha
    pinMode(VENTOINHA2, OUTPUT); //define a função que terá o pino da
ventoinha 2
    pinMode(BOTAO, INPUT_PULLUP); //define a função que terá o pino do
botão

    digitalWrite(NEBULIZADOR, LOW); // desliga o sinal do nebulizador
    digitalWrite(VENTOINHA1, LOW); // desliga o sinal da ventoinha

```

```

digitalWrite(VENTOINHA2, LOW); // desliga o sinal da ventoinha 2

dht.begin(); //inicializa o sensor DHT11

if (!oled.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) { // função de verificação
do funcionamento do OLED
    for (;;); // Travar caso OLED falhe
}

oled.clearDisplay();
oled.setTextSize(1);
oled.setTextColor(SSD1306_WHITE);
oled.setCursor(0, 0);
oled.println("aperte para iniciar");
oled.display();
delay(2000);

// Configuração dos PIDs
tempPID.SetMode(AUTOMATIC); // ativa o controlador definido anteriormente
umiPID.SetMode(AUTOMATIC); // ativa o controlador definido anteriormente

// Saídas dos PIDs limitadas a 0–255 (PWM)
tempPID.SetOutputLimits(0, 255);
umiPID.SetOutputLimits(0, 255);
}

// ==== Função para mostrar dados no OLED ====
void displayInfo(String status) { // recebe um parametro do tipo string chamado
status
    oled.clearDisplay();
    oled.setCursor(0, 0);
    oled.print("Temperatura: ");
    oled.print(temperatura);
    oled.println(" C");

```

```
oled.print("Umidade: ");
oled.print(umidade);
oled.println(" %");

oled.println("-----");
oled.println(status);
oled.display();
}

// ==== Loop principal ====
void loop() {
  // Pressionar botão uma vez → liga o sistema
  if (!sistemaAtivo && digitalRead(BOTAO) == LOW) {
    sistemaAtivo = true;
    oled.clearDisplay();
    oled.setCursor(0, 0);
    oled.println("Sistema LIGADO");
    oled.display();
    delay(500);
  }

  // Se o sistema estiver ativo, faz o controle
  if (sistemaAtivo) {
    temperatura = dht.readTemperature();
    umidade = dht.readHumidity();

    if (isnan(temperatura) || isnan(umidade)) {
      displayInfo("Erro no sensor!");
      return;
    }

    // Calcula PID
    tempPID.Compute();
```

```
umiPID.Compute();

//String
String status = "Normal";

if (umiOutput > 70) { // saída PID alta → liga nebulizador
    digitalWrite(NEBULIZADOR, HIGH);
    digitalWrite(VENTOINHA1, HIGH);
    status = "Nebulizador ON";
} else {
    digitalWrite(NEBULIZADOR, LOW);
    digitalWrite(VENTOINHA1, LOW);
    digitalWrite(VENTOINHA2, LOW);
    status = "Ventoinhas ON";
}

// Controle da temperatura (PID)
if ((tempOutput) < 25) { // saída PID alta → liga ventoinhas
    digitalWrite(VENTOINHA1, HIGH);
    digitalWrite(VENTOINHA2, HIGH);
    status = "\nVentoinhas ON";
} else {
    digitalWrite(VENTOINHA1, LOW);
    digitalWrite(VENTOINHA2, LOW);
}

// Atualiza display
displayInfo(status);

delay(2000); // intervalo entre leituras
}
```

}

### **2.1.1 METODOLOGIA CIENTÍFICA**

Como citado anteriormente nosso objetivo com esse projeto é cultivar de forma eficiente o cogumelo shimeji branco, por meio de um MER, em local que possuam pouco espaço para cultivo. Nosso processo de pesquisa foi voltado para a construção do protótipo uma vez que o mesmo fundamentaria a escrita desta monografia. Fizemos o processo de escrita e pesquisa denominado pesquisa qualitativa, que segundo Silva (2022), é a pesquisa caracterizada por coletar e interpretar as respostas subjetivas dos entrevistados. Para a caracterização e validação desses dados buscamos analisarmos das seguintes formas, são essenciais para a construção do projeto, como por exemplo o funcionamento do controlador PID, se sim escrevemos sobre, senão, não escrevemos sobre, como por exemplo a caracterização dos consumidores de cogumelo em etnia ou gênero, que não estudamos uma vez que os mesmos não interfeririam diretamente na construção e funcionamento do MER.

Quanto a coleta desses dados utilizamos pesquisas bibliográficas, notícias relacionadas ao tema de cultivo agropecuário e a leitura de artigos e sites que fornecessem informações práticas, como a programação do ESP032 e suas características. O primeiro foi escolhido por fundamentar a teoria e concepção do projeto, o segundo por dar embasamento aos argumentos socioeconômicos apresentados na parte da introdução, já o terceiro deu-se por uma questão prática, uma vez que não possuíamos todas as habilidades e conhecimentos necessários para a construção da estufa, necessitando assim com que buscássemos aprender sobre tal, por exemplo como dimensionar sistemas para cultivo agropecuário.

### **2.2 TÓPICOS DE FUNDAMENTAÇÃO**

O objetivo principal deste projeto é o cultivo eficiente do cogumelo Shimeji branco por meio de um MER, destinado a ambientes com espaço limitado para o cultivo. Para o desenvolvimento deste trabalho, optou-se pela construção de um protótipo funcional que embasasse teoricamente a monografia, adotando uma abordagem de pesquisa qualitativa. Na construção do referencial teórico, foi adotado

um critério seletivo quanto aos temas abordados, focando naqueles essenciais para o funcionamento do módulo de estufa. Por exemplo, o estudo do controlador PID foi aprofundado, pois é fundamental para o sistema de controle da temperatura e umidade. Por outro lado, aspectos como a caracterização dos consumidores de cogumelos por etnia ou gênero, embora relevantes para estudos de mercado, não foram incluídos por não interferirem diretamente na construção ou operação do sistema em questão (Gil, 2019). A coleta dos dados foi realizada a partir de pesquisa bibliográfica, acompanhada de notícias e artigos relacionados ao cultivo agropecuário e automação aplicada. Segundo Lakatos e Marconi (2017), a pesquisa bibliográfica é essencial para fundamentar teoricamente um projeto, permitindo o levantamento e análise crítica de conhecimentos já consolidados. A leitura de manuais técnicos, artigos científicos e fontes confiáveis sobre o microcontrolador ESP32 e suas bibliotecas de programação forneceu o suporte prático necessário para o desenvolvimento do protótipo, alinhando teoria e aplicação. Sendo a escolha do ESP32 como controlador central justificada, por sua versatilidade e ampla documentação disponível, que facilitaram a implementação do controle PID, leitura de sensores (como o DHT11) e comunicação via *Bluetooth*. Este embasamento prático é vital para garantir a funcionalidade do módulo em ambientes residenciais pequenos, onde o controle ambiental deve ser preciso para o cultivo do cogumelo, considerando suas necessidades específicas de temperatura e umidade (Espressif Systems, 2020). Ademais, o referente à programação e dimensionamento dos componentes eletrônicos seguiu recomendações técnicas descritas em literatura especializada, garantindo que o sistema atendesse as demandas de energia, controle e monitoramento, fator fundamental para a confiabilidade e eficiência do projeto (NISE, 2015; OGATA, 2010). Por meio dessa metodologia, o trabalho buscou assegurar que a teoria estudada fosse aplicada no desenvolvimento do protótipo de forma coerente e validada, reforçando a importância da fundamentação teórica sólida para a automação agrícola residencial.

## **2.3 RECURSOS NECESSÁRIOS**

Para o tópico de recursos necessários buscamos identificar todos os aspectos relevantes para a elaboração do projeto. Primeiro temos os recursos humanos, que contando o nosso projeto com a participação dos integrantes do grupo, que ficaram responsáveis pelas etapas de pesquisa, montagem e teste da estufa automatizada,

além do acompanhamento técnico dos professores orientadores, a divisão das tarefas e o trabalho colaborativo foram essenciais para a execução eficiente das etapas de desenvolvimento, conforme ressaltam Lakatos e Marconi (2021), ao destacarem que a definição clara de funções é fundamental para o êxito de um projeto científico. Depois fizemos a constatação dos recursos humanos necessários fizemos a constatação dos recursos financeiros, que fundamentam o necessário para a construção do protótipo, sendo utilizados materiais de baixo custo e fácil acesso, como isopor, papelão para reforço estrutural, fita, ventoinhas, sensores DHT11, microcontrolador ESP32, display OLED e demais componentes eletrônicos necessários à montagem da estufa. O uso de materiais acessíveis e sustentáveis está em consonância com Reis (2005, apud Borba et al., 2022), que reforça a importância de estruturas leves e isolantes em ambientes controlados de cultivo.

Paralelamente a organização dos tópicos citados acima, fizemos a constatação dos recursos financeiros do projeto, sendo estes provenientes dos próprios integrantes do grupo, sem apoio externo. Devido à limitação orçamentária, priorizou-se a aquisição dos componentes indispensáveis ao funcionamento da estufa, otimizando custos. Categorizamos os equipamentos e instrumentos necessários para a montagem do MER e da parte física da estufa, sendo, para a montagem e testes do protótipo, utilizados multímetros, ferro de solda, fonte de alimentação e alicate de corte. Esses instrumentos garantiram maior precisão nos testes e segurança nas conexões, atendendo às boas práticas laboratoriais conforme recomenda o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2022).

A programação e a simulação do sistema foram realizadas com o auxílio do software Arduino IDE e do simulador online Wokwi, além de ferramentas digitais para edição de texto e planilhas. O uso de simulações virtuais foi essencial para testar o código e validar o circuito antes da montagem física, reduzindo erros e custos. Essa metodologia é semelhante à proposta por Bolignani e Lucca Filho (2024), que destacam o papel da Internet das Coisas (IoT) na automação agrícola. Com esses 4 tópicos, que foram citados, acreditamos ter abordado todos os recursos necessários para a elaboração da construção do projeto de TCC.

## **2.4 CRONOGRAMA**

Para o desenvolvimento do nosso projeto utilizamos 2(dois) cronogramas, sendo um deles para o começo do ano, como aponta a Figura 2, observe que fizemos

sua impressão para melhor acompanhamento da execução das tarefas, de fevereiro até junho, e outro de setembro até outubro, como demonstra a Figura 3. Na sequência observa-se a descrição de ambos e suas respectivas justificativas.

Figura 2 - Cronograma começo do ano



Fonte: autoria própria.

Figura 3 - Segundo cronograma

1º INICÍO:	MÊS		Responsavel
	SETEMBRO	OUTUBRO	
A			Grupo
B			Grupo
C			Grupo
D			Grupo
E			Grupo
<b>2º DESENVOLVIMENTO</b>			
A	I:01/09C:10/09		Grupo
B	I:10/09C:14/09		LUCAS
C	I:19/09C:25/09		Wellington
D	I:12/09C:16/09		Gustavo
E		17/out	LUCAS
F		I:17/10C:17/10	Grupo
G		I:18/09C:17/10	Grupo
H	I:16/09C:24/09		Gustavo
I	I:24/09C:XX/XX		Gustavo
J	I:24/09C: XX/XX		Gustavo
K		I:18/10C:28/10	Wellington
L		I:18/10C:27/10	Wellington
M		I:18/09C:28/10	Wellington
N	I:19/10C:XX/XX		Grupo
O		I:22/10C:22/10	Grupo

Fonte: autoria própria.

Aqui o projeto é reelaborado, mudando o tema de Automação agropecuária, para Automação de cultivo residencial, mudança essa que ocasionou uma série de problemas ao grupo que teve que refazer as escritas dos tópicos da monografia, para novo embasamento do projeto. Os cronogramas seguem o mesmo texto auxiliar, que é mostrado ao final desse capítulo.

Os cronogramas citados acima demonstram a execução dos passos necessários para a criação, construção e revisão do projeto, porém, eles não foram seguidos fielmente uma vez que o grupo o adaptou conforme as tarefas foram executadas. Observa-se que no cronograma do início do ano, as tarefas estão inteiramente pintadas de vermelho, fato esse que aponta para o não cumprimento das mesmas uma vez que tínhamos mudado o tema do projeto.

Posteriormente a entrega desta monografia no dia 31 de outubro de 2025, o grupo buscara executar as tarefas pendentes quanto ao término da construção do protótipo, e, as mesmas mudanças serão apresentadas a banca avaliadora, também faremos os testes de funcionamento e cultivo, apresentando os posteriormente também.

Ambos os cronogramas são baseados nos seguintes tópicos auxiliares:

#### 1º INÍCIO:

- A. Organizar ideias de possíveis projetos para o TCC;
- B. Fazer o comparativo dessas ideias e escolher a que atende melhor aos critérios de sustentabilidade (econômico, social, ecológico);
- C. Fazer um cronograma destinado a busca de referencial teórico;
- D. Fazer a separação dos tópicos da monografia e prioridades quanto a efetuação do projeto (montagem fixa do projeto de TCC);
- E. Fazer um cronograma delegando as tarefas específicas para os membros do grupo, e as futuras datas e prazos para a conclusão da escrita dos tópicos.

#### 2º DESENVOLVIMENTO:

- A. Começar a escrita dos tópicos da monografia mais relevantes;
- B. Fazer o esquemático da parte física do projeto, deve incluir: Componentes, materiais para a construção da maquete, tintas, design da maquete, posição de cada componente de acordo com suas funções, critérios de escolha de

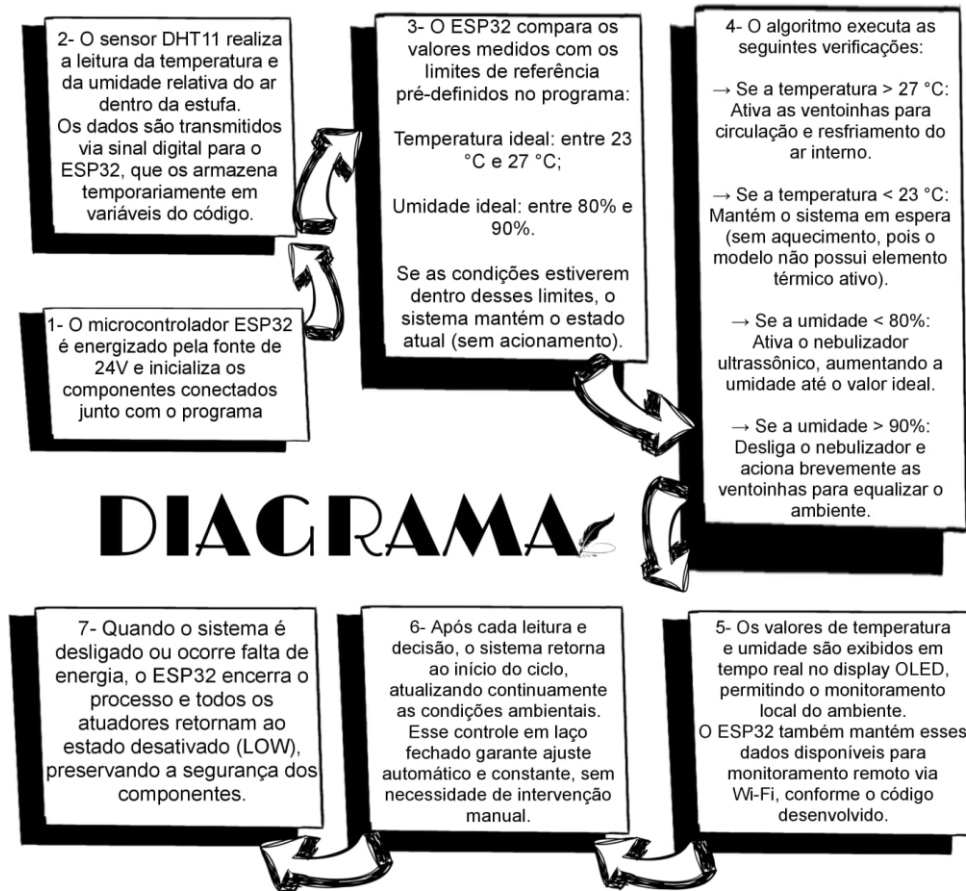
design e atender a normas específicas (se houverem) para esse tipo de projeto de TCC;

- C. Revisar a escrita dos tópicos mais importantes e suas formatações;
- D. Começar a montagem física do projeto, seguindo essa ordem: Começar a programação, fazer os testes das ligações e seguir um protocolo de verificação de montagem, testar o código, testar os componentes, juntar componentes e programação, testá-los juntos, se necessário ajustar a programação ou a montagem dos componentes (adicionado ou não, alterações a ambas as partes), finalizar a montagem física;
- E. Começar a pesquisa para a escrita dos demais tópicos da monografia e realizar a separação dos tópicos restantes para os membros do grupo;
- F. Avaliar o desenvolvimento do projeto de TCC até a chegada desse tópico/passo e verificar se todas as demandas foram atendidas;
- G. Iniciar a escrita dos tópicos restantes da monografia;
- H. Iniciar a montagem da maquete e verificar todos os tópicos referentes a montagem do mesmo, aqui já citados;
- I. Montar a maquete e pintá-la/decorá-la;
- J. Fazer a alocação dos componentes eletrônicos a maquete e revisar a parte física da montagem dos mesmos;
- K. Revisar a escrita dos tópicos restantes da monografia e suas formatações;
- L. Revisar todas as referências e citações da monografia;
- M. Revisar toda a formatação da monografia, tópico por tópico;
- N. Finalizar a montagem da maquete e revisar seu funcionamento;
- O. Avaliar tudo feito até então (monografia e protótipo) e ver se as demandas foram atendidas (monografia e protótipo);

## **2.5 DESENHOS E DETALHAMENTOS**

Os desenhos e detalhamentos gráficos foram elaborados com o objetivo de representar visualmente o protótipo da estufa automatizada, facilitando a compreensão de sua estrutura, funcionamento e montagem. Diagramas e fluxogramas explicativos: foram criados diagramas lógicos representando o funcionamento do sistema automatizado, como demonstra a Figura 4.

Figura 4 - Diagrama de funcionamento

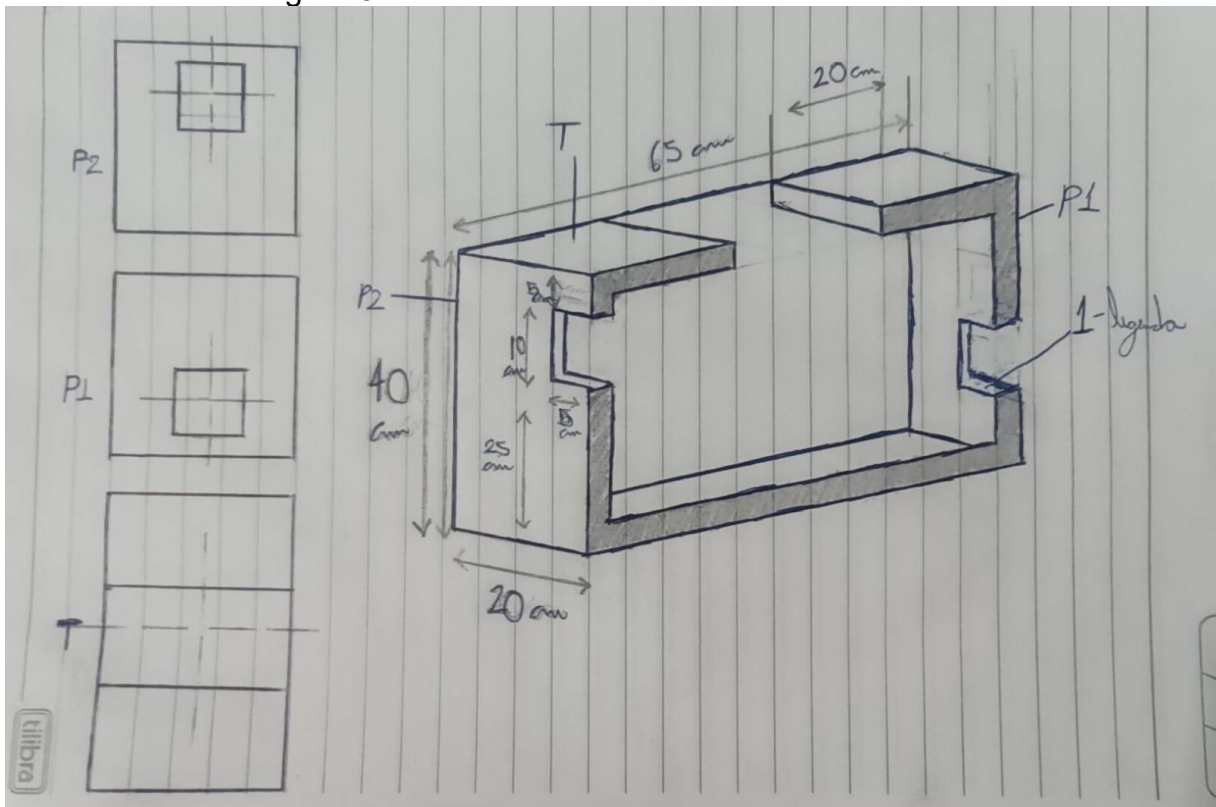


Fonte: autoria própria.

Posteriormente temos o desenho técnico com medidas, como demonstra a Figura 5, elemento esse que foi crucial para a construção da estrutura física da estufa.

Os componentes serão colocados nas laterais e na parte superior da estufa, sendo reforçados com papelão, fita e cola, de modo que a posição seja favorável e eficiente. A especificação dos materiais e componentes temos: Isopor (1 cm de espessura) - Estrutura e isolamento da estufa; Papelão - Sustentação externa e reforço estrutural; DHT11 (Sensor digital de temperatura e umidade) - Monitoramento ambiental; ESP32 (microcontrolador) - Controle central do sistema; Ventoinhas 24V (atuação térmica) - Circulação de ar interno; Nebulizador ultrassônico ( Dispositivo de umidificação) - Regulação da umidade; Display OLED (Saída visual de dados) - Exibição de temperatura e umidade; Fonte 24V (Alimentação elétrica) - Fornecimento de energia. Julgamos tais materiais, suficientes para a construção do protótipo da estufa.

Figura 5 - Desenho técnico da estrutura da estufa



Fonte: Autoria própria.

Quanto aos padrões e normas técnicas adotadas utilizamos as seguintes: ABNT NBR 10067:1995 – Princípios gerais de representação em desenho técnico; ABNT NBR 8196:1999 – Escalas; ABNT NBR 5444:1989 – Símbolos gráficos em esquemas elétricos; ABNT NBR 10582:1988 – Apresentação da folha de desenho; ABNT NBR ISO 128-20:2019 – Linhas e proporções em desenho técnico.

## 2.6 CUSTOS

A estimativa dos custos é uma etapa fundamental no desenvolvimento de qualquer projeto técnico, pois possibilita o planejamento financeiro, o controle de gastos e a viabilidade econômica do produto. Segundo o PMI (2021), a gestão de custos deve considerar todas as despesas diretas e indiretas associadas à execução e manutenção do projeto, garantindo a sustentabilidade de sua implementação. Dito isso, o orçamento geral do projeto foi elaborado com base nos materiais, componentes eletrônicos, ferramentas e serviços necessários para o desenvolvimento da estufa automatizada. A proposta visou manter o custo total reduzido, garantindo um bom equilíbrio entre qualidade, eficiência e viabilidade econômica; conforme Sebrae

(2023), a elaboração de um orçamento detalhado permite prever despesas, evitar desperdícios e facilitar decisões estratégicas quanto à aquisição de recursos e fornecedores.

Os custos diretos correspondem aos valores aplicados diretamente na construção e funcionamento da estufa. Incluem a compra de materiais estruturais, sensores, microcontroladores, ventiladores, cabos e os componentes utilizados na montagem. Esses custos representam o núcleo financeiro do projeto, já que impactam diretamente a qualidade e o desempenho do protótipo, a identificação precisa dos custos diretos, sendo eles essenciais para que o gestor avalie o investimento necessário e mantenha o controle do orçamento. Por outra via temos os custos indiretos, que incluem energia elétrica utilizada nos testes, transporte de materiais, uso de ferramentas e tempo gasto. Embora muitas vezes negligenciados, esses custos devem ser previstos, pois podem representar uma certa porcentagem no custo (SEBRAE, 2023).

Os principais insumos utilizados no projeto foram: Estrutura de isopor e papelão reforçado, fita vedante colas térmicas, sensores DHT11, microcontrolador ESP032, ventoinhas 24v, nebulizador ultrassônico, cabos, transistores, resistores, diodos, display OLED I2C; os valores médios foram obtidos, a partir de pesquisas em fornecedores locais e lojas online. A escolha dos materiais considerou critérios de baixo custo, durabilidade, fácil acesso, fácil manutenção e eficiência.

Quanto aos custos com mão de obra, não houve despesas com contratações, uma vez que ela foi realizada integralmente pelos integrantes do grupo, o mesmo vale para os custos com equipamentos e ferramentas, que, assim como ferro de solda, multímetro, protoboard e fontes de alimentação, foram fornecidos pelos membros do grupo, e conforme IPT (2022), a utilização de ferramentas calibradas e adequadas é indispensável para assegurar a precisão dos resultados em projetos tecnológicos.

Na sequência temos os custos administrativos e operacionais que incluem despesas com impressão, encadernação da monografia, energia elétrica utilizada em reuniões e simulações, além de gastos de comunicação e organização; após os custos administrativos temos os custos de transporte e logística, que realizado deslocamentos para aquisição de materiais, reuniões presenciais e testes geraram custos de transporte não contabilizados e alguns não previstos, sendo esse valor parte do transporte urbano e eventuais gastos com entregas de componentes; dos custos com manutenção e reposição, não contabilizamos, além de serem alguns imprevistos

destinado à substituição de sensores, cabos e componentes eletrônicos sujeitos a desgaste, essa reserva segue a recomendação de PMI (2021) para sustentabilidade de projetos tecnológicos, que orienta manter margens para operação continuada e eventuais reparos.

Para a elaboração de uma reserva técnica, sendo essa uma margem que cobre possíveis falhas, trocas de componentes e despesas não previstas durante o desenvolvimento, segundo Maximinião (2020), a criação de reservas financeiras é essencial para mitigar riscos orçamentários em projetos experimentais.

Abaixo os dados orçamentários detalhados:

Materiais e Insumos - Isopor, papelão, fita, cola, sensores, ESP32, cabos, display OLED, ventoinhas, fonte, nebulizador - R\$300,00

Mão de Obra (estimada) – Não houve contratação de mão de obra externa

Equipamentos e Ferramentas - Ferro de solda, multímetro, protoboard - R\$50,00

Transporte e Logística - Deslocamentos e entregas - R\$30,00

Manutenção e Reposição - Peças e componentes substituíveis - R\$30,00 |

Reserva Técnica (10%) - Margem para imprevistos - R\$41,00

TOTAL ESTIMADO DO PROJETO - R\$ 451,00

Com base na análise apresentada, o custo total estimado para o desenvolvimento do protótipo é de aproximadamente R\$ 451,00, podendo variar uma vez, que aqui não contabilizamos os gastos com energia.

## **2.7 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO**

O protótipo desenvolvido consiste em uma estufa automatizada de pequeno porte, projetada para o cultivo de cogumelos comestíveis da espécie *Pleurotus ostreatus* (shimeji branco); sua estrutura principal é composta por isopor reforçado com papelão para os componentes e fita, material escolhido por ser leve, de baixo custo e excelente isolante térmico. Sendo ela equipada com um sistema automatizado de controle de temperatura, umidade e ventilação, operado por um microcontrolador ESP032, que recebe dados de sensores e aciona dispositivos como ventoinhas e umidificadores conforme os parâmetros programados. O sistema foi idealizado para funcionar de forma autônoma, garantindo o ambiente ideal para o desenvolvimento dos fungos, podendo ser controlado remotamente via *Bluetooth*.

Quanto ao objetivo da construção do protótipo, é demonstrar a viabilidade técnica e econômica de uma estufa automatizada, residencial, destinada à produção de cogumelos em pequena escala. Estão implícitos no objetivo geral da construção do protótipo, os objetivos específicos de validar o funcionamento do sistema automatizado de controle dimensionado pelo grupo, testar a integração entre sensores e elementos controlados, avaliar a eficiência dos materiais estruturais e de vedação, verificar o potencial de replicação do modelo em ambientes residenciais. Com esses objetivos almejamos atingir maior eficiência e precisão mesmo em pequena escala através da aplicação de tecnologias de automação em sistemas agrícolas, como indica Bolignani e Lucca Filho (2024).

Os materiais que foram selecionados, foram escolhidos com base na disponibilidade, custo e eficiência térmica. Esses componentes foram escolhidos por apresentarem bom custo-benefício e por atenderem aos requisitos de controle e automação necessários para o projeto. Agora, sobre as ferramentas e equipamentos necessários utilizados na construção do protótipo, foram os seguintes: ferro de solda e estanho, multímetro digital, alicate de corte, tesoura e estilete, protoboard para testes eletrônicos, computador com *softwares* para desenvolvimento da programação e teste da mesma, simulador virtual Wokwi, os instrumentos citados agora a pouco permitiram o teste, medição e validação dos circuitos eletrônicos, da programação e do funcionamento do protótipo.

Agora, sobre as etapas de montagem do protótipo, foram organizadas em etapas sequenciais, para garantir eficiência e segurança no processo: 1º planejamento estrutural, onde foram definidas as dimensões da estufa e a disposição dos componentes eletrônicos e da cogubox utilizada; 2º corte e montagem da estrutura, construção do corpo principal com isopor, cola térmica e fita; 3º instalação dos componentes eletrônicos, posicionamento das ventoinhas, nebulizador ultrassônico e sensor DHT11; 4º montagem do circuito eletrônico, ligação dos componentes à placa ESP032 e ao conversor LM2596; 5º programação e testes de código, inserção do algoritmo de controle de temperatura e umidade via software chamado Arduino IDE; 6º integração dos sistemas, testes de sincronização entre sensores, atuadores e display OLED; 7º verificação de vedação e teste do funcionamento contínuo. Cada etapa citada acima, foi acompanhada de registros e verificações manuais, garantindo a coerência entre o projeto teórico e a execução prática.

A montagem seguiu normas básicas de eletrônica e segurança, conforme as orientações da ABNT NBR 5410:2004, que define critérios de dimensionamento de cabos e proteção contra a sobrecorrente. Já o código de controle foi desenvolvido em linguagem C++ através do *software* Arduino IDE, que foi escolhida por já possuir as bibliotecas do sensor DHT11, como apontado no tópico de referencial teórico, que serve para medir a temperatura e a umidade, e do display I2C OLED, que mostra os valores atuais das variáveis e o que está ligado naquele momento, como por exemplo se a ventoinha/cooler estiver ligada, será mostrado nele. Além disso, o projeto buscou adotar princípios de IoT para a comunicação remota, possibilitando o monitoramento via *Bluetooth*.

Abaixo o cronograma de construção:

- 1- Planejamento e definição do modelo estrutural (10/09 – 14/09), concluída.
- 2- Elaboração do esquema eletrônico e programação inicial (12/09 – 16/09), concluída.
- 3 - Montagem estrutural da estufa (16/09– 24/09), parcialmente concluída.
- 4 - Instalação dos sensores e componentes eletrônicos a estrutura física da estufa (24/09 – 26/09), não concluída.
- 5 - Testes do sistema e ajustes no código (26/09 – 29/09), parcialmente concluída.
- 6 - Ajustes finais e documentação (29/09 – 19/10), parcialmente concluída.

Os testes e ajustes foram realizados em ciclos semanais, seguindo um protocolo de verificação técnica, sendo suas etapas principais: testes elétricos, checagem da integridade das conexões e da fonte de alimentação; teste de sensor, verificação de leituras corretas de temperatura e umidade; teste de atuadores, acionamento das ventoinhas e do nebulizador conforme as condições de temperatura e umidade pré-definidas na programação do modulo de controle; operação simultânea de todos os componentes do modulo de controle; teste de falha simulação de variações extremas para verificar a resposta do controle automático. Durante os testes, constatou-se a queima do sensor DHT11 devido à ligação incorreta, problema solucionado com a substituição e reorganização das ligações.

Durante o processo de montagem, foram realizados registros fotográficos da estrutura e dos circuitos eletrônicos, utilizados para a documentação e comparação com o planejamento teórico. A verificação visual via display I2C OLED se mostrou eficiente para a leitura rápida das variáveis, porém não houve a alocação do circuito

de controle na estrutura física da estufa, fato esse que somente nos permitiu validar seu funcionamento teórico e o da programação, uma vez que não tivemos tempo de testar o circuito de controle alocado à estrutura da estufa.

Como já esperado, durante o desenvolvimento do projeto o grupo enfrentou desafios técnicos, como a falta de recursos financeiros, solucionada com a reutilização de materiais e adaptação de componentes, a queima do sensor, resolvida com a revisão das ligações eletrônicas e da solda, e as limitações de tempo, superadas por meio de reuniões de replanejamento e redistribuição de tarefas.

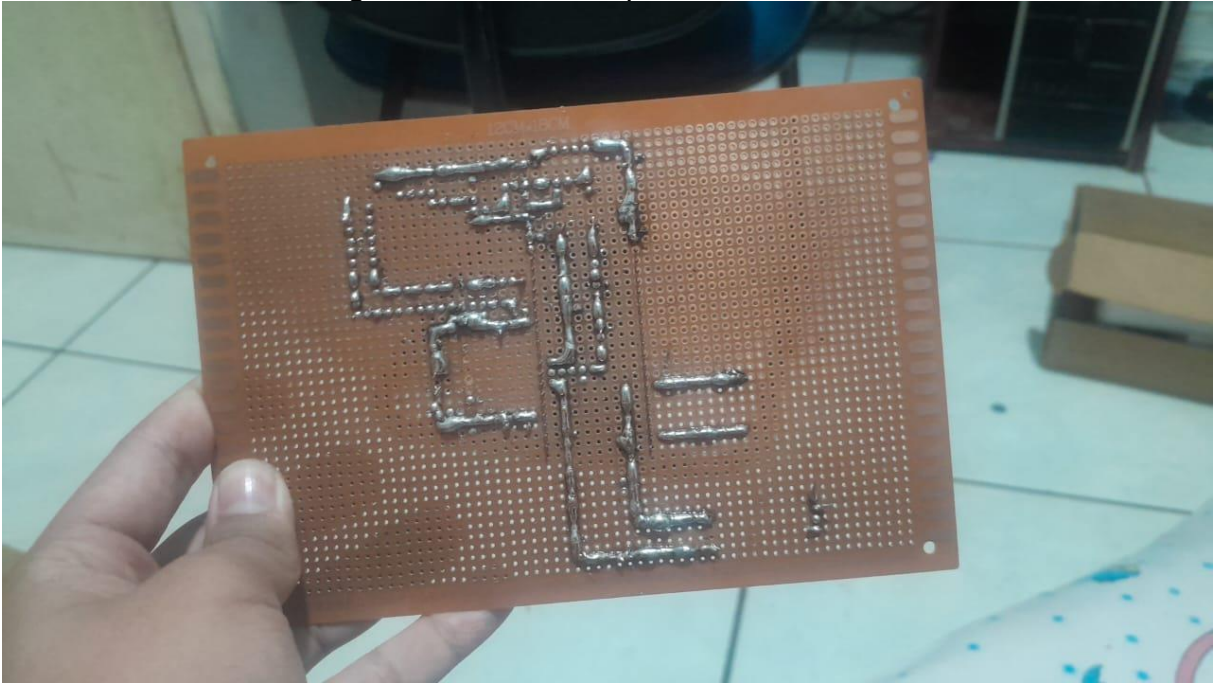
## **2.8 PROTOCOLO DE TESTES**

O protocolo de testes implementado em relação ao funcionamento do circuito de controle do MER foi o seguinte, identificávamos a função que deveria ser executada, como por exemplo ligar o display LCD I2C OLED, iniciávamos o circuito de teste, e apurávamos o que estava acontecendo, caso houvesse um erro como na Figura 10, elaborávamos hipóteses do que poderia estar errado, ou, o que poderia estar ocasionando a falha do funcionamento, desde a má soldagem dos componentes como aponta a Figura 6, onde é possível ver um dos membros do grupo verificando a mesma, até defeitos nos componentes em si. Após esses fatos, executávamos as medições com o multímetro para fins de medir a passagem de energia pelo circuito, buscávamos também ver fisicamente sinais que poderiam indicar a queima de componentes, como demonstra a Figura 7. Logo depois de constatarmos o problema, solucionávamos, seja através da efetuação da ressoldagem como aponta a Figura 8, ou também pela substituição dos componentes, vide Figura 9.

Importante ressaltar que seguimos o método empírico, em outras palavras, definiríamos o funcionamento, montaríamos, testaríamos, e, caso não funcionasse, desenvolveríamos possíveis hipóteses de o porquê não estar funcionando. Tal método é arriscado, uma vez que se acaso houvesse feito a conexão errada dos componentes, teríamos, e tivemos, a perda do material ou dos componentes afetados, o que ocasionou problemas financeiros ao grupo.

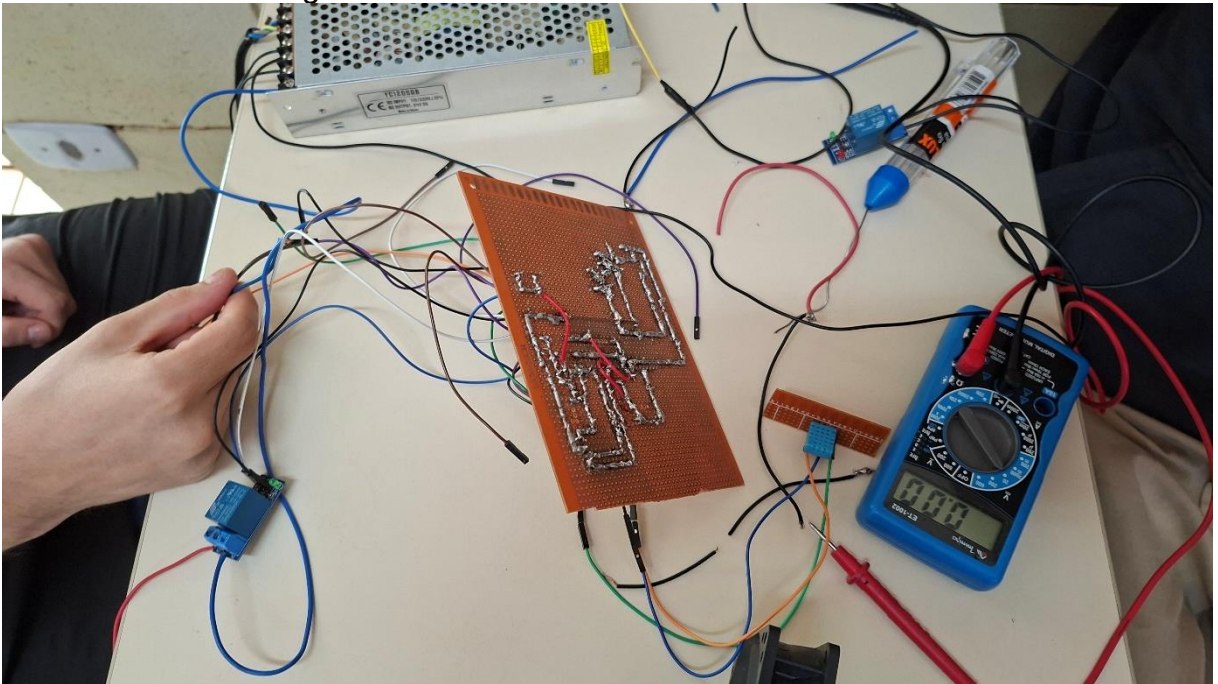
Como apontado no tópico de recomendações, não recomendamos a utilização de tal método, uma vez que obtivemos maus resultados por sua utilização, fator esse que ocasionou na má execução das metas de construção do projeto, portanto não utilizem do método empírico de teste apresentado anteriormente.

Figura 6 - Análise de placa mau soldada



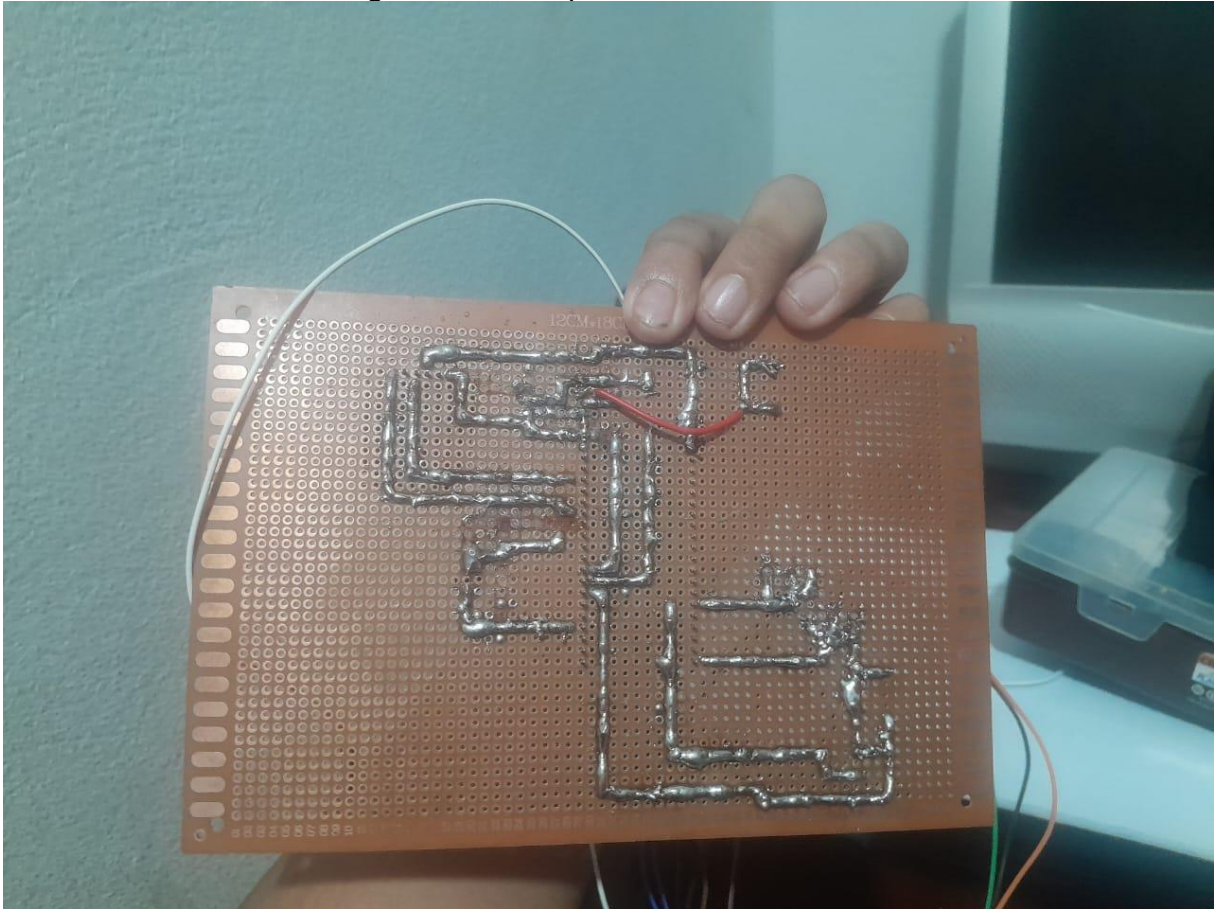
Fonte: Autorial própria.

Figura 7 - Análise dos dados com o multímetro



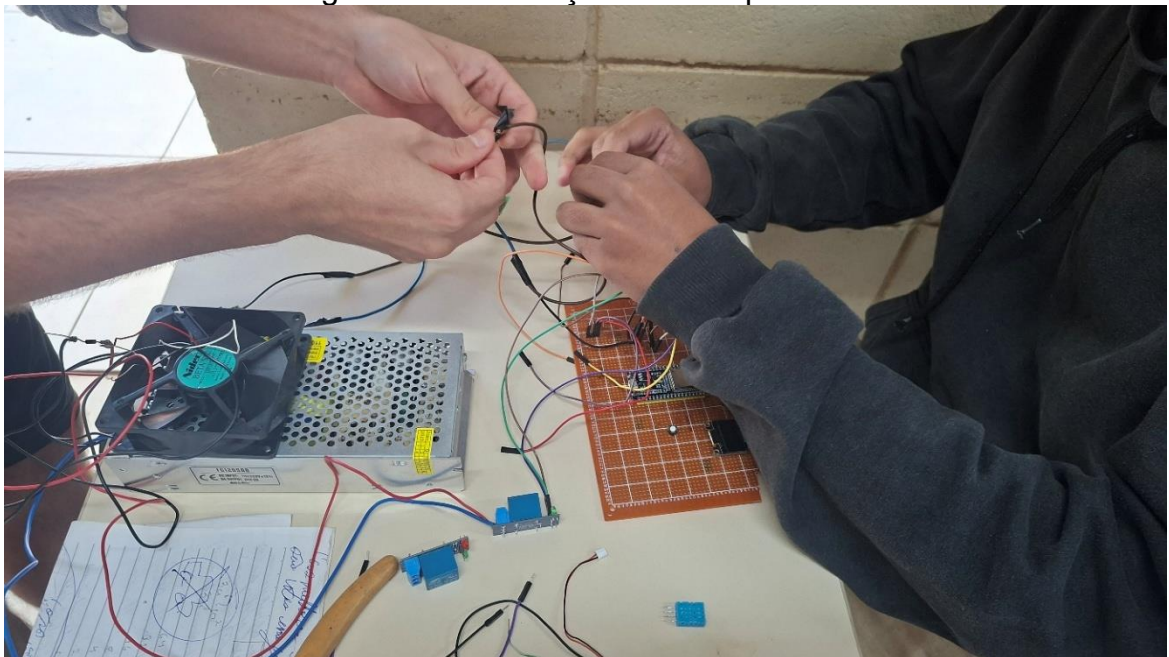
Fonte: Autorial própria.

Figura 8 - Exemplo de solda funcional



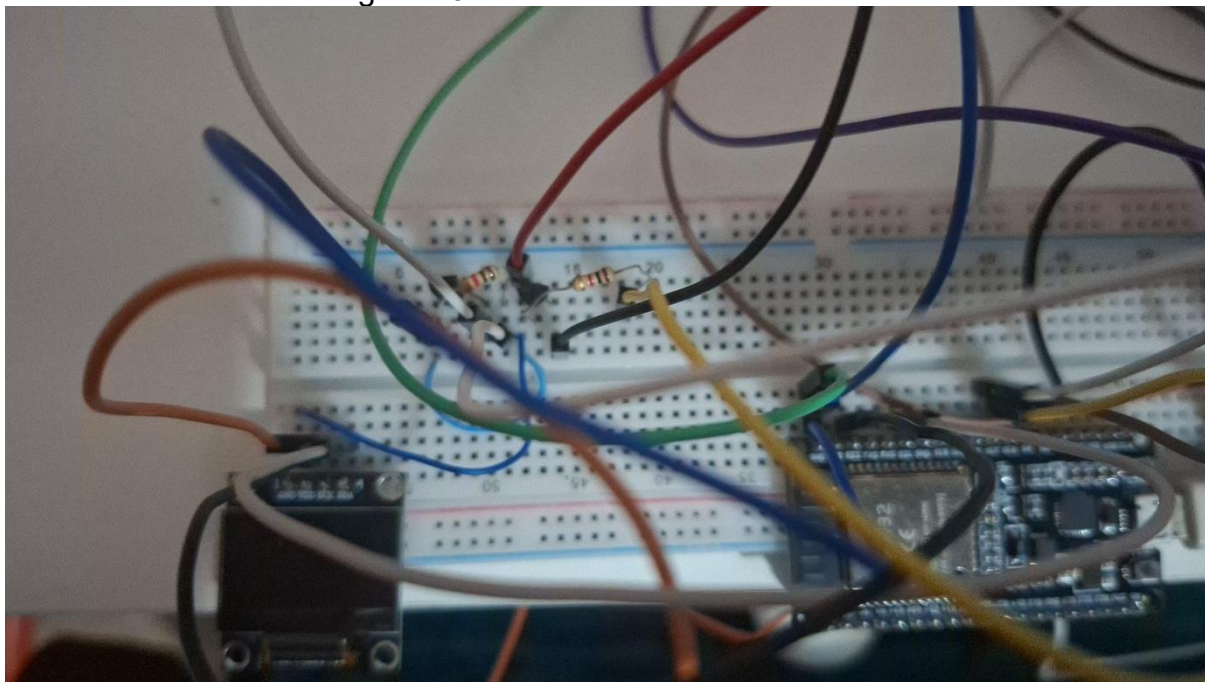
Fonte: Autoria própria.

Figura 9 - Substituição dos componentes



Fonte: Autoria própria.

Figura 10 - Teste eletrônico de controle



Fonte: Autoria própria.

### 2.8.1 EXECUÇÃO DOS TESTES

A execução dos testes do Módulo de Estufa Residencial ocorreu de forma progressiva, seguindo uma sequência estruturada para garantir a verificação segura e eficiente do sistema. Inicialmente, foram realizados testes de software no simulador Wokwi, permitindo identificar erros de programação, falhas lógicas e comportamentos inadequados do controlador PID antes de aplicar o código ao hardware físico.

Em seguida, executaram-se testes de continuidade elétrica com o uso de multímetro, a fim de conferir a integridade das soldas, a polaridade dos componentes, a ausência de curtos-circuitos e o correto encaminhamento das trilhas na placa perfurada. Durante essa etapa, foram realizadas correções em soldas defeituosas e substituições de componentes danificados.

Na fase seguinte, os testes concentraram-se na verificação individual de cada componente do sistema.

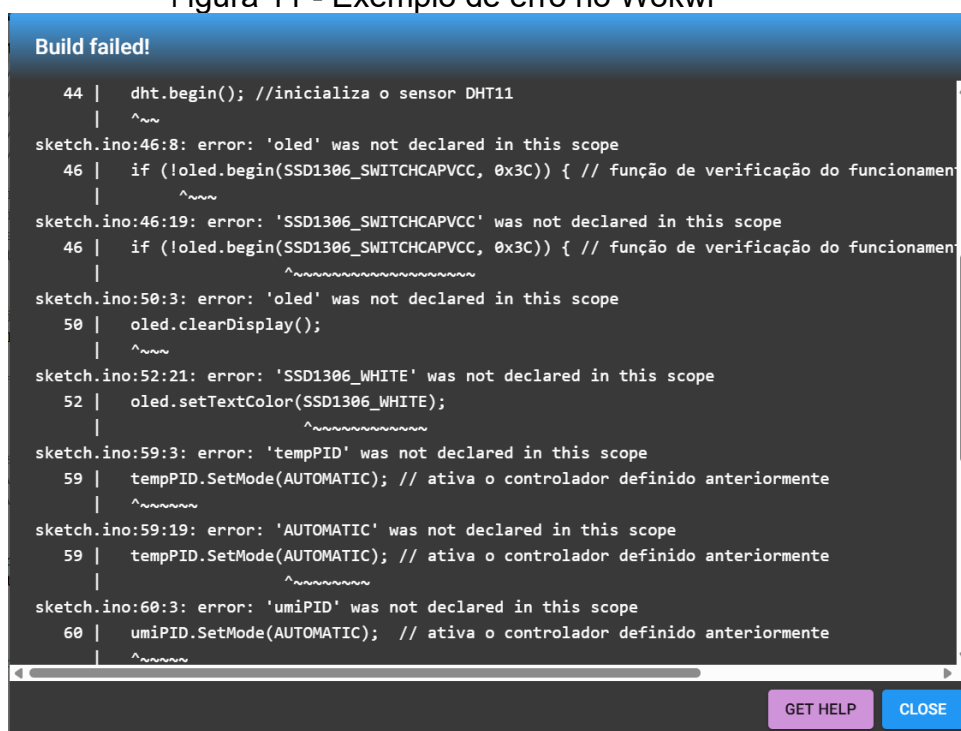
O sensor DHT11 teve suas leituras avaliadas quanto à estabilidade e precisão; as ventoinhas foram testadas com diferentes ciclos de PWM; o nebulizador teve seu acionamento e consumo elétrico verificados; e o display OLED foi testado quanto à comunicação e atualização de informações. Por fim, foi conduzido o teste integrado do conjunto, combinando sensores, atuadores e lógica de controle.

## 2.8.2 COLETA DE DADOS DOS TESTES

A coleta dos dados de testes foi dividida individualmente e em conjunto. Na programação se deu pelos avisos do software Wokwi, que quando executado um programa com erro, ele aponta onde está o erro, como aponta a Figura 11, fato esse que nos possibilitou a finalização da programação.

A coleta dos dados de testes das ligações eletrônica se deu pela análise de continuidade com o multímetro, como demonstra a Figura 12. Testamos os outros componentes individualmente ligando cada um de uma vez e analisando seu funcionamento e comportamento junto também a programação dos mesmos. Testes também foram feitos quanto ao isopor utilizado, como fixação dos mesmos e análises para testar a compatibilidade estrutural para a implementação dos componentes, utilizando-se da montagem física e analisando o comportamento do mesmo por um longo período. A próxima fase consistiu na avaliação da qualidade das soldas e no teste individual de funcionamento dos elementos do circuito como ventoinhas, sensor DHT11, nebulizador e display OLED. Essa divisão permitiu diagnosticar isoladamente as causas de eventuais falhas, reduzindo o risco de interpretar incorretamente problemas de componentes como falhas sistêmicas. A execução dos testes demonstrou a funcionalidade do circuito de controle, embora tenha evidenciado limitações decorrentes do uso de um método empírico de tentativa e erro.

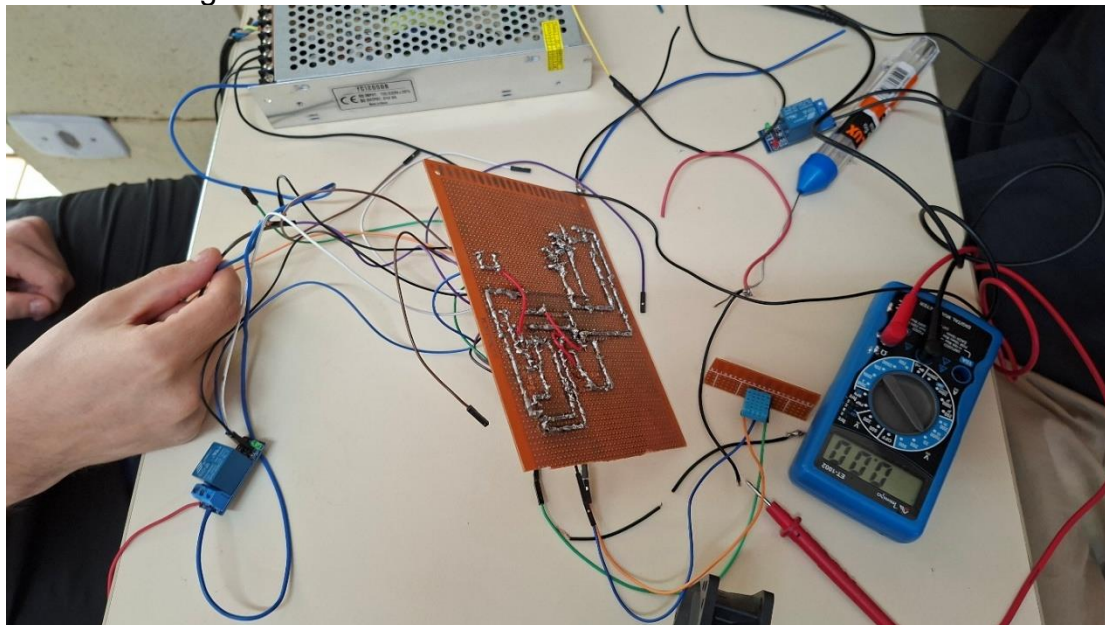
Figura 11 - Exemplo de erro no Wokwi



```
Build failed!  
  
44 | dht.begin(); //inicializa o sensor DHT11  
   | ^^^  
sketch.ino:46:8: error: 'oled' was not declared in this scope  
46 | if (!oled.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) { // função de verificação do funcionamen  
   | ^^^  
sketch.ino:46:19: error: 'SSD1306_SWITCHCAPVCC' was not declared in this scope  
46 | if (!oled.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) { // função de verificação do funcionamen  
   | ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^  
sketch.ino:50:3: error: 'oled' was not declared in this scope  
50 | oled.clearDisplay();  
   | ^^^  
sketch.ino:52:21: error: 'SSD1306_WHITE' was not declared in this scope  
52 | oled.setTextColor(SSD1306_WHITE);  
   | ^^^^^^^^^^^^^^^^^  
sketch.ino:59:3: error: 'tempPID' was not declared in this scope  
59 | tempPID.SetMode(AUTOMATIC); // ativa o controlador definido anteriormente  
   | ^^^  
sketch.ino:59:19: error: 'AUTOMATIC' was not declared in this scope  
59 | tempPID.SetMode(AUTOMATIC); // ativa o controlador definido anteriormente  
   | ^^^^^^^^^^^^^  
sketch.ino:60:3: error: 'umiPID' was not declared in this scope  
60 | umiPID.SetMode(AUTOMATIC); // ativa o controlador definido anteriormente  
   | ^^^  
  
GET HELP CLOSE
```

Fonte: Autoria própria.

Figura 12 - Análise dos dados com o multímetro



Fonte: Autoria própria.

### 2.8.3 ANÁLISE DOS DADOS DOS TESTES

Com base nas notificações do *software* Wokwi, fizemos as correções na programação, uma vez que a mesma possuía muitos erros, os quais não permitiam com que ela funcionasse corretamente. Já referente a parte eletrônica os principais fatores de mudança foram a condição das soldas, o funcionamento individual dos componentes e a integração de todos os componentes no circuito de controle.

No entanto não é certo afirmar que o MER está completo e funcional, o que é certo afirmar é que o circuito de controle das ventoinhas e do sensor atomizador está funcionando, e, faltando somente os testes com o circuito de controle já alocado a estufa, testes esses buscaram abordar o funcionamento pleno do projeto.

### 2.9 MELHORIAS

A construção do MER que é o cérebro da nossa estufa, possuindo os componentes citados no tópico de recursos necessários tais como o microcontrolador ESP032 e o sensor de temperatura e umidade DHT11, foram inicialmente feitas em uma placa de testes denominada protoboard como mostra a Figura 13, pois ela permite realizar e fazer alterações nas ligações eletrônicas de forma fácil e eficiente, por meio de fios denominados jumpers, perfeita para a fase de testes. No entanto não

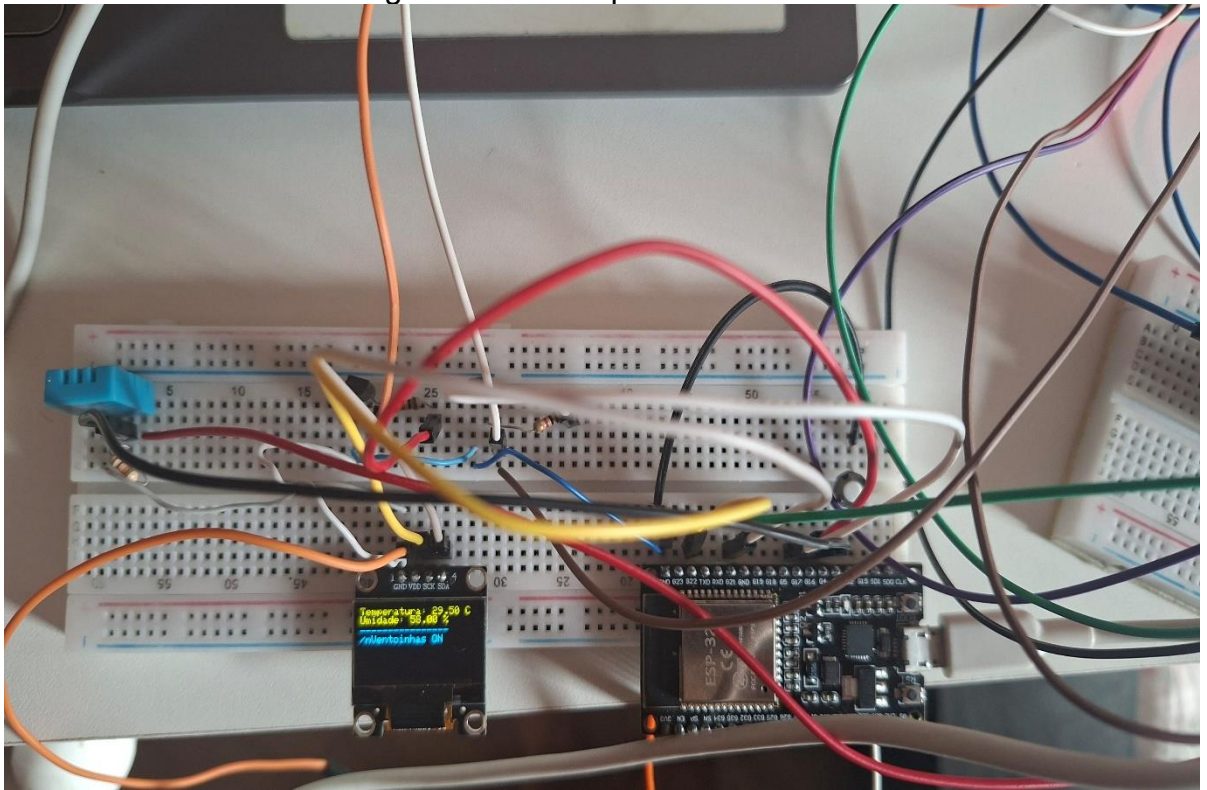
deveria ficar nela para o protótipo final, uma vez que apresentava muitos fios expostos e o fato de os componentes não ficarem 100% fixados a placa. Para resolver esse problema fizemos a transferência do circuito para uma placa perfurada como demonstra a Figura 14, placa essa que nos permitiu a soldagem dos componentes e por meio de trilhas que foram feitas pelo grupo possibilitou a conexão melhorada dos componentes eletrônicos como aponta a Figura 15. Essa alteração melhorou o protótipo visualmente e permitiu com que alocássemos o protótipo do MER, melhor na estrutura física da estufa.

Porém ao finalizarmos as conexões na placa perfurada, observamos, como citado no tópico de protocolo de testes, que havia inconsistência na passagem da corrente pelo circuito eletrônico, inconsistência essa que foi ocasionada pela má qualidade da soldagem feita. A solução desse problema não foi outro senão refazer as trilhas e testar novamente as conexões eletrônicas, utilizando da ferramenta chamada multímetro, citada no tópico de recursos necessários.

Inicialmente a estufa tinha sua estrutura idealizada em 100cm de comprimento por 40cm de largura e 65cm de altura, sendo construída de forma a comportar 4 coguboxes, que como dito no tópico de referencial teórico, é o substrato para o cultivo do fungo já com a incubação do mesmo. Porém, após a construção de uma maquete previa, constatou-se que as dimensões da estufa eram maiores do que o esperado, dificultando seu transporte, e, posteriormente, o seu tamanho foi diminuído de modo a comportar 3 coguboxes, com as dimensões de 65cm de comprimento por 40cm de largura por 40cm de altura. Fato esse que ainda assim nos permitiu demonstrar as características de controle das variáveis de temperatura e umidade para o cultivo do cogumelo Shimeji branco, e, facilitando o transporte da mesma.

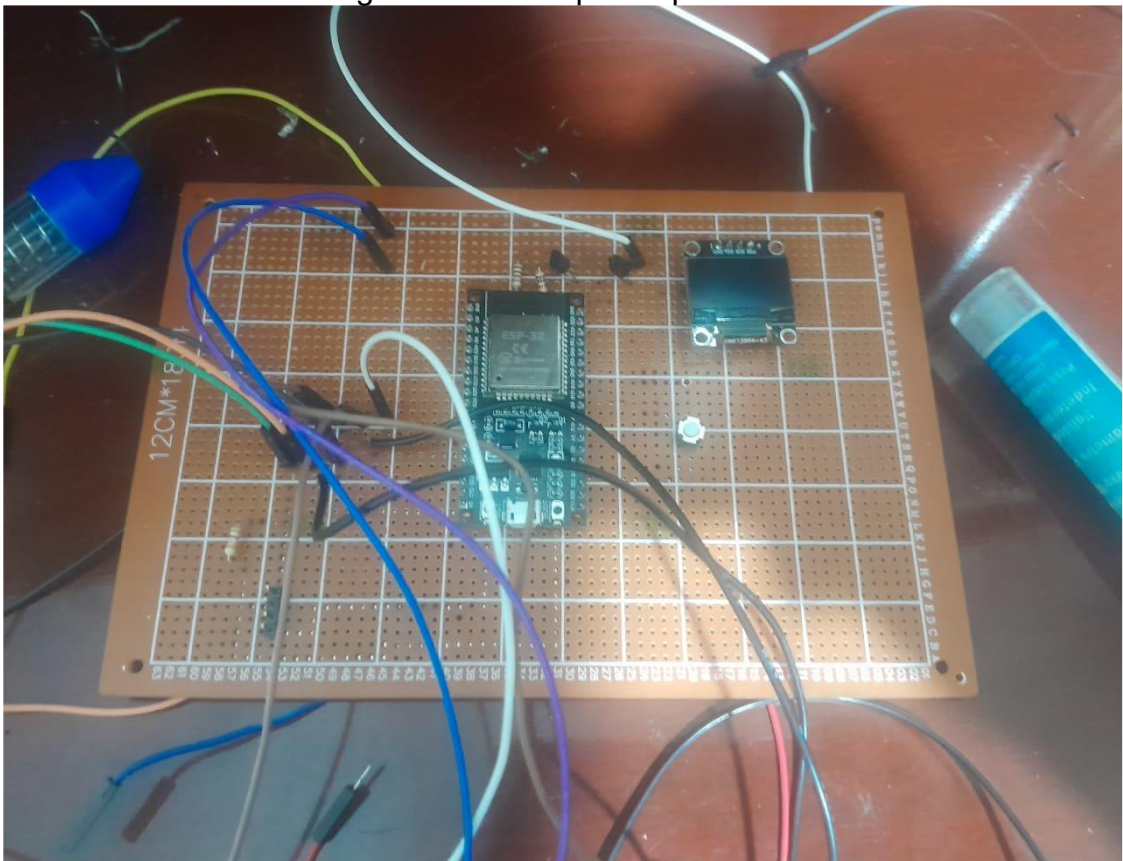
Outro fator determinante, como será ressaltado posteriormente, é o término da construção do projeto, através da alocação do circuito de controle na estrutura da estufa, que não está finalizada e não possui o circuito de controle alocado a ela. Também almejamos a otimização do sistema de umidificação, uma vez que o mesmo depende da reposição manual de água, o que tira parte de sua autonomia quanto a manutenção das variáveis de temperatura e umidade.

Figura 13 - Teste protoboard



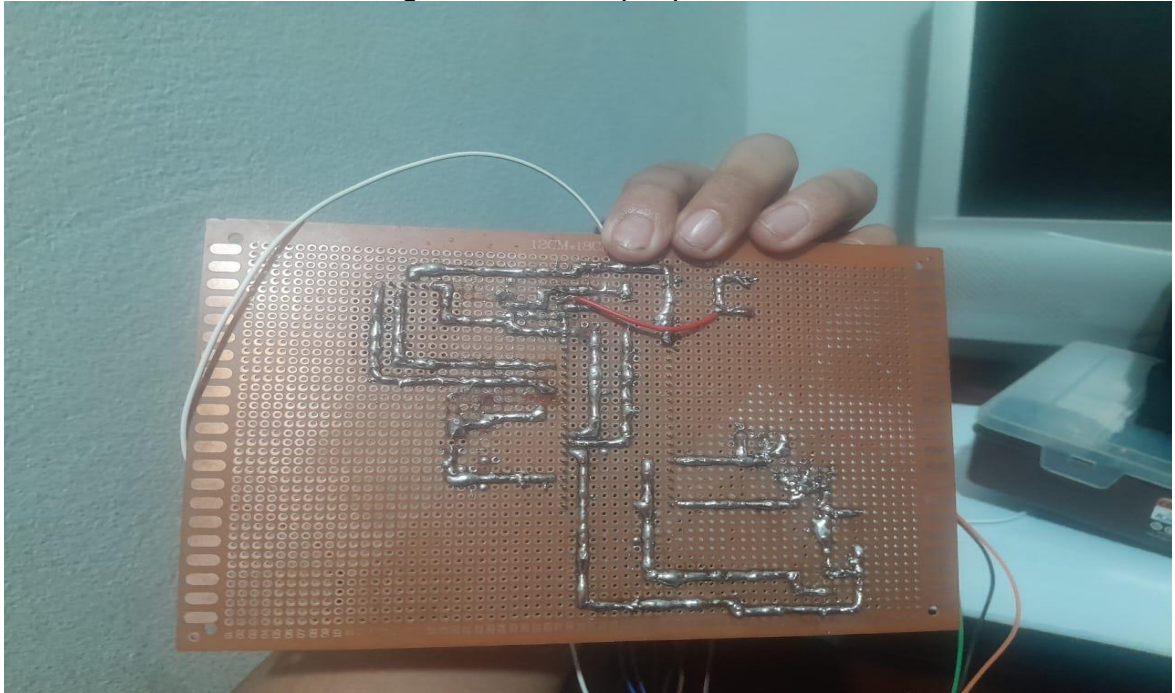
Fonte: Autoria própria.

Figura 14 - Exemplo de placa



Fonte: Autoria própria.

Figura 15 - Exemplo placa



Fonte: Autoria própria.

## 2.10 ASPECTOS POSITIVOS

Dos aspectos positivos até então, podemos apontar 3 que são: primeiro, a simplicidade do projeto, o que possibilitaria futuramente uma reconstrução funcional plena, uma vez que o mesmo já possui todos os componentes eletrônicos necessários para o controle das variáveis de temperatura e umidade. Segundo a constatação do funcionamento do circuito de controle que, embora não alocado a estufa, se mostrou funcional e de certa forma atendeu as nossas expectativas como será abordado no tópico de considerações finais. E por último a sua importância acadêmica, uma vez que o mesmo foi pensado para embasar futuros projetos na área ao qual está inserido, podendo ser aprimorado e revisitado para fins de consulta sobre o que fazer e sobre o que não fazer quanto a construção de sistemas de controle para estufas residenciais.

## 2.11 RISCOS

Este tópico analisa os riscos inerentes ao projeto que podem atrasar seu desenvolvimento. A gestão dos riscos é fundamental para garantir que o projeto alcance seu objetivo, executando o controle adequado das variáveis e assegurando o cultivo do cogumelo shimeji branco.

Na Figura 16 serão descritos os principais riscos potenciais identificados no projeto, classificados de acordo com sua gravidade (alta, média ou baixa), contendo também as causas prováveis, a probabilidade de ocorrência, o impacto sobre o projeto, as medidas de mitigação, os planos de contingência, as ferramentas de controle e os responsáveis pelo monitoramento.

Figura 16 - Tabela de Riscos

ID	Risco Potencial	Classificação (Gravidade)	Causas Prováveis	Probabilidade	Impacto	Estratégias de Prevenção	Medidas de Mitigação	Plano de Contingência	Responsável pelo Monitoramento	Ferramentas de Controle
R1	Ventoinhas queimarem ou quebrarem	Médio	Superaquecimento, descuido, ligações erradas	Baixa	Falha na ventilação da estufa	Checar ligações com multímetro e corrente/voltagem	Troca imediata da ventoinha	Substituição por novas	Wellington	Multímetro, inspeção visual
R2	ESP32 queimar	Alto	Regulagem errada de tensão, inversão de polos, curto circuito	Alta	Sistema deixa de funcionar (cérebro da estufa)	Verificar ligações com multímetro e conferir regulagem de tensão	Substituir o componente	Troca por novo ESP32	Wellington	Multímetro, teste de alimentação
R3	Sensor DHT11 queimar	Alto	Ligações erradas, falta de resistor entre VCC e IN	Alta	Impossibilidade de medir variáveis do ambiente	Adicionar resistor corretamente e revisar conexões	Substituir sensor queimado	Trocar por novo DHT11	Wellington	Multímetro, esquema de ligação
R4	Display OLED danificar	Médio	Queda, impacto, ligação errada	Média	Dificuldade de visualização das variáveis	Manusear com cuidado, evitar quedas	Trocar o display	Substituir por novo OLED	Wellington	Inspeção visual
R5	Nebulizador ultrassônico queimar	Alto	Inversão de polos, regulagem errada, falta de água	Alta	Impossibilidade de umidificação do ar	Verificar polaridade e garantir presença de água	Trocar o nebulizador	Substituição imediata por novo	Wellington	Multímetro, teste de alimentação
R6	Estrutura de isopor quebrar	Médio	Impactos, mau manuseio	Média	Contaminação do ar e risco à integridade da estufa	Cautela no transporte e reforço estrutural	Vedação imediata com espuma expansiva	Substituir partes danificadas	Lucas	Inspeção visual

Fonte: Autoria própria.

## 2.12 DIFERENCIAIS

O protótipo possui um consumo de aproximadamente 3,5kWh/mês, o que resulta em um custo mensal inferior a R\$ 2,55, tornando o projeto econômico ecológico. Paralelo a esse fator, para os produtores que pretendem realizar o cultivo caseiro de cogumelos, permitiu o nosso projeto a criação de um norte para aqueles que almejam o cultivo de fungos em ambiente residencial de forma automatizada, e, simples; O foco total no controle das variáveis de temperatura e umidade, diferencia o nosso projeto de outros, que buscam controlar variáveis como luz e ph, o que é dispensável para o cultivo do cogumelo dentro da estufa.

Outros fatores que diferenciam o nosso projeto dos demais é a diferença tecnológica, uma vez que apresenta uma interface home-máquina composta por um OLED I2C acionado por um botão, o que permite a visualização das variáveis em tempo real de forma simples e intuitiva, permitindo que o usuário as monitore sem a necessidade de um conhecimento técnico aprofundado sobre o funcionamento do

sistema eletrônico de controle. E, ele pode ser utilizado como alternativa de aprendizado, uma vez que a demonstração do cultivo do cogumelo, suas fases e das condições climáticas necessárias para tal, o que permite assim ao usuário o aprofundamento de seus conhecimentos sobre o cultivo de cogumelos.

## **2.13 RECOMENDAÇÕES**

Como apontado no tópico de cronograma, quanto a elaboração da construção de projetos, recomendamos a elaboração de metas claras, uma vez que se não houver a definição clara das metas, como nos ocorreu, o trabalho de construção não sairá como esperado e o projeto não será concluído.

Também recomendamos a cobrança constante do líder do grupo, de forma que ele possa motivar os membros a realizar suas tarefas. E por último recomendamos um melhor aprofundamento bibliográfico para a parte da programação apontado no tópico de referencial teórico, buscando aprimorar o que foi dito e esclarecer os conceitos apresentados quanto a parte da programação do controlador PID utilizado.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto não funciona 100%, uma vez que não houve a realização dos testes necessários para tal constatação, não atingimos os objetivos específicos 1,2,4 e 5, uma vez que não terminamos a alocação do circuito de controle a estrutura de estufa, fato esse que nos impossibilitou a realização do teste de funcionamento completo, porém, acreditamos ter atingido os objetivos específicos 3,6 e 7, uma vez que os mesmos foram atestados pelos testes do circuito de controle como apontado no tópico de execução do protocolo de testes.

Já sobre o cultivo não é certo afirmar que conseguimos realizar tal, porquanto até a presente data de finalização da escrita desta monografia, 28 de outubro de 2025, não finalizamos a alocação dos componentes na estrutura física da estufa, e não fizemos os testes de cultivo. Porquanto como já citado acreditamos ter conseguido a realização somente da programação do sistema de controle do MER e da parte eletrônica de controle que foi utilizada, sendo esses fatores o mínimo esperado.

Após a data de 29 de outubro de 2025, fizemos a alocação dos componentes na estrutura física da estufa e constatamos que seu funcionamento teve sucesso, porém ainda não fizemos a criação do app juntamente com o controle *Bluetooth*. Sendo assim, agora é certo afirmar que atendemos os objetivos específicos 1, 3, 4, 5, 6, 7. Sendo assim nos demos por satisfeitos com seu funcionamento, que se demonstrou funcional para cultivo. Quanto a segurança da estufa fizemos novas constatações de segurança uma vez que agora tínhamos finalizado os objetivos relacionados a construção da estufa, constatou-se que havia falhas nas vedações relacionadas as ventoinhas, fator esse que será solucionado em trabalhos futuros como apontado no tópico de trabalhos futuros.

#### 3.1 TRABALHOS FUTUROS

Como trabalho futuro pretendemos realizar a implementação da comunicação *Bluetooth*, implementação essa que não foi possível pela falta de referencial teórico para o embasamento da criação do mesmo. Também almejamos o reforço das medidas de segurança, como a vedação das ventoinhas, uma vez que identificamos erros que poderiam ocasionar em acidentes como a contaminação do ambiente residencial.

## REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 10067:1995 – *Princípios gerais de representação em desenho técnico*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1995.

ABNT. NBR 5410:2004 – *Instalações elétricas de baixa tensão*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.

ABNT. NBR ISO 128-20:2019 – *Linhas em desenho técnico*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019.

ADAFruit. *SSD1306 128x64 OLED Graphic Display*. 2020. Disponível em: <<https://www.adafruit.com/product/326>>. Acesso em: 12 out. 2025. AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA (citada em RSD Journal, 2022).

ANJOS, J. *Quanto ganha a classe média no Brasil?* 2024. Disponível em: <<https://investidor.estadao.com.br/radar-investidor/quanto-ganha-a-classe-media-no-brasil/>>. Acesso em: 19 out. 2025.

ARDUINO. *Arduino PID Library*. 2021. Disponível em: <<https://github.com/br3ttb/Arduino-PID-Library>>. Acesso em: twelve out. 2025. ASTRÖM, K. J.; HÄGGLUND, T. *PID Controllers: Theory, Design, and Tuning*. 2. ed. Research Triangle Park: Instrument Society of America, 2006.

BOLIGNANI, E.; LUCCA FILHO, J. de. *Integração de Tecnologias de Automação na Agricultura: desafios e oportunidades*. *Revista Interface Tecnológica*, v. 21, n. 2, 2024.

CHANG, S. T.; MILES, P. G. *Mushrooms: Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect, and Environmental Impact*. CRC Press, 2004.

DREWINSKI, M. P. et al. *Cogumelos comestíveis do Brasil: diversidade e viabilidade*. 2025. Disponível em: <[https://smastr16.blob.core.windows.net/pgibt/sites/242/2025/03/mariana\\_de\\_paula\\_drewinski\\_dr.pdf](https://smastr16.blob.core.windows.net/pgibt/sites/242/2025/03/mariana_de_paula_drewinski_dr.pdf)>. Acesso em: 12 out. 2025.

ESPRESSIF SYSTEMS. *ESP32 Series Datasheet*. 2020. Disponível em: <[https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)>. Acesso em: 13 out. 2025.

FURLANI, R. P. Z. et al. *Valor nutricional de cogumelos comestíveis*. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cta/>>.

GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. *Manual de Boas Práticas Laboratoriais*. São Paulo, 2022.

KALÁČ, P. *Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: A review*. *Food Chemistry*, v. 140, n. 3, p. 205-216, 2013.

KALATEC AUTOMAÇÃO. *Controle PID em servomotores: saiba o que é e qual a importância*. 2025. Disponível em: <<https://blog.kalatec.com.br/controle-pid/>>. Acesso em: 19 out. 2025.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. *Fundamentos de Metodologia Científica*. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

LEMONS, C. R. *Desenho Técnico Aplicado à Engenharia*. São Paulo: Érica, 2020.

MICHELON, S. *Estufa para cogumelos: guia completo*. 2018. Disponível em: <<https://micelioon.com/blog/pleurotus-ostreatus-oyster-mushroom-shimeji/>>. Acesso em: 30 out. 2025.

MOREIRA, A. R. et al. *Automação e controle de processos agropecuários: uma revisão*. *Revista Engenharia Agrícola*, v. 42, n. 3, p. 1-15, 2022.

MUXITO, A. et al. *IoT Applications in Precision Agriculture*. *Journal of Smart Farming*, 2020.

NASCIMENTO, M. C.; SOUZA, R. L.; OLIVEIRA, D. P. *Análise da produção e consumo de cogumelos no Brasil: desafios e perspectivas*. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 17, n. 2, p. 123-134, 2022.

NEVES, S. das; VICECONTI, P. E. V. *Contabilidade avançada e análise das demonstrações financeiras*. 9. ed. São Paulo: Frase, 1999. Disponível em: <<https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/123456789/945/2/20401506.pdf>>. Acesso em: twenty-nine out. 2025.

NISE, N. S. *Control Systems Engineering*. 7th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015.

OGATA, K. *Modern Control Engineering*. 5th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010.

PMI – PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. *Guia PMBOK*. 7. ed. 2021.

REIS, J. C. C. (apud BORBA, J. C. et al.). *Automação e sustentabilidade em estufas agrícolas*. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 2022.

ROYSE, D. J.; BAARS, J.; TAN, Q. *Current overview of mushroom production in the world*. In: *Edible and Medicinal Mushrooms*. John Wiley & Sons, 2017.

RSD JOURNAL. *Cogumelos comestíveis no Brasil: uma revisão bibliográfica*. 2022. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/rsd/article/download/30830/26469/352942>>.

- SANTIAGO, T. A.; SILVA, J. P. S.; SAAD, S. M. I. *Consumo e percepção do consumidor sobre cogumelos no Brasil. Food Science and Technology*, v. 40, n. 1, p. 75-83, 2020.
- SAVENHAGO, I. *Consumo impulsiona mercado de cogumelos*. 2025. Disponível em: <<https://agro.estadao.com.br/tudo-sobre-agrosp/consumo-impulsiona-mercado-de-cogumelos>>. Acesso em: 19 out. 2025.
- SENSIRION. *DHT11 Sensor Datasheet*. 2017. Disponível em: <<https://sensirion.com/products/catalog/DHT11>>. Acesso em: 12 out. 2025.
- SILVA, M. *Pesquisa qualitativa. Significados*, 2022. Disponível em: <<https://www.significados.com.br/tipos-de-pesquisa/>>. Acesso em: 19 out. 2025.
- SILVA, M. P. *Cultivo de cogumelos Shimeji: aspectos técnicos. Revista Ciência Agrícola*, v. 48, n. 2, p. 32-40, 2023.
- WASSER, S. P. *Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides. Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 64, n. 4, p. 353-361, 2014.
- ZHANG, L. et al. *Ultrasonic nebulizers for humidification: Principles and applications. Journal of Agricultural Engineering*, v. 50, n. 1, p. 74-82, 2019.
- ZIED, D. C.; PARDO-GIMÉNEZ, A.; PAGÁN, J. *Mushroom production and the role of fungi in food sustainability. International Journal of Food Science*, 2017, Article ID 8437614.