



Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
Engenharia de Controle e Automação



Leandro Rodrigues Goularte

ESTUFA AUTOMATIZADA PARA CONTROLE DE TEMPERATURA E MONITORAMENTO MULTIVARIÁVEL

Ouro Preto, 2026

Leandro Rodrigues Goularte

ESTUFA AUTOMATIZADA PARA CONTROLE DE TEMPERATURA E MONITORAMENTO MULTIVARIÁVEL

Trabalho apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro(a) de Controle e Automação.

Orientador: Profa. Adrielle de Carvalho Santana

Ouro Preto
2026



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CONTROLE E
AUTOMACAO



FOLHA DE APROVAÇÃO

Leandro Rodrigues Goularte

Estufa Automatizada para Controle de Temperatura e Monitoramento Multivariável

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação

Aprovada em 29 de julho de 2026

Membros da banca

Dra. Adrielle de Carvalho Santana - Orientadora - DECAT - Universidade Federal de Ouro Preto
Me. João Carlos Vilela de Castro - Convidado - DECAT - Universidade Federal de Ouro Preto
Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro - Convidado - DECAT - Universidade Federal de Ouro Preto

Adrielle de Carvalho Santana, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 30/07/2026



Documento assinado eletronicamente por **Adrielle de Carvalho Santana, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 30/07/2026, às 10:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1148828** e o código CRC **C05CC304**.

Resumo

As estufas desempenham um papel crucial na otimização das condições de crescimento das plantas, proporcionando um ambiente controlado que favorece o desenvolvimento saudável e vigoroso, especialmente em regiões onde as condições climáticas e do solo não são favoráveis ao cultivo. Nesse contexto, o controle da temperatura, da umidade, da irrigação e da luminosidade torna-se fundamental para garantir um microambiente adequado ao desenvolvimento das plantas. Este trabalho tem como objetivo central o desenvolvimento de uma estufa automatizada utilizando materiais acessíveis, para criar um microambiente propício ao cultivo saudável de plantas. O projeto contempla a construção de um protótipo da estufa, o monitoramento e controle das variáveis de temperatura, umidade e luminosidade, bem como a realização de experimentos práticos comparativos entre plantas cultivadas dentro e fora da estufa. Ao final do período experimental de 20 dias, a planta cultivada no interior da estufa apresentou crescimento aproximadamente 28% superior em relação à planta mantida em ambiente externo, evidenciando a eficiência do sistema proposto na criação de condições mais favoráveis ao desenvolvimento vegetal. Dessa forma, o estudo integra teoria e prática, contribuindo para a aplicação da automação na agricultura e para o desenvolvimento de métodos de cultivo mais eficientes e sustentáveis.

Palavras-chaves: Estufa; Automação; Agricultura; Arduino; Cultivo Protegido.

Abstract

Greenhouses play a crucial role in optimizing plant growth conditions by providing a controlled environment that promotes healthy and vigorous development, especially in regions where climatic and soil conditions are unfavorable for cultivation. In this context, controlling temperature, humidity, irrigation, and lighting is essential to ensure a suitable microenvironment for plant growth. This study aims to develop an automated greenhouse using low-cost and easily accessible materials to create favorable conditions for healthy plant cultivation. The project includes the construction of a greenhouse prototype, the monitoring and control of temperature, air humidity, soil moisture, and lighting, as well as comparative experiments between plants grown inside and outside the greenhouse. At the end of the 20-day experimental period, the plant cultivated inside the greenhouse exhibited approximately 28% greater growth than the one grown under natural environmental conditions, demonstrating the effectiveness of the proposed system in providing more favorable conditions for plant development. Therefore, this study integrates theory and practice, contributing to the application of automation in agriculture and to the development of more efficient and sustainable cultivation methods.

Key-words: Greenhouse; Automation; Agriculture; Arduino; Protected Cultivation.

Lista de figuras

Figura 1 – Placa de desenvolvimento Arduino Uno R3.	17
Figura 2 – Base em tubos PVC	20
Figura 3 – Estrutura finalizada	21
Figura 4 – Vista interna do protótipo da estufa automatizada.	22
Figura 5 – Sensor de temperatura e umidade do ar DHT11 ¹	23
Figura 6 – Sensor de umidade do solo ²	24
Figura 7 – Cooler	25
Figura 8 – Pastilha de Peltier ³	27
Figura 9 – LCD 20x4 ⁴	28
Figura 10 – Led Growth ⁵	29
Figura 11 – Mylar ⁶	29
Figura 12 – Esquema elétrico do circuito	31
Figura 13 – Fluxograma da lógica de controle implementada no Arduino.	33
Figura 14 – Comparação entre as amplitudes térmicas externa e interna durante o período experimental.	37
Figura 15 – Comparativo entre a planta cultivada na estufa (à esquerda) e a planta cultivada em ambiente externo (à direita).	40
Figura 16 – Vista superior das plantas ao final do experimento.	40
Figura 17 – Evolução da altura das plantas de salsaão durante os 20 dias de experimento.	41

Lista de tabelas

Tabela 1	–	Especificações técnicas do sensor DHT11.	24
Tabela 2	–	Especificações técnicas do sensor de umidade do solo.	25
Tabela 3	–	Especificações técnicas do cooler M802512L.	26
Tabela 4	–	Pastilha termoelétrica TEC1-12706.	27
Tabela 5	–	Amplitude térmica durante o período experimental.	36
Tabela 6	–	Comparação da altura das plantas de salsa cultivadas na estufa e em ambiente externo durante o período experimental.	41
Tabela 7	–	Resumo comparativo do desenvolvimento das plantas durante o período experimental.	42

Sumário

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Justificativas e Relevância	9
1.2	Objetivos	11
1.2.1	Objetivo Geral	11
1.2.2	Objetivos Específicos	11
1.3	Organização e estrutura	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	Agricultura	13
2.2	Cultivo Protegido	14
2.3	Trabalhos relacionados	14
2.4	Dispositivos e materiais para monitoramento e controle	16
2.4.1	Controladores e microcontroladores	16
2.4.2	Sensores	17
2.4.2.1	Sensor de temperatura e umidade	17
2.4.2.2	Sensor de umidade do solo	17
2.4.3	Atuadores	18
2.4.3.1	Coolers	18
2.4.3.2	Pastilha de Peltier	18
3	DESENVOLVIMENTO	19
3.1	Estrutura	19
3.2	Sensores e Atuadores	22
3.2.1	Sensores	22
3.2.2	Atuadores	25
3.3	Interface e Elementos Auxiliares	27
3.4	Integração	30
3.5	Lógica de controle	31
3.6	Procedimentos Experimentais	34
4	RESULTADO E DISCUSSÕES	35
4.1	Desempenho dos Sensores	35
4.2	Desempenho dos Atuadores	38
4.3	Comparativo	39
4.4	Considerações Finais	41

5	CONCLUSÃO	43
	Referências	45
	APÊNDICES	48
	APÊNDICE A – CÓDIGO-FONTE DO ARDUINO	49
	ANEXOS	53
	ANEXO A – DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTI- FICIAL	54

1 Introdução

Neste capítulo são apresentados o contexto da pesquisa, a motivação para o desenvolvimento do trabalho, a justificativa, os objetivos e a organização do documento, proporcionando uma visão geral da proposta de desenvolvimento de um sistema automatizado para o monitoramento e controle de estufas de pequeno porte.

1.1 Justificativas e Relevância

Desde o início da prática da agricultura existe um desejo de controlar as condições e eventos climáticos, para assim, conseguir uma produção mais eficaz. Com o avanço do aquecimento global e a ocorrência de eventos climáticos como o El Niño ([PINTO et al., 2010](#)), a necessidade de se ter um microclima ideal para o cultivo de alimentos tem se tornado um grande desafio.

Um estudo da Organização das Nações Unidas para a alimentação e agricultura revela que, em média, a agricultura absorve 22% do impacto econômico total causado por desastres naturais em países em desenvolvimento. No entanto, apenas 4% da ajuda humanitária é direcionada à agricultura após tais eventos. Em situações de seca, o setor agrícola pode absorver até 84% dos impactos econômicos. As perdas avaliadas mostram que 42% ocorrem na lavoura, com inundações responsáveis por 60% dos danos e tempestades por 23% ([RIBEIRO, 2016](#)).

Estufas agrícolas são construções destinadas a resguardar as plantas contra influências externas ([SILVA et al., 2023](#)). Com o auxílio da tecnologia, estas estufas podem ajustar diversos parâmetros como por exemplo temperatura, umidade do ambiente e do solo, luminosidade, nutrientes do solo, concentração de CO₂, entre vários outros fatores, o que auxilia o crescimento saudável da planta e evita pragas e doenças.

A pesquisa conduzida por [Aznar-Sánchez et al. \(2020\)](#) apresenta uma análise abrangente do progresso na Tecnologia de Estufa (TE) ao longo do período de 1999 a 2018. O estudo avaliou diversos indicadores, incluindo o número de artigos publicados, autores envolvidos, periódicos de publicação, participação de países, total de citações e média de citações por artigo. Notavelmente, essas variáveis mostraram um crescimento constante ao longo dos anos, com um aumento significativo nos últimos anos. Em 1999, apenas onze artigos abordavam TE, contrastando com os 67 artigos publicados em 2018 .

O emprego de uma estufa automatizada desempenha um papel crucial na maximização do cultivo ([SILVA et al., 2023](#)), uma vez que a intervenção humana é reduzida ao mínimo. Isso assegura que o ambiente dentro da estufa seja ajustado de maneira

precisa, atendendo rigorosamente às condições essenciais para o ótimo desenvolvimento da plantação. Além disso [Sirio \(2022\)](#) afirma os benefícios de controlar o microclima:

Diante da possibilidade de se controlar todo o microclima da estufa de forma automática, torna-se viável cultivar diversas espécies, independente do clima da região onde ela está inserida e sem necessidade de conhecimento extremamente aprofundado de quem está realizando as plantações. Ademais, a ausência de agrotóxicos durante o plantio faz com que o cultivo seja sustentável, não degradando o meio ambiente, nem contaminando lençóis freáticos. Em consequência, é gerado um produto final mais saudável para consumo, além de mais benéfico para o ambiente.

Já no trabalho de [Fonseca, Custódio e Franca \(2020\)](#) é dito que

O plantio em estufa oferece várias vantagens quando comparado aos sistemas tradicionais abertos. Menor consumo de recursos (sejam eles humanos, hídricos e aditivos), menor necessidade de manejo da produção e controle das variáveis (temperatura, umidade etc.).

Estudos recentes conduzidos pela ONU indicam que a população global deverá ultrapassar nove bilhões de pessoas até o ano de 2050. A agência especializada da ONU dedicada à alimentação e agricultura, destaca a urgência do desafio futuro, que consiste em assegurar a produção de alimentos suficientes para atender a essa expressiva população ([MACEDO; JÚNIOR, 2017](#)). Dito isso, métodos de cultivo mais eficientes e menos suscetíveis a variações climáticas, como as estufas, serão cada vez mais comuns.

Em um estudo realizado por [Seleguini, Seno e Júnior \(2007\)](#), o cultivo em ambiente protegido resultou na produção de frutos com uma aparência mais atrativa para comercialização, adequados para consumo, e, adicionalmente, apresentou uma precocidade na produção em comparação com o cultivo em campo aberto, podendo ajudar economicamente na agricultura familiar.

Segundo [Zolnier \(2001\)](#) com o suporte proporcionado por estufas agrícolas, torna-se viável reduzir a necessidade de aplicação de agrotóxicos, uma vez que em um ambiente controlado, a incidência de pragas e doenças é significativamente diminuída. Essas estruturas oferecem condições favoráveis para o cultivo, permitindo um manejo mais preciso dos fatores ambientais. Dessa forma, a agricultura em estufas não apenas protege as plantas contra ameaças externas, mas também promove práticas mais sustentáveis e menos dependentes de produtos químicos, contribuindo para a preservação do meio ambiente e a produção de alimentos mais saudáveis.

Assim, torna-se interessante propor a construção de uma estufa para criar um microclima ideal de plantio, a fim de se observar o ambiente controlado e ter plantas saudáveis sem a utilização de agentes tóxicos que podem ser prejudiciais à saúde e ao meio ambiente.

Apesar de as estufas tradicionais trazerem benefícios ao produtor, muitas vezes podem causar desconforto para ele, pois é necessário realizar visitas para monitorar o ambiente e garantir a funcionalidade da mesma. Por isso, a automação se faz necessária, uma vez que pode ser usada para realizar o monitoramento e controle da temperatura, umidade, irrigação e luminosidade. Assim, maximiza-se a produtividade dentro da estufa e proporciona-se tempo para o produtor se dedicar a outras atividades. Além de reduzir erros humanos e o uso de mão de obra.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Esse estudo concentra-se no desenvolvimento de uma estufa automatizada para produzir um microambiente favorável ao plantio em busca de plantas mais saudáveis, sem a utilização de agrotóxicos e agentes que agriam a saúde e ao meio ambiente.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Projetar e construir um protótipo de estufa automatizada;
- Implementar um sistema de monitoramento e controle das variáveis de temperatura, umidade do ar, umidade do solo e luminosidade, visando manter um microambiente adequado ao desenvolvimento das plantas;
- Integrar sensores, atuadores e a plataforma de desenvolvimento Arduino para automatizar o funcionamento da estufa;
- Realizar experimentos práticos comparando o desenvolvimento de plantas cultivadas em ambiente controlado e em ambiente externo.

1.3 Organização e estrutura

A estrutura do trabalho está organizada da seguinte forma:

Capítulo 1 - Este capítulo aborda a introdução do trabalho, seus objetivos e a organização da monografia.

Capítulo 2 - Neste capítulo, são apresentados o referencial teórico do trabalho, detalhando as características relacionadas ao Arduino, as técnicas de funcionamento dos sensores e atuadores.

Capítulo 3 - O terceiro capítulo trata do desenvolvimento do protótipo, fornecendo uma descrição detalhada da execução do projeto.

Capítulo 4 - Este capítulo aborda a fase de testes realizados e os resultados obtidos durante a execução do projeto.

Capítulo 5 - O quinto capítulo apresenta as conclusões alcançadas no projeto, dificuldades encontradas, bem como sugestões para trabalhos futuros.

2 Fundamentação Teórica

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica que serviu de base para o desenvolvimento deste trabalho. Inicialmente são abordados aspectos relacionados à agricultura e ao cultivo protegido, destacando a importância das estufas no controle das condições ambientais. Em seguida, são apresentados os principais dispositivos eletrônicos e materiais utilizados no projeto, incluindo a plataforma de desenvolvimento Arduino, os sensores, os atuadores e os demais componentes empregados na construção do protótipo.

2.1 Agricultura

A prática agrícola, uma verdadeira arte de cultivar o solo, abrange uma diversidade de técnicas para o plantio em geral. Seu surgimento e os incessantes estudos ao longo do tempo desempenharam um papel crucial na evolução da humanidade. É imperativo ressaltar a magnitude dessa atividade produtiva, uma vez que, nos dias atuais, é ela que garante o sustento alimentar da sociedade. Além disso, a agricultura transcende suas raízes fundamentais e abraça objetivos comerciais. No contexto brasileiro, o setor do agronegócio assume uma posição de extrema importância, desempenhando um papel vital na dinâmica econômica do país ([SIRIO, 2022](#)).

É crucial ressaltar a centralidade dessa atividade produtiva, pois, na contemporaneidade, ela não apenas garante o sustento alimentar da sociedade, mas também influencia significativamente o cenário comercial. Além disso, no Brasil, o setor do agronegócio não se limita apenas à movimentação econômica; ele se torna um protagonista essencial na dinâmica econômica do país.

O processo de modernização da agricultura no Brasil teve seu ponto de partida na década de 1950 com a introdução de meios de produção mais avançados. Contudo, foi apenas na década de 1960 que essa transformação se materializou efetivamente, marcada pela implantação no país de um setor industrial especializado na fabricação de equipamentos e insumos voltados para o setor agrícola ([TEIXEIRA, 2005](#)). Desejava-se, portanto, fazer a transição de uma agricultura tradicional, que era inteiramente dependente da natureza e praticada por meio de técnicas rudimentares, para uma modalidade agrícola mecanizada.

O cenário da agricultura familiar no Brasil apresenta uma notável heterogeneidade, abrangendo desde famílias economicamente desfavorecidas que possuem, de forma precária, pequenas parcelas de terra dificilmente viáveis para uma unidade de produção sustentável, até famílias com consideráveis recursos, incluindo terra, capacitação, organização e conhecimento. Nesse contexto, embora a utilização do termo “agricultura familiar” seja útil

e desejável para fins de formulação de políticas, é essencial reconhecer as implicações da evidente diversidade entre os agricultores familiares. É imperativo tratá-los conforme são na realidade: distintos entre si, não sendo redutíveis a uma única categoria apenas por empregarem predominantemente o trabalho familiar [Souza Filho *et al.* \(2004\)](#).

2.2 Cultivo Protegido

A utilização de estufas oferece aos agricultores de diversas regiões a oportunidade de cultivar frutas e hortaliças que não são naturalmente encontradas em seus respectivos locais. Embora o investimento inicial para a construção das estufas seja significativo, a produção resultante permite uma rápida recuperação desse montante. Esse método inovador amplia as possibilidades de produção, possibilitando a oferta de variedades de alimentos em ambientes onde, de outra forma, não seria viável.

As estufas desempenham um papel essencial na criação de microambientes propícios para a produção agrícola. Elas viabilizam o cultivo em períodos nos quais determinadas plantações enfrentariam desafios, graças ao controle preciso de fatores como luz e irrigação ([ANDRADE, 2020](#)). Cabe destacar que as estufas podem ser automatizadas por meio de dispositivos elétricos, conferindo maior eficiência ao processo produtivo. Essa abordagem inovadora não apenas estende as possibilidades de cultivo, mas também promove uma gestão mais inteligente e sustentável da agricultura.

Diversos benefícios destacam-se ao explorar as vantagens das estufas, demonstrando de forma convincente sua eficácia. Um exemplo notável reside na capacidade de os agricultores escaparem das restrições sazonais ao adotar essas estruturas, proporcionando a criação de condições ideais para o crescimento das colheitas. Isso não apenas possibilita o cultivo fora dos períodos convencionais, resultando em produtos de alta qualidade, mas também atende à demanda de consumo sem afetar significativamente os preços finais ([SIRIO, 2022](#)).

Outro ponto relevante refere-se à defesa contra pragas. Ao cultivar em estufas, o contato com organismos prejudiciais à produção agrícola é drasticamente reduzido. Além disso, caso ocorra algum contato, o controle eficaz dessas pragas é alcançado de maneira mais rápida e eficiente dentro dos microambientes das estufas.

2.3 Trabalhos relacionados

Nos últimos anos, diversos trabalhos têm sido desenvolvidos com o objetivo de automatizar estufas agrícolas utilizando plataformas de baixo custo, sensores e atuadores para monitoramento e controle das condições ambientais. Esses estudos demonstram que a automação pode contribuir para a estabilidade do microclima, redução da intervenção

humana e melhoria no desenvolvimento das culturas. Nesta seção são apresentados alguns trabalhos relacionados que serviram como referência para o desenvolvimento deste projeto.

Um trabalho semelhante ao desenvolvido nesta pesquisa foi apresentado por Couto (2024), que propôs um sistema de gerenciamento e controle para estufas de pequeno porte utilizando Raspberry Pi e Arduino. O sistema desenvolvido por Couto (2024) realizou o monitoramento da temperatura, umidade do ar e umidade do solo por meio de sensores integrados ao Arduino Uno, enquanto o Raspberry Pi foi utilizado para processamento dos dados e comunicação com o Node-RED. O sistema também realizou o acionamento automático de uma minibomba de água e de um cooler, permitindo o controle das condições ambientais da estufa. Os resultados demonstraram que a solução apresentou bom desempenho no monitoramento em tempo real e pode ser aplicada em estufas de pequeno porte utilizando componentes de baixo custo.

Akpulonu *et al.* (2024) desenvolveram um sistema de monitoramento e controle de estufas baseado em Arduino e Internet das Coisas (IoT), capaz de monitorar variáveis como temperatura, umidade do ar, umidade do solo, luminosidade e concentração de gases. O sistema utilizou sensores, atuadores, módulo ESP8266 para comunicação remota e alimentação por energia solar e rede elétrica. Os autores observaram um aumento de aproximadamente 20% na produtividade da cultura da alface, demonstrando que a automação pode contribuir para o monitoramento contínuo das condições ambientais e para a redução da intervenção humana.

Outro trabalho recente foi desenvolvido por Jolly *et al.* (2024), que utilizaram um Arduino Uno para monitorar e controlar as condições microclimáticas de uma estufa automatizada. O sistema realizou o monitoramento da temperatura, umidade do ar e umidade do solo por meio de sensores DHT11 e sensor de umidade do solo, acionando automaticamente um sistema de ventilação e irrigação conforme as condições do ambiente. Os autores concluíram que a automação permitiu manter o controle das variáveis ambientais de forma contínua, reduzindo a necessidade de intervenção manual e contribuindo para o desenvolvimento de uma solução de baixo custo voltada para pequenos produtores.

Os trabalhos apresentados demonstram que a utilização de sistemas automatizados em estufas possibilita o monitoramento contínuo das variáveis ambientais e o acionamento automático dos atuadores, proporcionando melhores condições para o desenvolvimento das culturas. O presente trabalho segue essa mesma linha de pesquisa, propondo o desenvolvimento de um protótipo de baixo custo utilizando Arduino para monitoramento e controle das principais variáveis do microclima da estufa, além da realização de experimentos comparativos entre o cultivo protegido e o cultivo em ambiente externo.

2.4 Dispositivos e materiais para monitoramento e controle

2.4.1 Controladores e microcontroladores

Os microcontroladores são dispositivos eletrônicos programáveis amplamente utilizados em sistemas embarcados e aplicações de automação. Esses componentes são responsáveis por realizar o processamento dos dados provenientes dos sensores e executar ações de controle sobre atuadores, permitindo o funcionamento de sistemas automatizados de forma eficiente e com baixo consumo de energia. Atualmente, existem diversas plataformas de desenvolvimento que utilizam microcontroladores, destacando-se o Arduino, ESP32 e ESP8266, amplamente empregados em projetos de automação, Internet das Coisas (IoT) e monitoramento de variáveis ambientais.

Entre essas plataformas, o Arduino destaca-se pela facilidade de programação, baixo custo e ampla disponibilidade de módulos e sensores compatíveis, características que contribuíram para sua escolha neste trabalho. Conforme descrito por [Souza *et al.* \(2011\)](#):

A placa Arduino é baseada num microcontrolador muito versátil que potencializa suas funções para além de uma simples interface passiva de aquisição de dados, podendo operar sozinha no controle de vários dispositivos e tendo assim aplicações em instrumentação embarcada e robótica. Todo o projeto eletrônico, incluindo a plataforma para o desenvolvimento dos programas de controle é de acesso público e gratuito. Uma extensa comunidade internacional se formou em torno do projeto Arduino, envolvendo técnicos e desenvolvedores de diversas áreas, alunos e professores, hobistas, artistas plásticos, que interagem através de sites, blogs e eventos patrocinados por diferentes instituições mundo afora. Na Web encontramos uma farta documentação sobre aplicações e de troca de experiências entre usuários.

Entre as diversas plataformas de desenvolvimento disponíveis atualmente, o Arduino Uno foi escolhido para este trabalho devido à facilidade de programação, ampla documentação disponível e compatibilidade com os sensores e atuadores utilizados no protótipo. A Figura 1 apresenta a placa Arduino Uno R3, utilizada como unidade central de processamento do sistema.

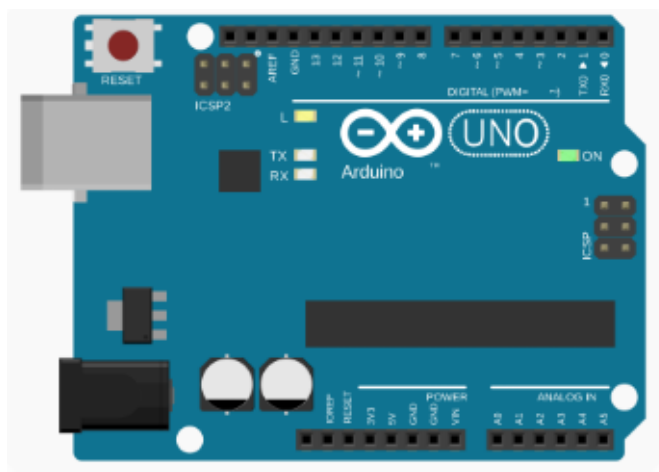


Figura 1 – Placa de desenvolvimento Arduino Uno R3.

Fonte: Wikimedia Commons (2018).

Com isso, torna-se possível conceber e implementar projetos por meio de uma integração estratégica com os utilitários específicos desenvolvidos para a plataforma Arduino.

2.4.2 Sensores

Sensores são dispositivos capazes de converter informações físicas, químicas ou ambientais em sinais elétricos ou digitais, permitindo a detecção, medição e monitoramento de variáveis específicas no entorno. Esses dispositivos desempenham um papel crucial em uma variedade de aplicações, fornecendo dados fundamentais para controle, automação, segurança e pesquisa em diversas áreas.

2.4.2.1 Sensor de temperatura e umidade

Trata-se de um dispositivo eletrônico com a capacidade de realizar a medição de temperatura e umidade, sendo aplicável tanto em ambientes externos quanto em espaços internos ([PACHECO; OLIVEIRA, 2023](#)). Alguns sensores, operam por meio de sinal digital e, adicionalmente, estabelecem comunicação com microcontroladores.

2.4.2.2 Sensor de umidade do solo

A avaliação da umidade do solo desempenha papel crucial em pesquisas sobre a dinâmica e disponibilidade de água no solo, sendo indispensável em diversas situações agrícolas. É essencial para determinar o timing de operações mecanizadas e para monitorar a adequada gestão do sistema de irrigação [Gomes *et al.* \(2017\)](#).

Quando se trata de sensores capacitivos, o dispositivo empregado para monitorar a umidade no solo opera fundamentado na alteração da capacitância elétrica do sensor, a qual varia conforme as mudanças na quantidade de água presente no substrato analisado.

2.4.3 Atuadores

Atuadores são dispositivos mecânicos, elétricos ou hidráulicos projetados para converter sinais elétricos, hidráulicos ou térmicos em movimento físico ou ação. Sua função principal é executar uma resposta específica com base nos comandos recebidos, desencadeando movimentos, ajustes ou operações em sistemas diversos.

2.4.3.1 Coolers

Os coolers, dispositivos de dimensões reduzidas, desempenham um papel multifuncional ao serem instalados em estufas. Dependendo da sua orientação, podem atuar como ventiladores, impulsionando o ar externo para o interior da estufa, ou assumir a função de exaustores, expelindo o ar interno para o exterior ([SIRIO, 2022](#)). Essa versatilidade de operação tem um impacto crucial na manutenção das condições ideais no ambiente da estufa, contribuindo significativamente para o equilíbrio e controle da umidade do ar.

2.4.3.2 Pastilha de Peltier

As placas de efeito Peltier, também denominadas pastilhas termoeletricas, exploram o efeito refrigerador ou aquecedor ao conduzir corrente elétrica contínua por meio de dois condutores. A aplicação de uma voltagem entre os polos gera um notável diferencial de temperatura entre as superfícies opostas da placa. Esse fenômeno permite a manipulação térmica controlada, conferindo versatilidade e eficiência a essas pastilhas em diversas aplicações, desde refrigeração até sistemas de aquecimento precisos ([FERNANDES *et al.*, 2010](#)).

3 Desenvolvimento

Com base nas definições e conceitos apresentados no capítulo anterior sobre a construção de uma estufa automatizada, este capítulo detalha os componentes e métodos empregados na montagem do protótipo que é o foco deste estudo. A seguir, serão discutidos os materiais selecionados e as etapas de construção e implementação da estufa, incluindo a escolha dos sensores e atuadores, a integração do sistema Arduino, e o desenvolvimento da interface de monitoramento.

3.1 Estrutura

Para a construção da estrutura da estufa, optou-se por utilizar materiais sustentáveis de alta durabilidade. Essa escolha foi motivada pela necessidade de criar uma base sólida e resistente, capaz de suportar as variações climáticas e garantir a longevidade do projeto.

Como forma de sustentação à estufa e seus componentes, foram utilizados tubos e conexões de PVC de 1/2". Esta escolha se deve à versatilidade e durabilidade do PVC, um material amplamente reconhecido por sua resistência à corrosão, leveza e facilidade de manuseio.



Figura 2 – Base em tubos PVC

Fonte: Autoria própria.

Os tubos de PVC de 1/2” foram estrategicamente selecionados por sua capacidade de oferecer uma estrutura robusta, sem comprometer a flexibilidade necessária para o design da estufa. As conexões de PVC permitem uma montagem modular, facilitando ajustes e expansões futuras, além de assegurar uma fixação segura e estável dos componentes. A Figura 2 ilustra a estrutura construída em PVC para o projeto da estufa.

Para o fechamento lateral da estrutura, optou-se pela utilização de chapas de papelão rígido, que desempenham a função de isolamento parcial do ambiente interno, contribuindo para a manutenção da temperatura e umidade dentro da estufa. O papelão foi escolhido por se tratar de um material leve, de baixo custo e facilmente moldável, além de ser ecologicamente correto, reforçando o caráter sustentável do projeto. Sua aplicação possibilitou a vedação adequada das laterais, ao mesmo tempo em que manteve o peso total da estrutura reduzido, favorecendo a portabilidade do protótipo.

Nas faces frontal e posterior da estufa, entretanto, optou-se pelo uso de chapas de compensado de madeira em substituição ao papelão. Essa decisão técnica foi motivada pela necessidade de dispor de uma base mais rígida e resistente para a fixação de componentes eletrônicos e dispositivos de controle, como a plataforma de desenvolvimento Arduino, módulos de alimentação e indicadores visuais. O compensado proporciona maior estabilidade estrutural e segurança na fixação mecânica dos elementos, evitando deformações ou deslocamentos decorrentes do manuseio e da operação do sistema automatizado.

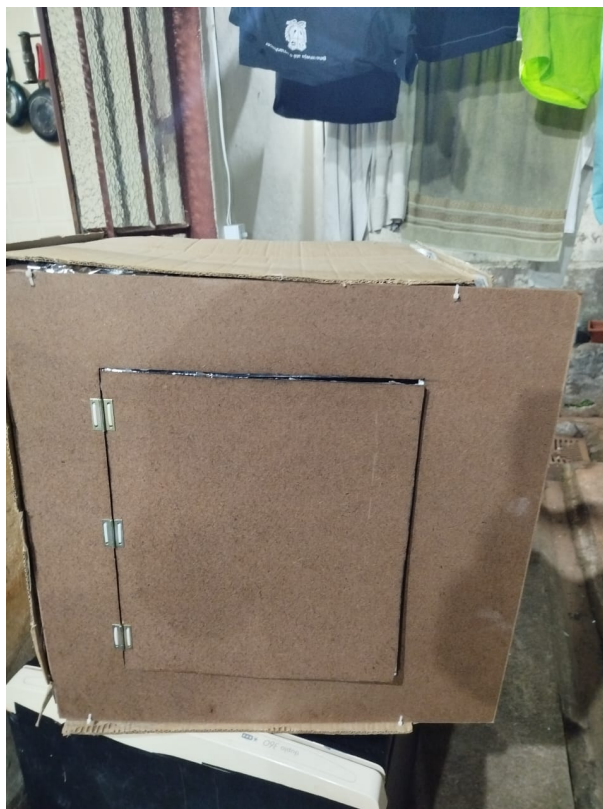


Figura 3 – Estrutura finalizada

Fonte: Autoria própria.

Dessa forma, a combinação entre o PVC, o papelão e o compensado de madeira resultou em uma estrutura leve, modular e funcional, adequada às necessidades de um protótipo experimental, conforme apresentado na Figura 3. Essa configuração garante facilidade de montagem e desmontagem, baixo custo de produção e compatibilidade com futuras adaptações, mantendo a integridade física dos componentes, Figura 4 e a eficiência operacional do sistema.



Figura 4 – Vista interna do protótipo da estufa automatizada.

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 4 também é possível observar o revestimento interno com filme Mylar, responsável por aumentar a reflexão da luz no interior da estufa. Os detalhes sobre sua função e importância serão apresentados mais adiante, durante a explicação dos componentes e do funcionamento do sistema.

3.2 Sensores e Atuadores

O sistema de automação da estufa foi projetado para realizar o monitoramento contínuo das variáveis ambientais e atuar automaticamente sobre elas, de modo a manter condições ideais ao desenvolvimento das plantas. Para isso, foram integrados ao protótipo sensores responsáveis pela coleta de dados e atuadores encarregados da execução das ações de controle, todos gerenciados por uma plataforma de desenvolvimento Arduino Uno.

3.2.1 Sensores

Sensor de temperatura e umidade do ar DHT11: responsável por medir a temperatura interna da estufa e a umidade relativa do ar. Essas variáveis são fundamentais para o controle térmico e hídrico, pois variações acentuadas podem comprometer o

microclima interno e o desenvolvimento das plantas. O sensor DHT11 (Figura 5) foi selecionado devido ao seu baixo custo, facilidade de integração com o Arduino e desempenho adequado para a aplicação proposta. De acordo com Aotong Electronics (2018), o sensor realiza medições de temperatura na faixa de 0 °C a 50 °C, com precisão de ± 2 °C, e de umidade relativa do ar entre 20 % e 90 %, com precisão de ± 5 % RH, apresentando resolução de 1 °C para temperatura e 1 % RH para umidade. Essas características tornam o sensor adequado para o monitoramento das condições ambientais da estufa, atendendo aos requisitos deste trabalho.

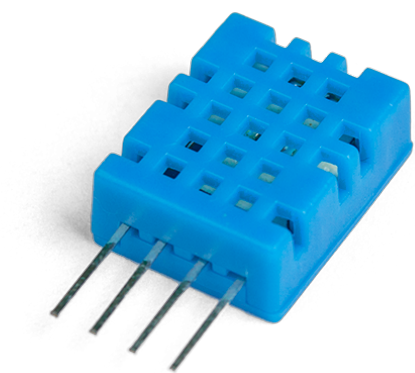


Figura 5 – Sensor de temperatura e umidade do ar DHT11¹

Fonte: Eletrogate (2026).

As principais especificações técnicas do sensor DHT11 são apresentadas na Tabela 1.

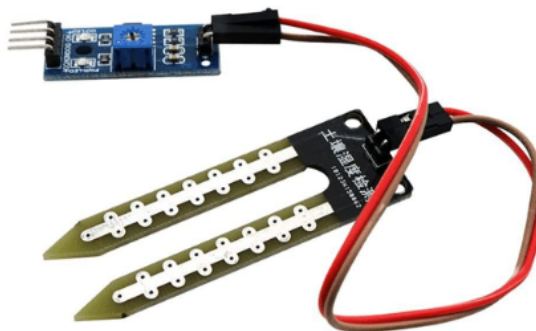
¹ Imagem disponível em: <https://www.eletrogate.com/sensor-de-umidade-e-temperatura-dht11>. Acesso em: 12 jul. 2026.

Tabela 1 – Especificações técnicas do sensor DHT11.

Característica	Valor
Modelo	DHT11
Tensão de alimentação	3,3 V a 5,5 V
Corrente de operação	0,3 mA (medição)
Corrente em espera	60 μ A
Faixa de temperatura	0 °C a 50 °C
Precisão da temperatura	± 2 °C
Resolução da temperatura	1 °C
Faixa de umidade	20 % a 90 % RH
Precisão da umidade	± 5 % RH
Resolução da umidade	1 % RH
Frequência de amostragem	1 Hz (1 leitura/s)

Fonte: Adaptado de [Aosong Electronics \(2018\)](#).

Sensor de umidade do solo: empregado para monitorar a umidade presente no substrato. Esse sensor (Figura 6) opera com base na variação da resistência elétrica entre duas hastes metálicas, fornecendo uma estimativa da umidade do solo. As informações obtidas permitem determinar as condições de umidade do substrato, auxiliando na gestão eficiente dos recursos hídricos. O módulo utilizado opera com tensão de alimentação entre 3,3 V e 5 V, disponibilizando saídas analógica e digital, além de possuir sensibilidade ajustável por meio de um potenciômetro. Neste trabalho, a saída analógica foi utilizada para estimar o percentual de umidade do solo, enquanto a saída digital foi empregada para indicar a condição de solo seco ou úmido no display LCD. As principais especificações técnicas do sensor são apresentadas na Tabela 2 ([ELETROGATE, 2026](#)).

Figura 6 – Sensor de umidade do solo²

Fonte: Eletrogate (2026).

² Imagem disponível em: <https://www.eletrogate.com/modulo-sensor-de-umidade-de-solo>.

Tabela 2 – Especificações técnicas do sensor de umidade do solo.

Característica	Valor
Tensão de operação	3,3 V a 5 V
Tipo de saída	Analógica e Digital
Sensibilidade	Ajustável por potenciômetro
Circuito comparador	LM393
Dimensões do módulo	3,0 × 1,5 cm
Dimensões da sonda	6,0 × 2,0 cm

Fonte: Adaptado de [Eletrogate \(2026\)](#).

3.2.2 Atuadores

Os atuadores foram responsáveis pela execução das ações de controle ambiental, atuando diretamente sobre as variáveis monitoradas. Cooler: utilizado para promover a circulação do ar e reduzir a temperatura interna da estufa quando esta ultrapassa o limite estabelecido. O acionamento do cooler (Figura 7) é automatizado, controlado pelas leituras do sensor DHT11. As principais especificações técnicas do cooler são apresentadas na Tabela 3.



Figura 7 – Cooler

Fonte: Aatoria própria(2026).

Acesso em: 12 jul. 2026.

Tabela 3 – Especificações técnicas do cooler M802512L.

Característica	Valor
Modelo	M802512L
Tipo	DC Brushless Fan
Tensão nominal	12 Vcc
Corrente nominal	0,14 A
Dimensões	80 × 80 × 25 mm

Fonte: Dados do fabricante presentes na etiqueta do componente utilizado no protótipo.

A pastilha termoelétrica TEC1-12706 (Figura 8) foi utilizada no sistema de refrigeração da estufa com o objetivo de reduzir a temperatura do ambiente interno quando necessário. Seu princípio de funcionamento baseia-se no efeito Peltier, no qual a passagem de corrente elétrica promove a transferência de calor entre as duas faces do módulo, fazendo com que uma delas resfrie enquanto a outra aqueça.

De acordo com [Roßmann Electronic GmbH \(2024\)](#), o módulo TEC1-12706 opera com tensão máxima de 15,4 V, corrente máxima de 6 A e capacidade máxima de transferência de calor de aproximadamente 51 W, podendo atingir uma diferença máxima de temperatura (ΔT_{max}) de até 65 °C entre suas faces. O dispositivo possui dimensões de 40 mm × 40 mm × 3,7 mm, resistência elétrica de $2,07 \pm 0,1 \Omega$ e temperatura máxima de soldagem de 138 °C, sendo adequado para aplicações de refrigeração em sistemas compactos. As principais especificações técnicas da pastilha são apresentadas na Tabela 4.

No protótipo desenvolvido, a face fria da pastilha foi posicionada voltada para o interior da estufa, enquanto a face quente foi acoplada a um dissipador de calor equipado com um cooler, permitindo a dissipação do calor para o ambiente externo. Essa configuração aumenta a eficiência da troca térmica e evita o superaquecimento da pastilha durante seu funcionamento.



Figura 8 – Pastilha de Peltier³

Fonte: Eletrogate (2026).

Tabela 4 – Pastilha termoeétrica TEC1-12706.

Característica	Valor
Modelo	TEC1-12706
Tensão máxima (Vmax)	15,4 V
Corrente máxima (Imax)	6 A
Potência máxima (Qmax)	51 W
Diferença máxima de temperatura (ΔT_{max})	65 °C
Resistência elétrica	$2,07 \pm 0,1 \, \Omega$
Dimensões	$40 \times 40 \times 3,7 \, \text{mm}$

Fonte: Adaptado de Roßmann Electronic GmbH (2024).

3.3 Interface e Elementos Auxiliares

Além dos sensores e atuadores, o sistema conta com elementos auxiliares que visam aprimorar a interação entre o usuário e o protótipo, bem como garantir condições adequadas de operação e observação dos parâmetros monitorados.

Display LCD 20x4: implementado como interface homem-máquina (IHM), permitindo a visualização em tempo real das informações coletadas pelos sensores, como

³ Imagem disponível em: <https://www.eletrogate.com/pastilha-termoeletrica-peltier-tec1-12706>. Acesso em: 12 jul. 2026.

temperatura, umidade do ar e umidade do solo. A utilização do LCD (Figura 9) elimina a necessidade de conexão direta com um computador, tornando o sistema autônomo e de fácil monitoramento.

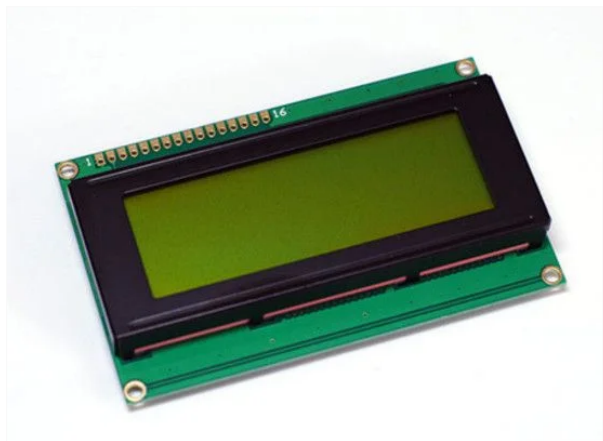


Figura 9 – LCD 20x4⁴

Fonte: Eletrogate (2026).

LED Grow: instalada no interior da estufa como fonte de iluminação, garantindo luminosidade adequada para o desenvolvimento das plantas. Diferentemente dos LEDs convencionais, o LED Grow (Figura 10) emite luz nos comprimentos de onda mais adequados ao processo de fotossíntese, principalmente nas faixas de aproximadamente 450 nm (azul) e 660 nm (vermelho). A fita utilizada é alimentada em 12 Vcc e, em estufas com baixa incidência ou ausência de luz natural, desempenha papel fundamental no crescimento e desenvolvimento das plantas. Apesar de não desempenhar função de controle automático, sua presença contribui para o fornecimento da energia luminosa necessária ao cultivo, além de facilitar a observação do funcionamento interno e o registro visual do ambiente.

Esse tipo de iluminação combina predominantemente comprimentos de onda nas faixas do vermelho e do azul, considerados os mais importantes para o desenvolvimento das plantas. A luz azul está diretamente relacionada ao crescimento vegetativo, favorecendo a formação de folhas, o desenvolvimento do caule e a atividade fotossintética, enquanto a luz vermelha contribui para a eficiência da fotossíntese e para processos fisiológicos associados ao crescimento e ao desenvolvimento vegetal.

⁴ Imagem disponível em: <https://www.eletrogate.com/display-lcd-20x4-com-backlight-verde>. Acesso em: 12 jul. 2026.

Figura 10 – Led Growth⁵

Fonte: Adaptado de Amazon Brasil (2026).

Mylar: O Mylar (Figura 11) é uma folha de poliéster cuja característica predominante é sua elevada capacidade de reflexão (SIRIO, 2022). Uma das superfícies é inteiramente reflexiva e conta com microranhas projetadas para dispersar a luz de maneira mais eficiente, garantindo que as plantas recebam a máxima irradiação possível. Neste trabalho, o material foi aplicado no interior da estrutura da estufa com o objetivo de otimizar a distribuição da luz emitida pelo LED Grow e melhorar o aproveitamento energético do sistema. Sua utilização nesta etapa teve caráter prático, assegurando maior uniformidade luminosa e contribuindo para o isolamento térmico do ambiente interno. Seu uso no projeto pode ser visto na Figura 4.

Figura 11 – Mylar⁶

Fonte: Adaptado de Mercado Livre (2026).

⁵ Imagem disponível em: <https://www.amazon.com.br/Cuculo-Spectrum-Fitolampy-Sementes-Interior/dp/B08X6T1S3K>. Acesso em: 12 jul. 2026.

3.4 Integração

A integração do sistema foi realizada utilizando como unidade central de controle a plataforma de desenvolvimento Arduino Uno, responsável pela leitura dos sensores, processamento das informações e acionamento dos atuadores conforme as condições estabelecidas no código de controle. O uso do Arduino deve-se à sua versatilidade, ampla disponibilidade de módulos compatíveis e facilidade de programação, características que o tornam ideal para aplicações experimentais e projetos de prototipagem.

O circuito foi montado em uma placa de prototipagem, o que possibilitou a organização dos componentes e a realização de ajustes durante a fase de testes. Foram utilizados jumpers e conectores macho-fêmea para interligar os sensores, atuadores e dispositivos auxiliares de forma segura e modular, facilitando eventuais manutenções ou substituições.

O sensor DHT11 foi conectado à porta digital do Arduino, permitindo a leitura simultânea da temperatura e da umidade do ar. O sensor de umidade do solo foi ligado a uma entrada analógica, possibilitando a interpretação de seus valores em uma escala contínua. Os dados obtidos são processados pela plataforma de desenvolvimento e comparados com limites pré-definidos, definidos no código-fonte conforme as faixas ideais de operação da estufa.

O display LCD 20x4, conectado por interface I²C, exibe em tempo real os valores medidos pelos sensores. Essa exibição contínua fornece feedback imediato ao usuário, permitindo acompanhar o funcionamento do sistema sem necessidade de instrumentos externos.

Assim, a integração do sistema Arduino consolidou a automação do protótipo, resultando em uma estrutura funcional capaz de coletar, processar e reagir automaticamente às variações do ambiente interno. Essa etapa foi essencial para validar a operação conjunta dos sensores e atuadores, garantindo o desempenho esperado e servindo de base para a fase de testes e calibração do sistema.

Para facilitar a visualização da integração entre os componentes eletrônicos utilizados no protótipo, foi elaborado um esquemático do circuito por meio do software Fritzing. O diagrama apresenta as conexões entre o Arduino Uno, os sensores de temperatura e umidade do ar (DHT11) e de umidade do solo, o display LCD com interface I²C, o transistor responsável pelo acionamento das cargas, a fonte de alimentação de 12 V, a pastilha termoeletrica TEC1-12706, os coolers e o diodo de proteção do circuito. O esquemático possibilita uma representação clara da arquitetura elétrica do sistema, facilitando

⁶ Imagem obtida em: Mercado Livre. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br/cobertor-de-emergencia-portatil-externo-de-160x210cm-multifu/p/MLB2049591301>. Acesso em: 12 jul. 2026.

a compreensão da integração entre os componentes responsáveis pelo monitoramento das variáveis ambientais e pelo controle térmico da estufa.

A Figura 12 apresenta o esquemático completo do circuito desenvolvido para o protótipo da estufa automatizada.

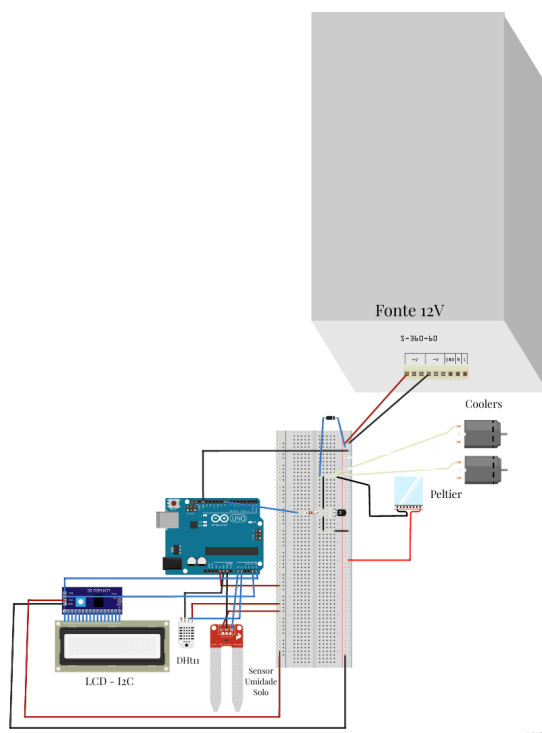


Figura 12 – Esquema elétrico do circuito

Fonte: Autoria própria.

O LED Grow não foi representado no esquemático elétrico, pois sua alimentação foi realizada de forma independente do sistema de controle, sendo conectado diretamente à rede elétrica. Dessa forma, a iluminação permaneceu ligada continuamente durante todo o período experimental, fornecendo condições constantes de luminosidade ao interior da estufa, sem interferir na lógica de controle implementada pelo Arduino.

3.5 Lógica de controle

A lógica de controle do sistema (Figura 13) foi desenvolvida para realizar o monitoramento contínuo das condições internas da estufa e acionar o sistema de refrigeração quando a temperatura ultrapassasse o valor de referência definido no programa. Inicialmente, o Arduino realiza a leitura da temperatura e da umidade do ar por meio do sensor DHT11, além da leitura da umidade do solo utilizando o sensor resistivo. Os valores obtidos são apresentados em tempo real no display LCD, permitindo o acompanhamento das condições do ambiente interno.

A partir da leitura da temperatura, o Arduino verifica se o valor medido ultrapassa o limite estabelecido. Quando isso ocorre, um pino digital é acionado, polarizando um transistor responsável pelo chaveamento da alimentação da pastilha termoelétrica TEC1-12706 e dos coolers instalados na estufa. A pastilha é responsável pelo resfriamento do ambiente, enquanto os coolers promovem a circulação do ar no interior da estrutura, aumentando a eficiência da troca térmica.

Quando a temperatura retorna à faixa de operação previamente definida, o Arduino desativa o pino digital, interrompendo a alimentação da pastilha e dos coolers. Paralelamente, o sensor de umidade do solo realiza leituras contínuas, apresentando no display LCD o percentual estimado de umidade e a indicação da condição do solo (seco ou úmido). Como o protótipo utiliza um vaso autoirrigável, as informações de umidade do solo foram utilizadas apenas para monitoramento durante os experimentos, não havendo acionamento automático do sistema de irrigação.

Considerando as características climáticas predominantes no Brasil e as exigências da cultura do salsão (*Apium graveolens*), o sistema foi desenvolvido com foco apenas no resfriamento do ambiente interno da estufa. Como o objetivo era manter condições mais adequadas ao desenvolvimento da planta, optou-se por controlar somente o aumento da temperatura por meio do acionamento dos atuadores, não sendo implementado um sistema de aquecimento. Essa abordagem permitiu simplificar o protótipo e atender ao objetivo proposto neste trabalho.

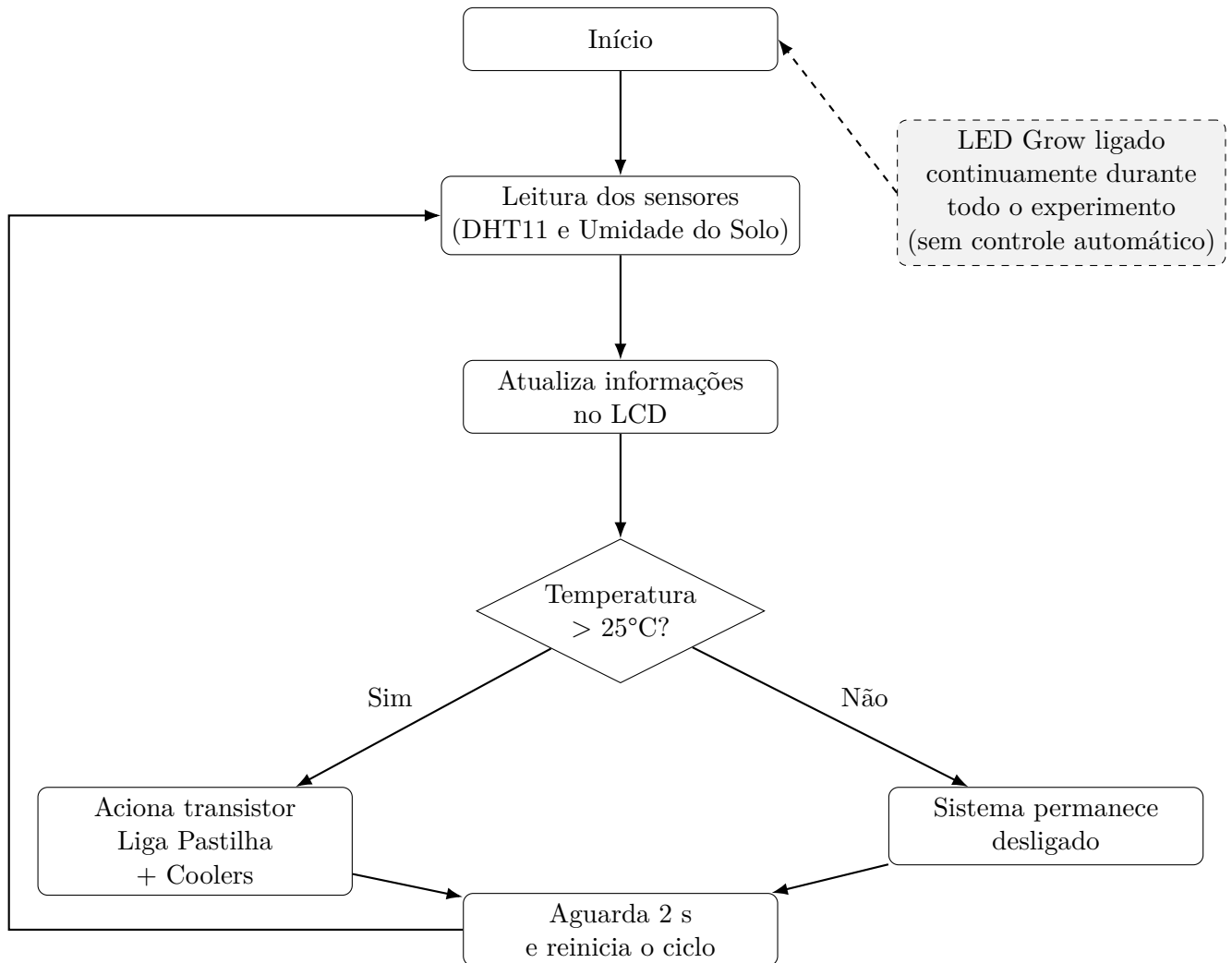


Figura 13 – Fluxograma da lógica de controle implementada no Arduino.

Fonte: Autoria própria.

O fluxograma apresentado na Figura 13 descreve a lógica de controle implementada no Arduino para o monitoramento contínuo das variáveis ambientais e o acionamento do sistema de refrigeração da estufa. Inicialmente, são realizadas as leituras dos sensores de temperatura e umidade do ar (DHT11) e do sensor de umidade do solo, sendo as informações exibidas em tempo real no display LCD. Em seguida, o Arduino compara a temperatura medida com o valor de referência estabelecido em 25 °C. Quando esse valor é atingido ou ultrapassado, o pino digital responsável pelo controle do transistor é acionado, energizando a pastilha termoeletrônica TEC1-12706 e os coolers. O sistema utiliza uma histerese de 1 °C, de modo que os atuadores permanecem ligados até que a temperatura seja reduzida para aproximadamente 24 °C, evitando acionamentos e desligamentos sucessivos em torno do valor de referência. Após a verificação das condições de operação, o sistema aguarda dois segundos e reinicia o ciclo de monitoramento, garantindo o funcionamento contínuo da estufa durante todo o período experimental.

O código-fonte completo desenvolvido para o Arduino Uno é apresentado no Apêndice [A](#).

3.6 Procedimentos Experimentais

Com o objetivo de avaliar a eficiência do sistema automatizado e a influência do controle microclimático sobre o desenvolvimento vegetal, foi conduzido um experimento comparativo utilizando plantas de salsa (*Apium graveolens*), cultivadas em duas condições distintas: uma no interior da estufa automatizada e outra em ambiente externo, exposta às condições naturais.

O experimento teve duração total de 20 dias, período no qual foram monitoradas as variáveis ambientais e o desenvolvimento das plantas. De acordo com a literatura, o salsa apresenta melhor desenvolvimento em temperaturas entre 18 °C e 25 °C, com umidade relativa do ar entre 60 % e 80 %, além de solo constantemente úmido, porém sem encharcamento [Zhao et al. \(2023\)](#). Dessa forma, na planta cultivada no interior da estufa, os parâmetros de temperatura, umidade do ar e umidade do solo foram monitorados continuamente pelos sensores integrados ao sistema. O controle térmico foi realizado automaticamente por meio de uma pastilha termoeletrica TEC1-12706 e dois coolers acionados pelo Arduino por meio de um transistor, sendo o sistema configurado para iniciar o resfriamento quando a temperatura interna ultrapassasse 25 °C.

A umidade do solo foi monitorada continuamente pelo sensor resistivo e apresentada no display LCD. Como o experimento foi conduzido utilizando um vaso autoirrigável, não foi implementado o acionamento automático da irrigação, sendo o sensor empregado apenas para monitoramento das condições do substrato. Já a planta externa serviu como grupo de referência, exposta às condições ambientais naturais, sem controle automatizado.

Ao término do experimento, foram comparados os resultados de crescimento e coloração das plantas, bem como o comportamento das variáveis monitoradas ao longo do período experimental, de modo a avaliar o impacto do controle automatizado sobre o desenvolvimento do salsa.

4 Resultado e Discussões

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos durante o funcionamento da estufa automatizada desenvolvida neste projeto, bem como a análise comparativa entre duas plantas de salsão (*Apium graveolens*) cultivadas sob condições distintas: uma em ambiente controlado (interior da estufa) e outra exposta ao ambiente natural (condição externa).

O experimento teve duração de 20 dias, período no qual foram monitoradas as variáveis de temperatura, umidade do ar e umidade do solo, além das respostas dos atuadores (coolers e pastilha de Peltier) e do acompanhamento visual do desenvolvimento das plantas. O objetivo principal foi avaliar a eficiência do sistema automatizado na manutenção de um microclima estável e verificar se o ambiente controlado poderia proporcionar melhores condições de crescimento em comparação ao ambiente externo.

4.1 Desempenho dos Sensores

Os sensores instalados na estufa apresentaram funcionamento satisfatório e estável ao longo de todo o período experimental.

O sensor DHT11, responsável pelas leituras de temperatura e umidade do ar, demonstrou boa precisão e rápida resposta às variações climáticas internas. As medições indicaram que a temperatura dentro da estufa se manteve mais constante em relação ao ambiente externo, com menor amplitude térmica ao longo do dia. Isso se deve à atuação combinada do cooler e da pastilha de Peltier, que corrigiam automaticamente as variações acima dos limites pré-definidos no sistema.

Para avaliar o comportamento térmico do ambiente externo durante o período experimental, foi calculada a amplitude térmica diária com base nos dados meteorológicos obtidos na estação do INMET. O cálculo foi realizado considerando a diferença entre a temperatura máxima e a temperatura mínima registradas em cada período de 24 horas ao longo dos 20 dias de experimento.

Tabela 5 – Amplitude térmica durante o período experimental.

Dia	Amplitude Externa (°C)	Amplitude Interna (°C)
1	11,9	6,0
2	12,7	6,4
3	10,7	5,5
4	8,6	4,8
5	10,0	5,3
6	15,4	8,0
7	14,5	7,6
8	8,7	4,8
9	4,9	3,0
10	10,8	5,6
11	11,0	5,7
12	12,5	6,3
13	6,8	4,0
14	9,5	5,0
15	10,3	5,4
16	13,6	7,0
17	12,5	6,4
18	12,5	6,5
19	8,1	4,6
20	7,2	4,2
Média	10,6	5,6

Fonte: Autoria própria.

A Figura 14 apresenta a comparação entre as amplitudes térmicas registradas no ambiente externo e no interior da estufa durante o período experimental.

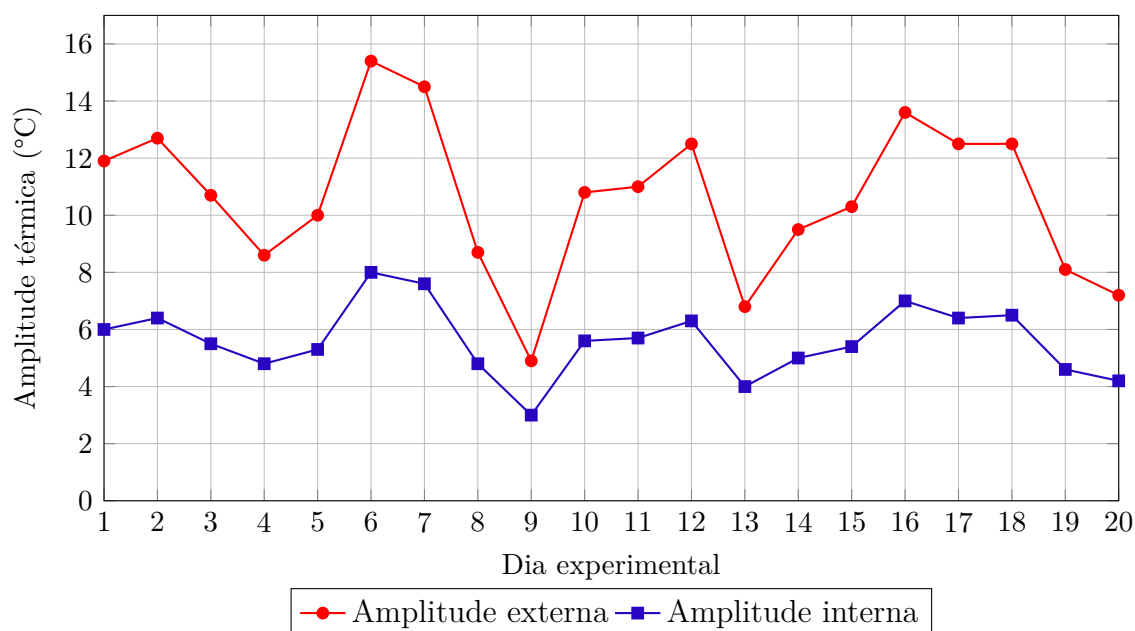


Figura 14 – Comparação entre as amplitudes térmicas externa e interna durante o período experimental.

Fonte: Autoria própria.

Durante o período experimental, a temperatura média registrada no interior da estufa foi de aproximadamente 23,1 °C, valor compatível com a faixa de temperatura recomendada para o cultivo do salsão. Esse resultado demonstra que o sistema de monitoramento e controle foi capaz de manter o ambiente interno próximo às condições ideais para o desenvolvimento da cultura, reduzindo as oscilações térmicas observadas no ambiente externo.

A umidade relativa do ar também apresentou comportamento mais estável dentro da estufa, reduzindo a perda de água por evaporação. Essa característica é especialmente importante para o cultivo de plantas como o salsão, que requerem níveis de umidade equilibrados para evitar estresse hídrico.

O sensor de umidade do solo foi utilizado para o monitoramento contínuo das condições do substrato durante todo o período experimental. As leituras foram exibidas em tempo real no display LCD, indicando tanto o percentual estimado de umidade quanto a condição do solo (seco ou úmido), facilitando o acompanhamento do experimento.

Durante os vinte dias de cultivo, o sensor indicou que o substrato permaneceu com níveis adequados de umidade, não sendo observadas situações prolongadas de solo seco. Esse comportamento foi favorecido pela utilização de um vaso autoirrigável, responsável por manter o fornecimento contínuo de água às raízes da planta. Dessa forma, o sensor foi utilizado como ferramenta de monitoramento, permitindo verificar que as condições de umidade permaneceram compatíveis com o desenvolvimento do salsão ao longo do

experimento.

As leituras obtidas mostraram-se coerentes com a condição visual do substrato, evidenciando que o sensor foi capaz de acompanhar as variações de umidade de forma satisfatória. Embora não tenha sido empregado para o acionamento automático da irrigação, seu desempenho demonstrou potencial para integração em futuros sistemas de controle automático da umidade do solo.

Em conjunto, os sensores demonstraram alta confiabilidade e consistência, fornecendo dados compatíveis com o esperado para este tipo de experimento. As leituras foram exibidas em tempo real no display LCD, permitindo acompanhamento contínuo do microclima e verificação imediata das respostas do sistema automatizado.

A planta cultivada na estufa foi mantida em um vaso autoirrigável, cujo reservatório de água foi reabastecido aproximadamente a cada quatro dias durante o período experimental. Dessa forma, a irrigação não foi automatizada, sendo o sensor de umidade do solo utilizado apenas para monitorar as condições do substrato e auxiliar na verificação da disponibilidade de água.

4.2 Desempenho dos Atuadores

Os atuadores apresentaram funcionamento satisfatório durante todo o período experimental, respondendo adequadamente aos comandos enviados pelo Arduino a partir das leituras realizadas pelos sensores. O acionamento ocorreu de forma sincronizada, contribuindo para o controle da temperatura no interior da estufa.

Quando a temperatura interna ultrapassou o setpoint de 25 °C, o Arduino acionou um transistor responsável por alimentar a pastilha termoeletrica TEC1-12706 e os dois coolers instalados na estrutura. A pastilha promoveu o resfriamento do ambiente, enquanto os coolers realizaram a circulação do ar no interior da estufa, contribuindo para a redução da temperatura.

Durante os testes, não foram observadas falhas no acionamento dos atuadores nem atrasos perceptíveis entre a leitura da temperatura e o início do funcionamento do sistema de refrigeração. Dessa forma, o conjunto formado pela pastilha termoeletrica e pelos coolers apresentou desempenho compatível com os objetivos propostos para o protótipo, mantendo o controle térmico da estufa de forma eficiente.

Durante todo o período experimental, o LED Grow permaneceu ligado continuamente, fornecendo iluminação constante ao interior da estufa. Não foi implementado controle automático da iluminação, uma vez que o objetivo do sistema foi concentrar a automação no monitoramento das variáveis ambientais e no controle da temperatura, mantendo as condições de iluminação constantes durante todo o experimento. Como

proposta para trabalhos futuros, recomenda-se o estudo das necessidades de iluminação da espécie cultivada, possibilitando a implementação de um sistema automatizado capaz de controlar o tempo de acionamento e a intensidade luminosa do LED Grow, de acordo com as exigências de desenvolvimento da planta.

4.3 Comparativo

A comparação entre as duas plantas de salsão (*Apium graveolens*) evidenciou diferenças significativas no desenvolvimento entre o cultivo realizado no interior da estufa automatizada e aquele conduzido em ambiente externo ao longo dos 20 dias de observação.

A planta mantida dentro da estufa apresentou maior vigor vegetativo, com coloração verde mais intensa e folhas mais firmes, indicativos de melhor hidratação e menor estresse térmico. Em contraste, a planta cultivada em ambiente externo apresentou crescimento menos uniforme, com folhas ligeiramente amareladas em alguns períodos e menor taxa de expansão foliar. As Figuras 15 e 16 apresentam o aspecto das plantas ao final do experimento.

A altura da planta cultivada na estufa ao final do experimento foi de 26,4 cm, enquanto a planta externa atingiu 20,6 cm, representando um crescimento aproximadamente 28,2% superior. Conforme apresentado na Tabela 6, ambas as plantas iniciaram o experimento com a mesma altura, porém a planta mantida na estufa apresentou maior taxa de crescimento durante todo o período experimental.

Essa diferença pode ser atribuída à maior estabilidade térmica proporcionada pela estufa automatizada. Conforme apresentado na Tabela 5, a amplitude térmica média foi de aproximadamente 10,6 °C no ambiente externo, enquanto no interior da estufa essa amplitude foi reduzida para cerca de 5,6 °C devido ao acionamento automático da pastilha termoeletrica TEC1-12706 e dos coolers sempre que a temperatura ultrapassava o setpoint de 25 °C.

Em relação à umidade do solo, o vaso autoirrigável contribuiu para manter o substrato continuamente úmido durante o experimento. Dessa forma, o sensor de umidade foi utilizado para monitorar as condições do solo, não sendo observados períodos prolongados de déficit hídrico, favorecendo o desenvolvimento radicular da planta.

De modo geral, os resultados indicam que o ambiente automatizado proporcionou condições mais adequadas ao crescimento vegetal, demonstrando a eficácia da automação baseada em Arduino no controle ambiental de pequena escala.



Figura 15 – Comparativo entre a planta cultivada na estufa (à esquerda) e a planta cultivada em ambiente externo (à direita).

Fonte: Autor.



Figura 16 – Vista superior das plantas ao final do experimento.

Fonte: Autor.

Tabela 6 – Comparação da altura das plantas de salsão cultivadas na estufa e em ambiente externo durante o período experimental.

Dia	Estufa (cm)	Externo (cm)
0	12,0	12,0
5	15,5	14,1
10	19,8	16,4
15	23,6	18,7
20	26,4	20,6

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

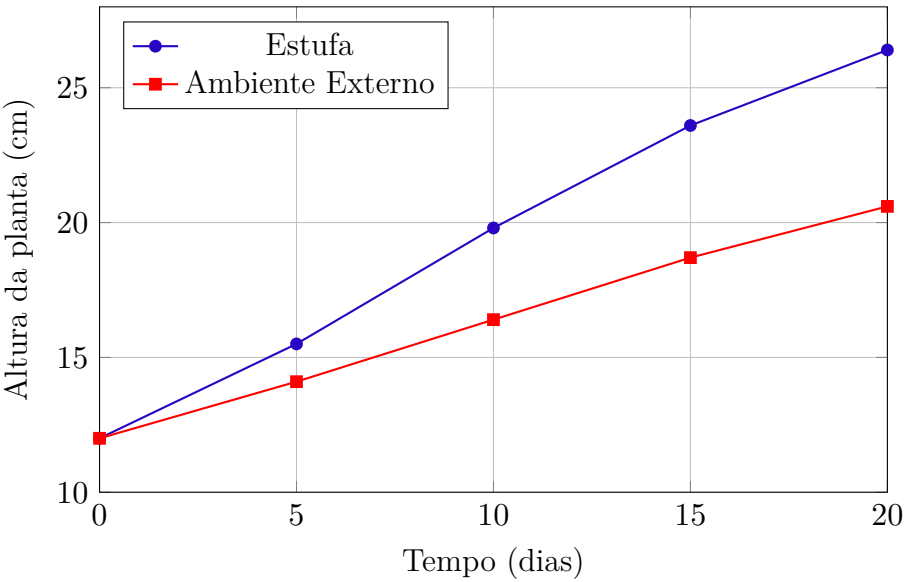


Figura 17 – Evolução da altura das plantas de salsão durante os 20 dias de experimento.

4.4 Considerações Finais

A análise dos resultados obtidos ao longo dos 20 dias de experimento evidencia que a estufa automatizada foi capaz de proporcionar um microclima mais favorável ao desenvolvimento do salsão quando comparada ao ambiente externo. Ambas as plantas iniciaram o experimento com altura de 12,0 cm; entretanto, ao final do período experimental, a planta cultivada na estufa atingiu 26,4 cm, enquanto a planta mantida em ambiente externo alcançou 20,6 cm.

O incremento total de crescimento foi de 14,4 cm na estufa e 8,6 cm no ambiente externo, correspondendo a taxas médias de crescimento de 0,72 cm/dia e 0,43 cm/dia, respectivamente. Esse desempenho representa um crescimento aproximadamente 28% superior no cultivo protegido.

A evolução temporal das medições demonstrou que, embora ambas as plantas tenham apresentado crescimento contínuo, a inclinação da curva de crescimento da planta em estufa foi significativamente maior ao longo de todo o experimento. Além do maior crescimento em altura, observou-se visualmente maior vigor vegetativo, coloração mais intensa e melhor estrutura foliar na planta cultivada sob controle automatizado.

Tabela 7 – Resumo comparativo do desenvolvimento das plantas durante o período experimental.

Parâmetro	Estufa	Ambiente Externo
Altura inicial (cm)	12,0	12,0
Altura final (cm)	26,4	20,6
Crescimento total (cm)	14,4	8,6
Crescimento médio (cm/dia)	0,72	0,43
Diferença de crescimento (%)	28,2% a favor da estufa	

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Os sensores de temperatura e umidade operaram de forma estável durante o período experimental, permitindo o monitoramento contínuo das variáveis ambientais. Os atuadores responderam adequadamente às variações detectadas, contribuindo para a manutenção de condições mais estáveis no interior da estufa. Essa estabilidade ambiental reduziu possíveis estresses térmicos e hídricos, favorecendo o desenvolvimento vegetativo.

Dessa forma, os resultados confirmam que o protótipo desenvolvido cumpriu sua proposta como modelo funcional de estufa automatizada. O sistema demonstrou viabilidade técnica e eficiência no controle ambiental em pequena escala, podendo servir como base para futuras melhorias, aplicações didáticas e expansão para sistemas agrícolas de maior porte.

5 Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver e avaliar um protótipo de estufa automatizada utilizando a plataforma Arduino, com a finalidade de monitorar e controlar variáveis importantes para o crescimento das plantas, como temperatura, umidade do ar e umidade do solo. O desenvolvimento do projeto possibilitou aplicar conceitos de automação, instrumentação e sistemas embarcados na construção de uma solução de baixo custo voltada ao controle do microclima em ambientes protegidos.

Durante o período experimental, o sistema apresentou funcionamento estável, realizando o monitoramento contínuo das variáveis ambientais e acionando automaticamente o sistema de refrigeração sempre que a temperatura interna ultrapassava o setpoint de 25 °C. A integração entre os sensores, os atuadores e o código desenvolvido mostrou-se eficiente, proporcionando maior estabilidade térmica no interior da estufa quando comparada ao ambiente externo.

No experimento realizado com o salsão (*Apium graveolens*), ao longo de 20 dias, ambas as plantas iniciaram o cultivo com altura de 12,0 cm. Ao final do período experimental, a planta cultivada na estufa atingiu 26,4 cm, enquanto a planta mantida em ambiente externo alcançou 20,6 cm, representando um crescimento aproximadamente 28,2% superior no ambiente automatizado. Além do maior crescimento em altura, observou-se visualmente melhor vigor vegetativo, folhas com coloração verde mais intensa e melhor aspecto geral da planta cultivada sob condições controladas.

Os resultados obtidos demonstram que a utilização de técnicas de automação de baixo custo foi capaz de proporcionar maior estabilidade ao microclima da estufa, favorecendo o desenvolvimento vegetal durante o período experimental. Embora o protótipo tenha sido desenvolvido em pequena escala, sua arquitetura permite futuras expansões, demonstrando potencial para aplicações didáticas e para projetos voltados à agricultura de precisão.

Como sugestões para trabalhos futuros, destacam-se:

- Substituir o sensor DHT11 por sensores de maior precisão, como o DHT22 ou o BME280, aumentando a confiabilidade das medições de temperatura e umidade;
- Implementar um sistema de irrigação automática baseado na leitura do sensor de umidade do solo, tornando o controle hídrico totalmente automatizado;
- Desenvolver uma interface para monitoramento remoto utilizando tecnologias de comunicação sem fio, como Wi-Fi ou ESP32, possibilitando o acompanhamento do

sistema por meio de dispositivos móveis;

- Implementação de um sistema inteligente de controle da iluminação utilizando LED Grow, baseado nas necessidades fisiológicas da planta e nas condições ambientais do cultivo.
- Também sugere-se a utilização da pastilha de Peltier para aquecimento da estufa em condições de baixas temperaturas, possibilitando o controle térmico automatizado tanto para resfriamento quanto para aquecimento.
- Utilização de vaso autoirrigável na planta cultivada em ambiente externo, visando padronizar as condições de irrigação entre os tratamentos.

Dessa forma, conclui-se que o protótipo desenvolvido atingiu os objetivos propostos, demonstrando a viabilidade da aplicação de sistemas automatizados de baixo custo no monitoramento e controle de ambientes protegidos. Além de contribuir para o desenvolvimento de soluções voltadas à agricultura de pequena escala, o projeto proporcionou a integração entre conhecimentos de automação, eletrônica, programação e instrumentação, evidenciando o potencial dessas tecnologias para aplicações práticas e acadêmicas.

Referências

AKPULONU, Victor Ugonna *et al.* Design and Construction of Arduino Based Greenhouse Monitoring System Using IoT. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, v. 12, n. 2, p. 189–198, 2024. DOI: [10.30574/wjaets.2024.12.2.0280](https://doi.org/10.30574/wjaets.2024.12.2.0280). Citado 1 vez na página 15.

ANDRADE, Clayton Mariano de. Controle de ambiente automatizado para cultivo de *Agaricus bisporus*, 2020. Citado 1 vez na página 14.

AOSONG ELECTRONICS. *DHT11 Temperature and Humidity Sensor: Technical Data Sheet*. 2018. Disponível em: <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2026. Citado 1 vez nas páginas 23, 24.

AZNAR-SÁNCHEZ, José A. *et al.* An Analysis of Global Research Trends on Greenhouse Technology: Towards a Sustainable Agriculture. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 17, n. 2, 2020. ISSN 1660-4601. DOI: [10.3390/ijerph17020664](https://doi.org/10.3390/ijerph17020664). Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/2/664>. Citado 1 vez na página 9.

COUTO, Ítala Lorrane Silva. *Desenvolvimento de um Sistema de Gerenciamento e Controle de Estufas de Pequeno Porte*. Uberlândia, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/43659>. Acesso em: 12 jul. 2026. Citado 2 vezes na página 15.

ELETROGATE. *Módulo Sensor de Umidade do Solo*. 2026. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/modulo-sensor-de-umidade-de-solo>. Acesso em: 12 jul. 2026. Citado 1 vez nas páginas 24, 25.

FERNANDES, Jainne Daniele FS *et al.* Refrigeração utilizando pastilhas de efeito peltier. *HOLOS*, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, v. 2, p. 25–31, 2010. Citado 1 vez na página 18.

FONSECA, Marcelo; CUSTÓDIO, Michele Menezes; FRANCA, Mauricio Paz. Automação no Plantio em Estufas: Controle de Irrigação no Consumo de Água e Eletricidade. *Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão*, v. 9, n. 4, 2020. Citado 1 vez na página 10.

GOMES, Flávio Henrique Ferreira *et al.* Calibração de um sensor de umidade do solo de baixo custo. *Revista brasileira de agricultura irrigada*, Instituto de Pesquisa e Inovação na Agricultura Irrigada-INOVAGRI, v. 11, n. 4, p. 1509, 2017. Citado 1 vez na página 17.

JOLLY, F. A. *et al.* Analyzing the Efficiency of Arduino UNO Microcontroller in Monitoring and Controlling the Microclimatic Parameters of Greenhouse. *Journal of Agrometeorology*, v. 26, n. 1, p. 51–55, 2024. DOI: [10.54386/jam.v26i1.2520](https://doi.org/10.54386/jam.v26i1.2520). Citado 1 vez na página 15.

MACEDO, Elaine de Fátima Soares; JÚNIOR, Nelson Nishizaki. A importância do planejamento logístico com foco no crescimento da demanda da cadeia produtiva de alimentos até 2050. *Refas-Revista Fatec Zona Sul*, v. 3, n. 3, p. 31–45, 2017. Citado 1 vez na página 10.

PACHECO, Daniel Germano; OLIVEIRA, Cintia Carvalho. Estufa controladora: Controle de Temperatura e Umidade. *EnPE*, v. 10, n. 1, 2023. Citado 1 vez na página 17.

PINTO, Erika de Paula Pedro *et al.* Aquecimento Global, 2010. Citado 1 vez na página 9.

RIBEIRO, Rodrigo Rudge Ramos. O efeito dos desastres na naturais no setor agrícola. *AgroANALYSIS*, v. 36, n. 11, p. 27–28, 2016. Citado 1 vez na página 9.

ROSSMANN ELECTRONIC GMBH. *Product Specification of Thermoelectric Cooling Module RO6.0-51.4 (TEC1-12706)*. 2024. Datasheet do fabricante. Citado 1 vez nas páginas 26, 27.

SELEGUINI, Alexsander; SENO, Shizuo; JÚNIOR, Max José de Araújo Faria. Híbridos de tomateiro industrial cultivados em ambiente protegido e campo aberto. *Científica*, v. 35, n. 1, p. 80–87, 2007. Citado 1 vez na página 10.

SILVA, KATIA LOPES *et al.* Desenvolvimento de Controles Automatizados em Estufas Agrícolas. *Intercursos Revista Científica*, v. 22, n. 1, p. 86–107, 2023. Citado 2 vezes na página 9.

SIRIO, Daniel Henrique Silveira. Sistema de monitoramento e controle de estufas para cultivo de temperos., 2022. Citado 5 vezes nas páginas 10, 13, 14, 18, 29.

SOUZA, Anderson R de *et al.* A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 33, p. 01–05, 2011. Citado 1 vez na página 16.

SOUZA FILHO, Hildo M *et al.* Agricultura Familiar e Tecnologia no Brasil: características, desafios e obstáculos. In: XLII Congresso Da Sociedade Brasileira De Economia E Sociologia Rural. 2004. Citado 1 vez na página 14.

TEIXEIRA, Jodenir Calixto. Modernização da agricultura no Brasil: impactos econômicos, sociais e ambientais. *Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros, Seção Três Lagoas*, p. 21–42, 2005. Citado 1 vez na página 13.

ZHAO, Xiaoyu *et al.* Comprehensive analysis of HSF genes from celery (*Apium graveolens* L.) and functional characterization of AgHSFa6-1 in response to heat stress. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, 2023. DOI: [10.3389/fpls.2023.1132307](https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1132307). Citado 1 vez na página 34.

ZOLNIER, Sérgio. Ambientes climatizados para produção vegetal. *In:* SN. III Congresso Brasileiro de Biometeorologia, Universidade Estadual de Maringá, UEM, Maringá, PR, Brazil. 2001. p. 12. Citado 1 vez na página [10](#).

Apêndices

APÊNDICE A – Código-fonte do Arduino

Neste apêndice é apresentado o código-fonte desenvolvido para a plataforma de desenvolvimento Arduino Uno, responsável pelo monitoramento das variáveis ambientais e pelo acionamento do sistema de controle térmico da estufa.

```

1 #include <Wire.h>
2 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
3 #include "DHT.h"
4
5 // =====
6 // LCD
7 // =====
8 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
9
10 // =====
11 // DHT11
12 // =====
13 #define DHTPIN A1
14 #define DHTTYPE DHT11
15 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
16
17 // =====
18 // Sensor de Umidade do Solo
19 // =====
20 #define umidadeAnalogica A0
21 #define umidadeDigital 2
22
23 int valorUmidade = 0;
24 int valorUmidadeDigital = 0;
25
26 // =====
27 // Controle do Transistor
28 // =====
29 #define PINO_TRANSISTOR 8
30
31 #define SETPOINT 25.0
32 #define HISTERESE 1.0
33
34 bool refrigeracaoLigada = false;
35
36 unsigned long tempo;
37
38 void setup() {
39

```

```

40 Serial.begin(9600);
41
42 dht.begin();
43
44 lcd.init();
45 lcd.backlight();
46
47 pinMode(umidadeAnalogica, INPUT);
48 pinMode(umidadeDigital, INPUT);
49
50 pinMode(PINO_TRANSISTOR, OUTPUT);
51
52 digitalWrite(PINO_TRANSISTOR, LOW);
53
54 lcd.setCursor(0, 0);
55 lcd.print("    TCC Leandro");
56 delay(2000);
57 lcd.clear();
58
59 // Cabeçalho CSV
60 Serial.println("Tempo(s);Temperatura;UmidadeAr;UmidadeSolo(%);StatusSolo"
61               ");
62
63 void loop() {
64
65     tempo = millis() / 1000;
66
67     // =====
68     // Leitura do DHT11
69     // =====
70     float h = dht.readHumidity();
71     float t = dht.readTemperature();
72
73     // =====
74     // Exibição no LCD
75     // =====
76     lcd.setCursor(0, 0);
77     lcd.print("Temp: ");
78
79     if (!isnan(t)) {
80         lcd.print(t, 1);
81         lcd.print((char)223);    // Símbolo °
82         lcd.print("C ");
83     } else {
84         lcd.print("Erro");
85     }

```

```

86
87   lcd.setCursor(0, 1);
88   lcd.print("Umidade: ");
89
90   if (!isnan(h)) {
91       lcd.print(h, 0);
92       lcd.print("% ");
93   } else {
94       lcd.print("Erro");
95   }
96
97   // =====
98   // Controle da temperatura
99   // Liga em 25 °C
100  // Desliga em 24 °C (Histerese)
101  // =====
102  if (!isnan(t)) {
103
104      if ((t >= SETPOINT) && (!refrigeracaoLigada)) {
105          refrigeracaoLigada = true;
106          digitalWrite(PINO_TRANSISTOR, HIGH);
107      }
108
109      if ((t <= (SETPOINT - HISTERESE)) && refrigeracaoLigada) {
110          refrigeracaoLigada = false;
111          digitalWrite(PINO_TRANSISTOR, LOW);
112      }
113  }
114
115  // =====
116  // Leitura do sensor de solo
117  // =====
118  valorUmidade = analogRead(umidadeAnalogica);
119
120  valorUmidade = map(valorUmidade, 1023, 315, 0, 100);
121  valorUmidade = constrain(valorUmidade, 0, 100);
122
123  valorUmidadeDigital = digitalRead(umidadeDigital);
124
125  lcd.setCursor(0, 3);
126  lcd.print("                ");
127  lcd.setCursor(0, 3);
128
129  String statusSolo;
130
131  if (valorUmidadeDigital == LOW) {
132

```

```
133     statusSolo = "UMIDO";
134
135     lcd.print("Solo: UMIDO ");
136     lcd.print(valorUmidade);
137     lcd.print("%");
138
139 } else {
140
141     statusSolo = "SECO";
142
143     lcd.print("Solo: SECO ");
144     lcd.print(valorUmidade);
145     lcd.print("%");
146 }
147
148 // =====
149 // Registro das leituras (CSV)
150 // =====
151 Serial.print(tempo);
152 Serial.print(";");
153
154 Serial.print(t);
155 Serial.print(";");
156
157 Serial.print(h);
158 Serial.print(";");
159
160 Serial.print(valorUmidade);
161 Serial.print(";");
162
163 Serial.println(statusSolo);
164
165 delay(2000);
166 }
```

Listing A.1 – Código-fonte implementado no Arduino Uno.

Anexos

ANEXO A – Declaração de uso de Inteligência Artificial

ANEXO A – Declaração de uso de Inteligência Artificial Generativa no processo de escrita científica

Durante a preparação deste trabalho, eu, **Leandro Rodrigues Goularte**, estudante do curso de **Engenharia de Controle e Automação** da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), declaro ter utilizado a ferramenta **ChatGPT (OpenAI)**, baseada em modelos de linguagem de grande escala (LLM), como apoio ao desenvolvimento da pesquisa e à elaboração do texto acadêmico. A ferramenta foi utilizada para esclarecimento de dúvidas, organização do texto, revisão da escrita, auxílio na formatação em LaTeX e apoio na elaboração de elementos gráficos e tabelas.

Após a utilização da ferramenta, todo o conteúdo foi revisado, conferido e adaptado pelo autor, que assume integral responsabilidade pelas informações, análises, interpretações e conclusões apresentadas neste trabalho.

Etapas em que a Inteligência Artificial Generativa foi utilizada e exemplos de prompts adotados:

- **Apoio à organização e revisão do texto**, buscando maior clareza, coesão e adequação à linguagem acadêmica.
Exemplos de prompts: "Revise este parágrafo."; "Sugira melhorias para este texto."; "Traduza este resumo para o inglês."
- **Auxílio na formatação em LaTeX**, incluindo tabelas, figuras, fluxogramas, referências e organização dos elementos do documento.
Exemplos de prompts: "Como inserir uma tabela em LaTeX?"; "Como criar um fluxograma?"; "Como organizar os apêndices e anexos?"
- **Apoio na interpretação e apresentação dos resultados experimentais**, auxiliando na descrição dos dados obtidos e na organização das informações em tabelas e gráficos.
Exemplos de prompts: "Como apresentar estes resultados?"; "Organize estes dados em uma tabela."; "Revise a descrição desta análise."