

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**AUTOR: MATEUS CIRILO DE SOUZA
ORIENTADOR: PROF. DR. RICARDO ZELENOVSKY**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
“PROPOSTA DE CÂMARA DE CULTIVO DE COGUMELOS AUTOMÁTICA”**

**BRASÍLIA
NOVEMBRO DE 2021**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA**

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

PROPOSTA DE CÂMARA DE CULTIVO DE COGUMELOS AUTOMÁTICA

Autor: Mateus Cirilo de Souza

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Zelenovsky

Relatório submetido ao Departamento de Engenharia Elétrica como requisito parcial
para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista

Banca Examinadora

Prof. Ricardo Zelenovsky, ENE/UnB

Orientador

Prof. Alexandre Romariz, ENE/UnB

Examinador interno

Prof. Eduardo Peixoto, ENE/UnB

Examinador interno

Dedicatória

Aos professores da natureza e seus mistérios.

Agradecimentos

Agradeço aos meus familiares e a minha companheira pelos constantes suporte e incentivo em todas as etapas desse projeto e fora dele.

Agradeço ao meu orientador Ricardo Zelenovsky por ter sido o guia dessa caminhada.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo propor um circuito de sensores de temperatura, de umidade e de qualidade do ar que, conectado a um microcontrolador do tipo MSP430F5529 e uma variedade de dispositivos, possa medir e controlar automaticamente esses parâmetros ambientais com a finalidade de facilitar o cultivo de cogumelos em câmaras ou ambientes internos, uma vez que a realização manual dessa atividade é trabalhosa e sensível a erros. Adicionalmente, construiu-se um protótipo capaz de realizar esse controle dentro de uma câmara. O protótipo foi submetido a diversos ensaios a fim de avaliar seu funcionamento. O aquecimento, a elevação da umidade relativa e a renovação do ar foram atingidos com sucesso, enquanto que a refrigeração e a comunicação sem fio não foram obtidas com êxito. Ao final fez-se um balanço do que o protótipo alcançou e o que pode ser melhorado em projetos futuros. Nesse trabalho buscou-se promover o interesse em micologia e abrir caminho para novos projetos nessa área.

Palavras-chave: cogumelo; micologia; automação; microcontrolador.

ABSTRACT

The objective of this work is to propose a circuit composed of temperature, humidity and air quality sensors that, when connected to a MSP430F5529 microcontroller and various devices, can measure and control those ambient parameters with the end goal of facilitating the cultivation of mushrooms indoors, given that the manual way of this activity is hard and sensible to errors. A prototype was built and put through several scenarios to evaluate what was successful. Heat control, humidity raise and air exchange were achieved successfully, while refrigeration and wireless communication were not. This work may facilitate mushroom growing, promote mycology, and open new paths for future projects in this area.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE SÍMBOLOS.....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Contextualização.....	1
1.2 Motivação.....	2
1.3 Objetivos do Projeto.....	2
1.4 Estrutura do Trabalho.....	2
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
2.1 Aspectos Biológicos do Cultivo de Cogumelos.....	4
3. HARDWARE E CONCEITOS FUNDAMENTAIS.....	6
3.1 Quadro Resumo do Hardware.....	6
3.2 Microcontrolador.....	7
3.3 Sensor de Temperatura e Umidade.....	8
3.3.1 Comunicação 1-Wire.....	9
3.4 Sensor de Gases Tóxicos.....	10
3.4.1 Conversor AD.....	12
3.5 Mostrador de LCD.....	12
3.5.1 Comunicação I2C.....	13
3.6 Transceptor sem fio.....	13
3.6.1 Comunicação SPI.....	14
3.7 Lâmpada de Calor.....	14
3.7.1 Efeito Joule.....	15
3.8 Placa de Efeito Peltier.....	15

3.8.1 Efeito Peltier.....	16
3.9 Umificador Ultrassônico.....	17
3.10 Ventoinhas de 5V.....	18
3.11 MOSFET como um acionador.....	18
4. PROTÓTIPO.....	20
4.1 Esquemático do Protótipo.....	20
4.2 Montagem da Câmara.....	20
4.3 Esquema Elétrico.....	22
5. SOFTWARE.....	24
5.1 Interface Gráfica em Python.....	24
5.2 Inicialização e Laço Principal.....	26
5.3 Modo Entrada de Dados.....	27
5.4 Controle do Ambiente.....	27
5.5 Acesso ao Código Fonte.....	28
6. ENSAIOS.....	29
6.1 Ensaio 1: Coleta de Dados.....	29
6.2 Ensaio 2: Lâmpada de Calor.....	31
6.3 Ensaio 3: Sensor de Qualidade do Ar.....	34
6.4 Ensaio 4: Umificador.....	38
6.5 Ensaio 5: Placa de Efeito Peltier.....	40
6.6 Problemas de Comunicação Entre os Rádios.....	43
7. CONCLUSÕES E CONTINUIDADE.....	45
REFERÊNCIAS.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: ilustração de técnicas empregadas no cultivo de cogumelos [1].....	6
Figura 2: Placa do microcontrolador MSP430F5529 [Texas Instruments].....	8
Figura 3: Sensor de temperatura e umidade DHT-22 [World Chips].....	9
Figura 4: protocolo de comunicação empregado no sensor DHT22. [19].....	9
Figura 5: diagrama esquemático do sensor MQ-135. [17].....	11
Figura 6: curvas de sensibilidade a diferentes gases no sensor MQ-135 [17].....	11
Figura 7: Sensor de Qualidade do Ar MQ-135 [NatalMakers].....	12
Figura 8: exemplo de funcionamento do mostrador de LCD.....	13
Figura 9: Transceptor sem fio NRF24L01 [Microwat].....	14
Figura 10: Lâmpada cerâmica de calor Fxin [Shopee].....	15
Figura 11: Placa de Efeito Peltier TEC1-12706. [Shopee].....	16
Figura 12: ilustração do Efeito Peltier. [ilustração de Ken Brazier].....	17
Figura 13: Módulo de umidificador ultrassônico SJ303 [Shopee].....	18
Figura 14: Ventoinhas de 5V [Shopee].....	18
Figura 15: Exemplo de uso de um MOSFET canal-N.....	19
Figura 16: Esquemático do protótipo.....	20
Figura 17: Vista superior do protótipo.....	21
Figura 18: Vista lateral do protótipo.....	22
Figura 19: Esquema Elétrico do protótipo.....	23
Figura 20: exemplo de funcionamento da Interface Gráfica no projeto.....	24
Figura 21: Exemplo de dados recebidos via porta USB.....	25
Figura 22: Exemplo de arquivo de texto gerado pela Interface Gráfica.....	25
Figura 23: Exemplo de funcionamento do programa auxiliar.....	26
Figura 24: Fluxograma da rotina principal.....	28
Figura 25: exemplo de gráfico de temperatura pela Interface Gráfica.....	29
Figura 26: exemplo de gráfico de umidade relativa pela Interface Gráfica.....	30
Figura 27: exemplo de gráfico de gás carbônico pela Interface Gráfica.....	31
Figura 28: gráfico de temperatura referente ao Ensaio 2.....	32
Figura 29: gráfico de umidade referente ao Ensaio 2.....	33
Figura 30: gráfico do nível de CO2 referente ao Ensaio 2.....	34
Figura 31: gráfico de temperatura referente ao Ensaio 3.....	36
Figura 32: gráfico de umidade referente ao Ensaio 3.....	37

Figura 33: gráfico do nível de CO2 referente ao Ensaio 3.....	38
Figura 34: gráfico de umidade referente ao Ensaio 4.....	39
Figura 35: gráfico de temperatura do Ensaio 5, Tentativa 1.....	41
Figura 36: gráfico de temperatura do Ensaio 5, Tentativa 2.....	42
Figura 37: gráfico de temperatura do Ensaio 5, Tentativa 3.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quadro Resumo do Hardware.....	7
Tabela 2: Eventos do Ensaio 2.....	31
Tabela 3: Eventos do Ensaio 3.....	34
Tabela 4: Eventos do Ensaio 4.....	38
Tabela 5: Eventos do Ensaio 5.....	40

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLOS QUÍMICOS

CO ₂	Dióxido de carbono
CO	Monóxido de carbono
NH ₄	Cátion amônio

SIGLAS

AD	Analógico / digital
I ² C	Circuito Inter-integrado
LCD	Liquid Cristal Display
MCU	Microcontrolador
MOSFET	Metal–Oxide–Semiconductor Field-Effect Transistor
PPM	Partes Por Milhão
SPI	Serial Peripheral Interface
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Seja em seu uso místico entre os Antigos Gregos, medicinal entre os chineses e japoneses ou religioso entre os aztecas e povos indígenas do México, o cultivo de cogumelos tem acompanhado a história humana há milênios. Devido ao seu rico conteúdo proteico, níveis significativos de vitaminas C e do Complexo B, baixa quantidade de gordura e capacidade de reduzir os níveis sanguíneos de colesterol, dentre outros benefícios, há um grande potencial no uso de cogumelos na alimentação humana [1]. Além disso, cogumelos possuem ergosterol, um precursor da vitamina D2, que pode ser parcialmente convertido em quantidades significativas de vitamina D quando exposto à luz ultravioleta natural ou artificial [2].

No campo da psicoterapia, editoriais científicos de grande impacto como *Science* e *Scientific American* têm evidenciado o uso da psilocibina, uma substância produzida por fungos da família *Psilocibe*, no tratamento de depressão, vícios e doenças mentais [3]. Um estudo de 2021 publicado em *The New England Journal of Medicine* concluiu que a psilocibina foi tão eficiente quanto o Escitalopram, um medicamento amplamente utilizado no combate de depressão e ansiedade [4]. Em outro estudo, realizado pela *Johns Hopkins University*, pacientes com depressão severa receberam duas doses em seções terapêuticas da substância encontrada em fungos e apresentaram rápida e substancial melhora dos sintomas depressivos; adicionalmente, metade dos participantes percebeu remissão dos sintomas durante as quatro semanas de acompanhamento depois do uso [5].

Fungos e cogumelos também apresentam mais de 100 propriedades medicinais, como serem antioxidantes, anticâncer, antidiabéticos, antialérgicos, melhoradores do sistema imunológico e cardiovascular, inibidores da ação de vírus e bactérias, protetores contra tumores e contra processos inflamatórios [6].

Em seu aspecto econômico, o cultivo de cogumelos movimentou cerca de US\$ 54 bilhões de dólares a nível mundial em 2019 e possui uma expectativa de crescimento anual de mais de 8% no período entre 2020 e 2025 [7]. As expectativas para o desenvolvimento do setor se devem ao crescente interesse gastronômico e

medicinal pelos cogumelos, além de movimentos em busca de alimentos mais naturais e saudáveis, como o veganismo, que vem ganhando cada vez mais adeptos [7]. No Brasil, mesmo com o baixo consumo per capita em comparação com outros países, a demanda é maior que a oferta, o que torna o mercado dependente de importações. Esse cenário torna a produção de cogumelos em um grande atrativo para a criação de novos negócios [8].

1.2 Motivação

Tendo em vista que os aspectos citados são um pequeno conjunto dos inúmeros benefícios trazidos pelo consumo de cogumelos e sendo continuamente descobertos pela ciência, além de terem um valioso potencial econômico, buscou-se nesse projeto uma forma de facilitar o processo de cultivo caseiro.

Esse cultivo é sensível a uma série de parâmetros ambientais que podem ser monitorados e manipulados por um microcontrolador e alguns dispositivos. Optou-se pelo microcontrolador MSP430F5529 da *Texas Instruments* devido ao seu baixo custo, riqueza de recursos e ferramentas para *debugging*.

1.3 Objetivos do Projeto

O presente trabalho propõe uma câmara de cultivo interligada a um microcontrolador capaz de:

- Colher periodicamente dados do ambiente;
- Possibilitar a visualização gráfica desses dados ao longo do tempo;
- Ser programável remotamente pelo usuário por meio de interface gráfica em computador;
- Realizar o eficaz controle da temperatura, da umidade e da ventilação;
- Promover o ambiente ideal para o crescimento saudável de cogumelos de forma automática.

1.4 Estrutura do Trabalho

O documento está dividido em sete capítulos. O atual aborda aspectos introdutórios do projeto desenvolvido, seus objetivos e a organização do trabalho.

O capítulo segundo aborda a biologia do crescimento e reprodução dos cogumelos a fim de justificar a escolha dos dispositivos empregados no protótipo.

O capítulo terceiro descreve o funcionamento de cada equipamento e sensor utilizados e conceitos relacionados.

O capítulo quarto descreve e ilustra a montagem do protótipo.

O capítulo quinto aborda a estrutura geral de funcionamento do código principal e aspectos dos códigos auxiliares.

O capítulo sexto apresenta o resultado de diversos ensaios que evidenciam o que atendeu e o que não atendeu à proposta inicial.

Por fim, o capítulo sétimo apresenta a conclusão do trabalho e aborda possíveis caminhos para sua continuidade.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir apresenta-se uma pequena exposição sobre a biologia dos cogumelos que justifica a escolha dos dispositivos eletrônicos utilizados no projeto e descritos no capítulo terceiro.

2.1 Aspectos Biológicos do Cultivo de Cogumelos

Embora tenham sido inicialmente classificados como plantas, fungos são organismos cujas células estão mais próximas das células animais, já que não produzem o próprio alimento por fotossíntese e precisam absorver os nutrientes disponíveis no ambiente por meio de enzimas digestivas. Também necessitam de oxigênio e liberam gás carbônico durante a respiração. Devido a essas e outras características, receberam um reino à parte: *Fungi* [14].

Alguns fungos formam um corpo de frutificação chamado cogumelo, que cresce a partir do micélio – uma extensa rede celular que coloniza seu substrato. Há aproximadamente um milhão e meio de espécies de fungos no mundo, uma quantidade seis vezes maior que o número de espécies de plantas [16]. Cerca de 20 mil dessas espécies de fungos produzem cogumelos, alguns deles bioluminescentes. Quando maduros, os cogumelos liberam os esporos – estruturas funcionalmente similares às sementes vegetais, embora estruturalmente muito diferentes – que são carregados pelo vento ou por animais e, quando encontram o substrato adequado e condições favoráveis, o colonizam para reiniciar o ciclo reprodutivo [15].

Os cogumelos são classificados basicamente em três grupos ecológicos: micorrizas, parasitas e saprófagos. O primeiro grupo forma estruturas simbióticas com raízes vegetais, o segundo tem relações parasíticas com vegetais e o terceiro é formado pelos decompositores [15]. Todos os grupos contêm espécies de interesse gastronômico e medicinal [9].

O registro mais antigo de um organismo multicelular é um fungo fossilizado descoberto na África; além disso, o maior e mais antigo ser ainda vivo é um fungo que habita o subsolo de regiões montanhosas nos Estados Unidos [16].

As plantas são amplamente conhecidas como uma parte fundamental do ciclo do carbono: consomem gás carbônico e liberam gás oxigênio. Em seguida, há o importante papel exercido pelos fungos de fixação do átomo de carbono remanescente no subsolo. Cerca de 70% do carbono utilizado no processo de fotossíntese é direcionado para as raízes que os trocam por outros nutrientes tendo os fungos como mediadores. Por sua vez, o carbono armazenado pelos fungos alimenta toda uma rede microbiana e de decomposição na cadeia alimentar, o que estabiliza os níveis de carbono no solo [16].

Para a grande maioria dos cogumelos cultiváveis, o ambiente de cultivo apresenta características em comum: necessidade de regulação da temperatura, umidade relativa alta e limite de tolerância à concentração de gás carbônico. A depender da espécie cultivada, as faixas ideais desses parâmetros podem variar consideravelmente [14].

Um grande ponto de diferenciação entre as espécies é o substrato adequado: há cogumelos que crescem em madeiras específicas, outros podem crescer em grãos e, ainda, há os que crescem em esterco. Há também cogumelos que podem ser cultivados ao ar livre. É fundamental, portanto, conhecer as peculiaridades da espécie escolhida para garantir que o ambiente de desenvolvimento seja adequado [16].

A Figura 2 apresenta possíveis caminhos para a propagação de cogumelos. O presente trabalho propõe um ambiente adequado a qualquer espécie que possa ser cultivada em ambientes fechados, como a maioria dos cogumelos comerciais.

Com base no que foi citado sobre a biologia dos cogumelos, pode-se concluir que na criação de um ambiente fechado voltado para o cultivo de cogumelos é fundamentalmente necessário haver o controle da temperatura, da umidade e dos níveis de gás carbônico, uma vez que cada espécie precisa estar em faixas de temperatura e umidade específicas, além da renovação periódica do ar para sua respiração, a fim de promover o crescimento saudável dos cogumelos.

No capítulo a seguir são apresentados os componentes escolhidos para exercer esses papéis de controle, os microcontroladores responsáveis pela comunicação e aspectos teóricos relacionados ao funcionamento de cada componente.

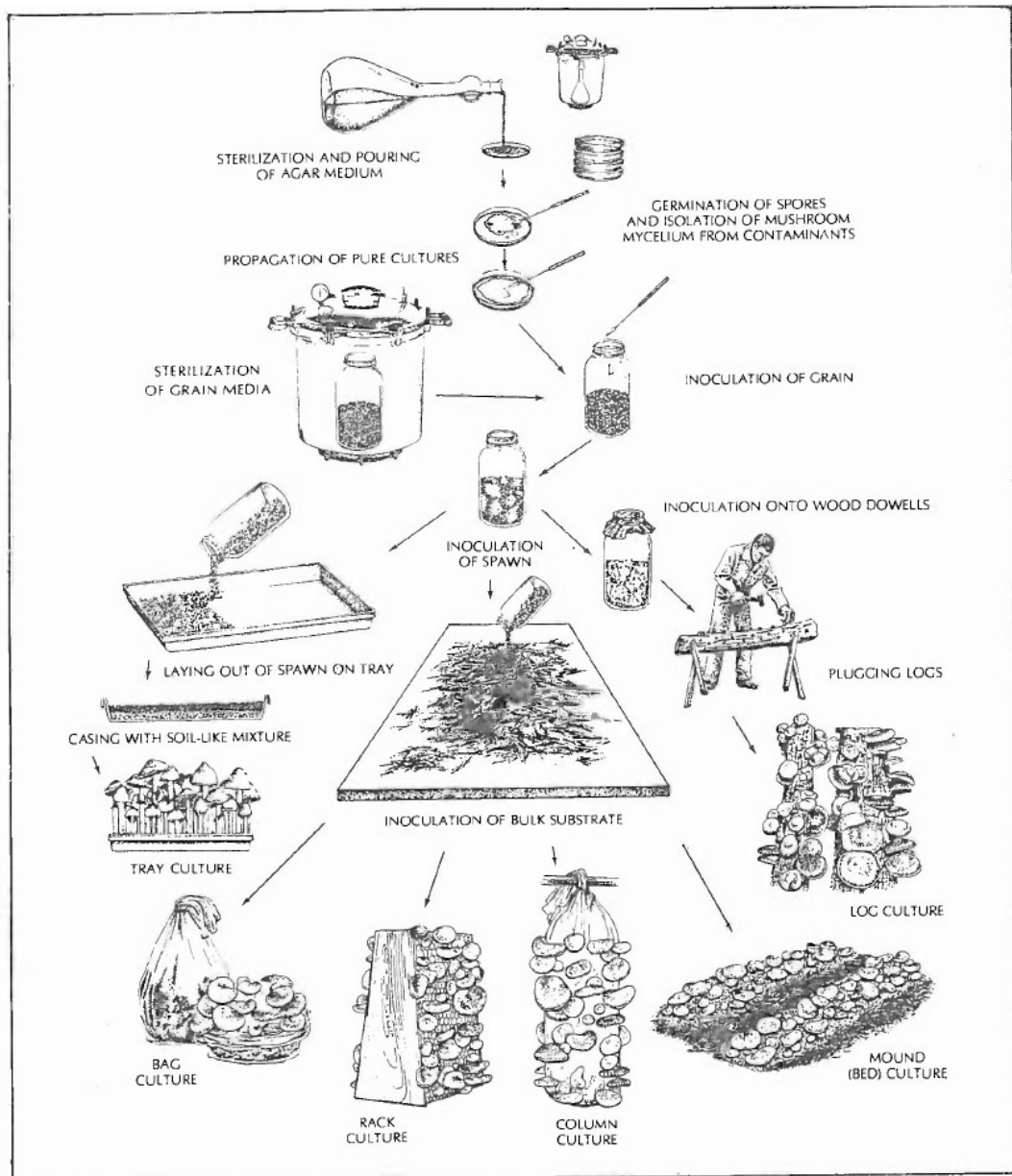


Figura 1: ilustração de diferentes técnicas empregadas no cultivo de cogumelos [1].

3. HARDWARE E CONCEITOS FUNDAMENTAIS

3.1 Quadro Resumo do Hardware

A Tabela 1 apresenta a lista dos dispositivos empregados, suas funções e seus preços de aquisição. Não foram incluídos os custos de montagem nem itens

acessórios tais como fiação, solda e cola nem componentes eletrônicos como capacitores, diodos e resistores.

Tabela 1: Quadro Resumo do Hardware.

Componente	Função	Valor estimado (R\$)
MSP430F5529 (x2)	Realizar a comunicação, coletar dados e acionar os dispositivos.	$150 * 2 = 300,00$
DHT-22	Medir a temperatura e a umidade.	45,00
MQ-135	Medir o nível de gás carbônico.	20,00
NRF24L01 (x2)	Transmitir e receber dados sem fio.	$10,00 * 2 = 20,00$
LCD 16x2 HD44780	Exibir as medidas ambientais em tempo real.	45,00
Lâmpada Cerâmica de Calor	Promover o aquecimento da câmara.	50,00
TEC1-12706	Promover o resfriamento da câmara.	20,00
Umificador Ultrassônico	Promover o aumento da umidade na câmara.	30,00
Ventoinhas (x2)	Promover a renovação do ar na câmara.	$10,00 * 2 = 20,00$

O valor estimado total para os equipamentos foi de R\$ 550,00. Numa próxima etapa do projeto, como será discutido nos capítulos finais, a criação de uma placa de circuito impresso pode diminuir os custos do produto final.

3.2 Microcontrolador

Utilizou-se no presente trabalho o microcontrolador MSP430F5529, fabricado pela *Texas Instruments*, devido ao seu baixo custo, grande quantidade de pinos disponíveis (GPIO), presença de diversas estruturas para comunicação, conversor A/D, baixo consumo de energia e facilidade em realizar *debugging* [11].

Há dois microcontroladores desse modelo no projeto: um deles é o principal e responsável pela leitura das medidas, pelo controle dos dispositivos e pelo envio dos dados. O outro possui apenas um dispositivo de rádio, que será descrito nesse

capítulo, e tem a função de completar a comunicação sem fio com o microcontrolador principal.

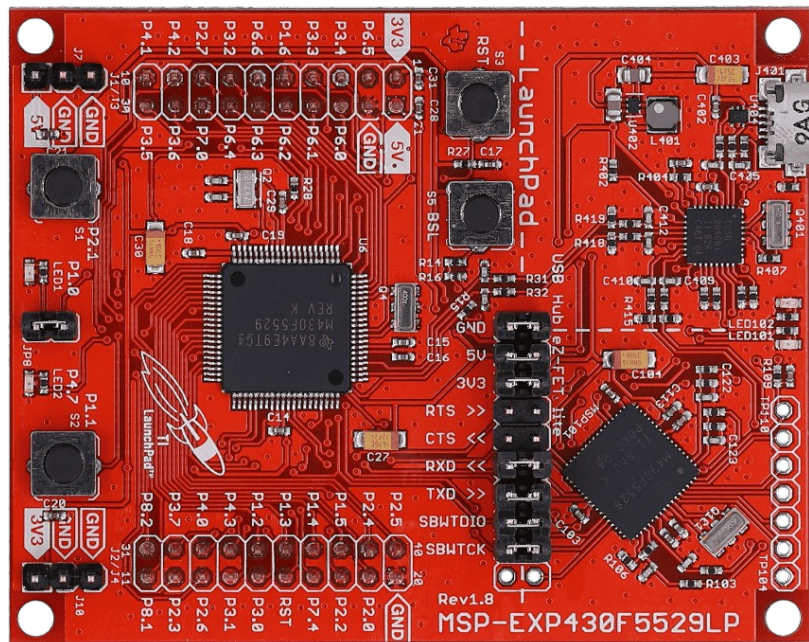


Figura 2: Placa de desenvolvimento do microcontrolador MSP430F5529 [Texas Instruments].

3.3 Sensor de Temperatura e Umidade

O DHT-22, também chamado de AM2302, é um dispositivo capaz de medir temperatura e umidade. Os dados são enviados em formato digital. O protocolo de comunicação exige apenas um fio, onde a linha fica em nível alto até que o microcontrolador inicie a comunicação (Figura 4). O sinal de início é gerado quando o microcontrolador força a linha para nível baixo por um tempo mínimo.

Em seguida o sensor envia um sinal de resposta para confirmar que compreendeu o sinal de início. Depois os bits são enviados do mais significativo para o menos significativo, onde os 16 primeiros descrevem a umidade, os 16 seguintes a temperatura e os 8 últimos um valor de paridade.

Caso a soma dos 32 primeiros bits seja diferente do valor de paridade, é porque houve um erro no envio dos dados e a medida deverá ser descartada. Embora o manual do dispositivo chame esse valor de confirmação de paridade, essa

operação é normalmente chamada de *checksum*, ou checagem de soma. Ensaios de longa duração (várias horas) nunca detectaram erro nessa comunicação.

A distinção entre um bit '0' e um bit '1' está no tempo em que a linha fica em nível alto durante o envio desse bit. Os sinais de nível '1' tem tempos maiores em nível alto. Para se obter a medida em valor decimal, deve-se converter os bits para seus respectivos valores decimais e em seguida dividir por 10.

Esse sensor exige um tempo mínimo de 2 segundos entre cada medida, o que foi um fator determinante na periodicidade da execução das medidas no programa principal. A comunicação é do tipo *1-wire*.

World Chips

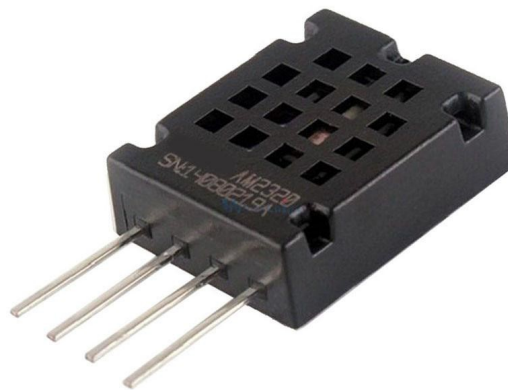


Figura 3: Sensor de temperatura e umidade DHT-22 [World Chips].

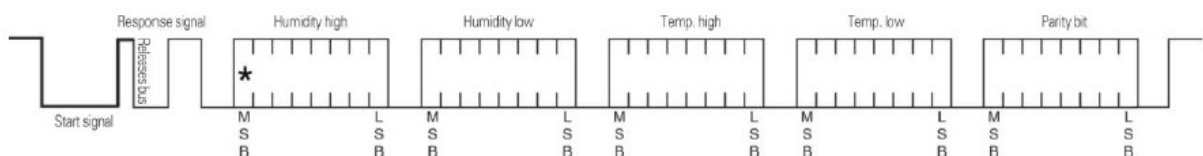


Figura 4: esquemático do protocolo de comunicação empregado no sensor DHT22. [19]

3.3.1 Comunicação 1-Wire

O protocolo 1-Wire, desenvolvido pela Dallas Semiconductor, é caracterizado pelo uso de apenas dois fios, um para os dados e outro para a alimentação. Vários

dispositivos podem ser conectados ao barramento, sendo um deles o mestre. Este é responsável por iniciar as comunicações e analisar possíveis conflitos para, se for o caso, reiniciar a comunicação [10].

Há um resistor de *pullup* entre o barramento e a alimentação, o que significa que a linha está em nível alto enquanto inativa. O mestre deve colocar a linha em zero por um tempo especificado no manual de cada dispositivo para iniciar a comunicação.

O envio e leitura dos bits nesse tipo de comunicação é caracterizado pelo tempo em que a linha está em nível alto ou baixo. O sensor de temperatura e umidade empregado no projeto faz uso desse protocolo.

3.4 Sensor de Gases Tóxicos

O sensor MQ-135 mede a qualidade do ar. Há um indutor dentro de uma câmara composta por plástico e uma rede de metal (Figura 5). A rede serve como um filtro para evitar a entrada de partículas. Há também um aquecedor, que garante o correto funcionamento do dispositivo após um tempo mínimo ligado, e eletrodos que medem a corrente fluindo pelo indutor. De acordo com a concentração de determinados gases na câmara, essa corrente varia. Ela é calibrada pelo resistor RL, mostrado na figura Figura 5.

Dessa maneira, o sensor pode medir a concentração de diversos gases, como CO₂, CO e NH₄ (Figura 6). Para a aplicação desse projeto o único gás de interesse é o CO₂. Como a presença de outros gases sensíveis ao dispositivo não é esperada, podemos ler suas medidas como exclusivamente de dióxido de carbono.

O principal interesse nesse dado é assegurar que os níveis de dióxido de carbono na estufa não fiquem altos demais, o que poderia prejudicar o crescimento saudável dos cogumelos. Essa correção deverá ser feita por ventiladores para promover a renovação do ar no interior da câmara.

No módulo utilizado, o sensor MQ-135 já está conectado à resistência RL sugerida no manual do sensor, então não foi necessário fazer ajustes de sensibilidade. O sensor envia dados analógicos que são lidos com o uso do conversor A/D de 12 bits.

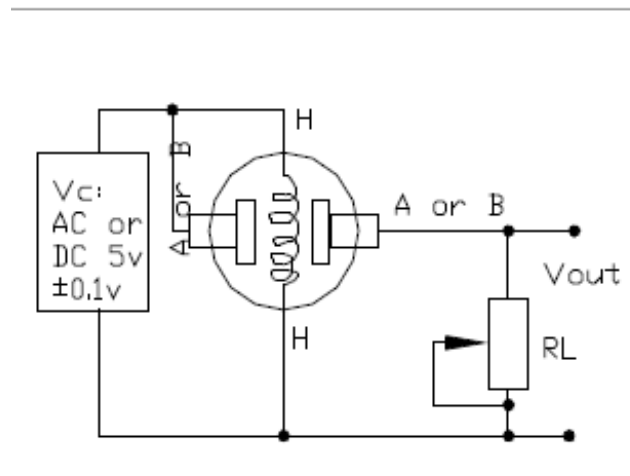


Figura 5: diagrama esquemático do sensor MQ-135. [17]

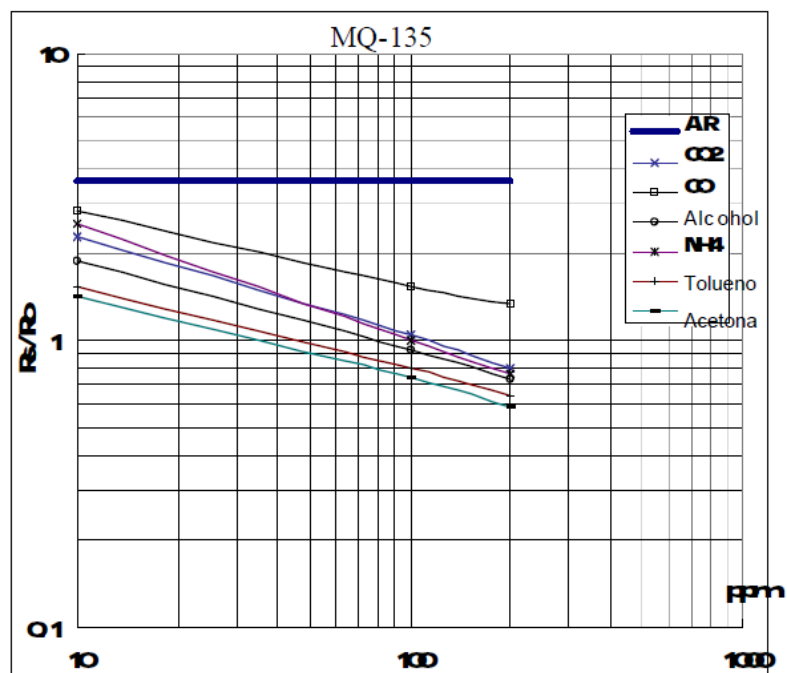


Figura 6: curvas de sensibilidade a diferentes gases no sensor MQ-135. [17]



Figura 7: Sensor de Qualidade do Ar MQ-135 [NatalMakers].

3.4.1 Conversor AD

O Conversor AD (analógico para digital) realiza a transformação de um sinal analógico em um sinal quantizado e discretizado no tempo que possa ser interpretada pelo microcontrolador. Uma tensão de referência é escolhida e, com base na diferença entre a tensão percebida pelo pino e essa tensão de referência, uma aproximação é feita para o valor digital mais próximo. Por consequência, há um erro associado a essa aproximação que varia de acordo com o número de passos possíveis dentro da aproximação digital.

No presente trabalho utilizou-se o conversor nativo do microcontrolador em modo de operação 12-bits. O nível de precisão nessa operação é mais que satisfatório para os fins do projeto, uma vez que 3.3 V divididos por 4.095 resulta em passos de 806 micro Volts.

3.5 Mostrador de LCD

Utilizou-se o mostrador de LCD 16x2 HD44780 acoplada ao chip PCF8574 para a visualização em tempo real dos dados ambientais. O mostrador utiliza muitos pinos para realizar a comunicação, entretanto o chip PCF8574 possibilita a

comunicação com menos fios e em protocolo I2C. A figura a seguir exemplifica o funcionamento da tela após o início da coleta de dados.



Figura 8: exemplo de funcionamento do mostrador de LCD com medidas instantâneas.

3.5.1 Comunicação I2C

O protocolo de comunicação serial I2C, ou Circuito Inter-Integrado (em inglês *Inter-Integrated Circuit*), foi desenvolvido pela *Philips Semiconductors* em 1982. É um sistema síncrono que pode conter diversos dispositivos mestres e escravos. O protocolo funciona a dois fios, um para os dados e um para o relógio, além de alimentação e terra. Para receber dados, o mestre deve enviar um sinal de partida ao dispositivo escravo desejado e aguardar o envio. A comunicação é do tipo *semi-duplex*, ou seja, a cada instante os dados podem trafegar em apenas um sentido.

3.6 Transceptor sem fio

O NRF24L01 é um chip transceptor capaz de realizar comunicação sem fio a curtas distâncias. Sua comunicação com o microcontrolador segue o protocolo SPI. Ele consiste de um sintetizador de frequência integrado, um amplificador de potência, um oscilador de cristal, um demodulador e um modulador.



Figura 9: Transceptor sem fio NRF24L01 [Microwat].

3.6.1 Comunicação SPI

SPI é um protocolo de comunicação serial desenvolvido pela *Motorola* na década de 80. É síncrono e funciona a quatro fios: MISO (*master in, slave out*), MOSI (*master out, slave in*), relógio e SS (*slave select*), além de alimentação e GND. Opera em modo serial ou *full-duplex*, o que possibilita comunicação bidirecional e simultânea onde é possível enviar e transmitir dados ao mesmo tempo.

3.7 Lâmpada de Calor

Para fornecer aquecimento quando necessário utilizou-se uma lâmpada de calor cerâmica fabricada pela *Fuxin* que funciona por Efeito Joule, originalmente desenvolvida para a criação de répteis. Seu acionamento é realizado com a ajuda de um relé de 1 canal.



Figura 10: Lâmpada cerâmica de calor Fxin [Shopee].

3.7.1 Efeito Joule

A lâmpada em uso gera calor pelo efeito termodinâmico associado à potência produzida por um condutor elétrico. Esse efeito pode ser descrito segundo a equação:

$$P \propto I^2 * R \quad (1)$$

onde P, I e R são, respectivamente, potência, corrente e resistência.

3.8 Placa de Efeito Peltier

Utilizou-se a placa TEC1-12706 de Efeito Peltier para reduzir a temperatura interna do protótipo quando solicitado pelo programa principal. Alimentada com uma fonte de 12V e 5A, esse componente é acionado por meio de transistor MOSFET de canal-N.

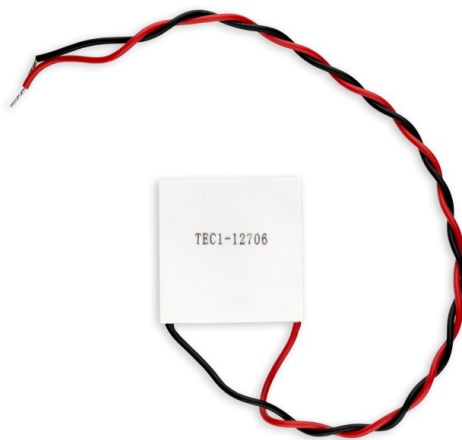


Figura 11: Placa de Efeito Peltier TEC1-12706. [Shopee].

3.8.1 Efeito Peltier

O Efeito Peltier descreve o comportamento termodinâmico de dois condutores numa junção de condutores quando submetida à passagem de corrente elétrica. A principal característica desse efeito é a produção de um lado quente, que dissipa o calor, e um lado frio. Ao contrário do fenômeno descrito anteriormente, o Efeito Peltier pode ser empregado para promover o resfriamento. É descrito pela seguinte equação:

$$\dot{Q} = (\Pi_A - \Pi_B) * I \quad (2)$$

onde Q , Π_A e Π_B são, respectivamente, calor gerado, coeficiente de Peltier do lado A, coeficiente de Peltier do lado B e corrente elétrica. O valor dos coeficientes está associado aos materiais dos condutores. A figura a seguir ilustra o fenômeno descrito:

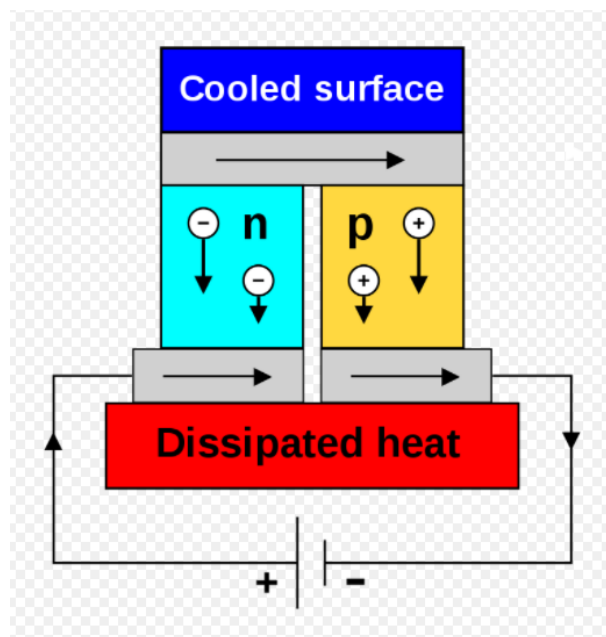


Figura 12: ilustração do Efeito Peltier.
[ilustração de Ken Brazier]

3.9 Umidificador Ultrassônico

A umidificação é fornecida por meio de um módulo com umidificador ultrassônico SJ303. O microcontrolador MSP430 fornece uma tensão de entrada de 5 Volts que é elevada a uma tensão mais alta graças ao circuito interno do módulo, aciona uma membrana metálica que vibra em altas frequências. Em contato com um tecido úmido ou diretamente sobre a água, uma nuvem de vapor é lançada em linha reta partindo do centro da membrana metálica. Além de oferecer baixo consumo, seu funcionamento é silencioso.



Figura 13: Módulo de umidificador ultrassônico SJ303 [Shopee].

3.10 Ventoinhas de 5V

Foram usadas duas pequenas ventoinhas de 5V, também chamadas de microcooler, para promover a renovação do ar no interior do protótipo. Com direções alternadas, uma delas é responsável por puxar o ar externo, enquanto a outra expulsa o ar interno.



Figura 14: Ventoinhas de 5V [Shopee].

3.11 MOSFET como um acionador

MOSFET é um tipo de transistor de efeito de campo capaz de alterar sua condutividade elétrica conforme a tensão percebida pela entrada porta (ou *gate*) [13]. Essa característica pode ser aproveitada para o emprego desse transistor como um acionador de dispositivos em circuitos eletrônicos.

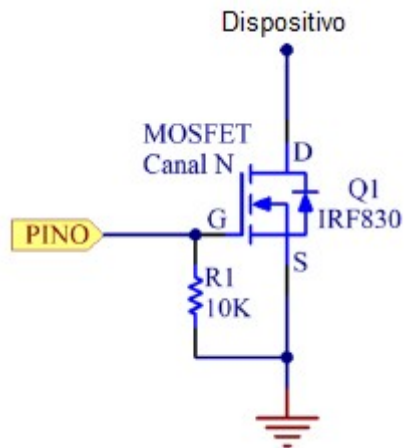


Figura 15: Exemplo de uso de um MOSFET canal-N como acionador de um dispositivo.

As ventoinhas e o umidificador ultrassônico utilizados no protótipo possuem pequenos motores. Devido ao risco de uma significativa corrente reversa poder ser gerada no desligamento desses componentes e potencialmente danificar o circuito ou até o microcontrolador, nesses casos foram colocados um capacitor e um diodo em paralelo com a carga.

4. PROTÓTIPO

4.1 Esquemático do Protótipo

Conforme esquemático apresentado na Figura 16, há dois microcontroladores no projeto: um principal e um auxiliar. O principal é responsável por realizar as leituras dos dados ambientais e tomar as medidas de controle ao acionar ou desligar os diversos equipamentos a ele conectados; o auxiliar tem a finalidade única de permitir a comunicação entre o computador e o MSP430 principal via rádio.

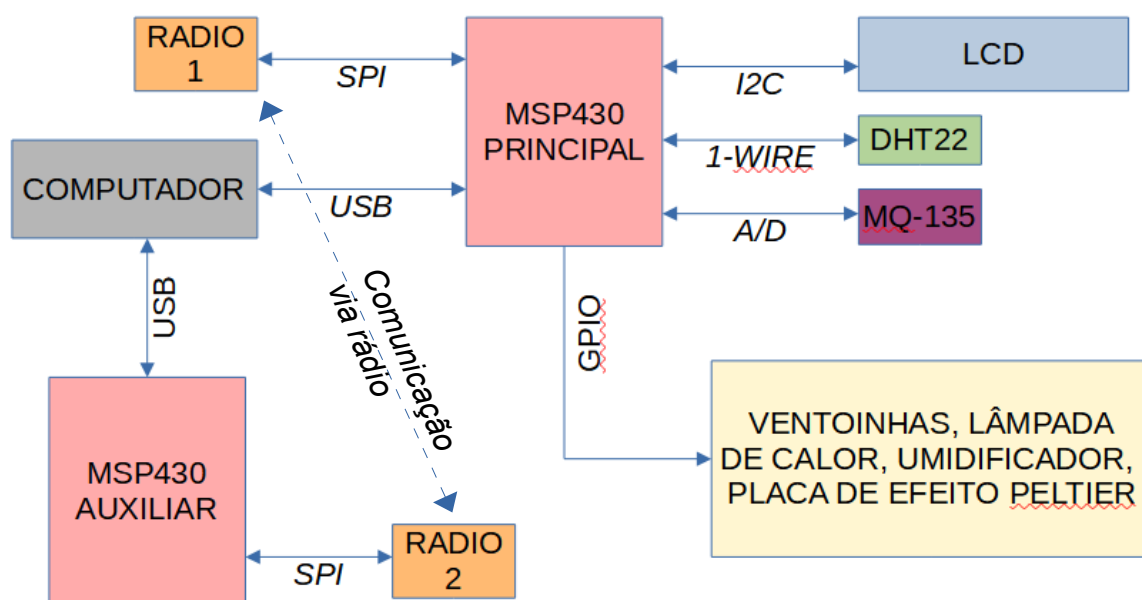


Figura 16: Esquemático do protótipo.

Originalmente a função do MSP430 Auxiliar seria dispensar a necessidade da conexão USB entre o MSP430 Principal e o Computador (Figura 16), uma vez que as entradas do usuário seriam enviadas pelo Rádio 2 e recebidas pelo Rádio 1. Entretanto, como será discutido no capítulo sobre ensaios, não se conseguiu estabelecer uma conexão confiável entre os rádios, então o MSP430 Auxiliar permaneceu apenas em modo de recepção dos dados enviados pelo Rádio 1.

4.2 Montagem da Câmara

Em uma caixa organizadora de material plástico e transparente colocou-se a lâmpada de calor e seu relé de acionamento, o módulo umidificador sobre um reservatório de água, o sensor de qualidade do ar (MQ-135) e o sensor de temperatura e umidade (DHT-22).

Fez-se duas passagens quadradas na tampa, onde foram colocadas duas ventoinhas para promover a ventilação interna quando necessária, e uma passagem circular para a passagem dos fios que se conectam aos dispositivos internos à câmara.

Sobre a tampa da caixa colocou-se a *protoboard* onde o protótipo do circuito foi montado, o microcontrolador, a tela de LCD e a placa de Efeito Peltier. Esta tem seu lado frio voltado para baixo com a finalidade de que o ar resfriado gerado na parte superior da câmara espalhe-se pelo seu interior por convecção. O módulo de comunicação sem fio está diretamente ligado ao microcontrolador.

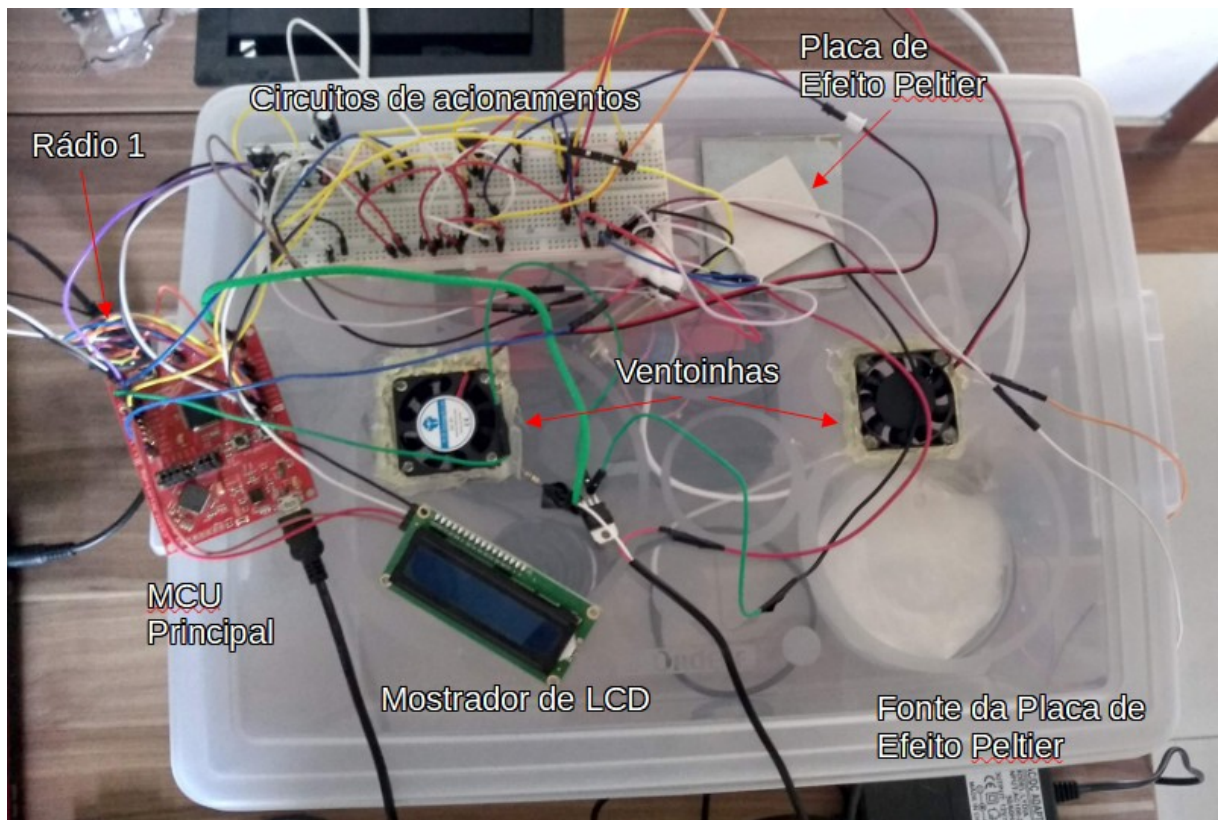


Figura 17: Vista superior do protótipo.

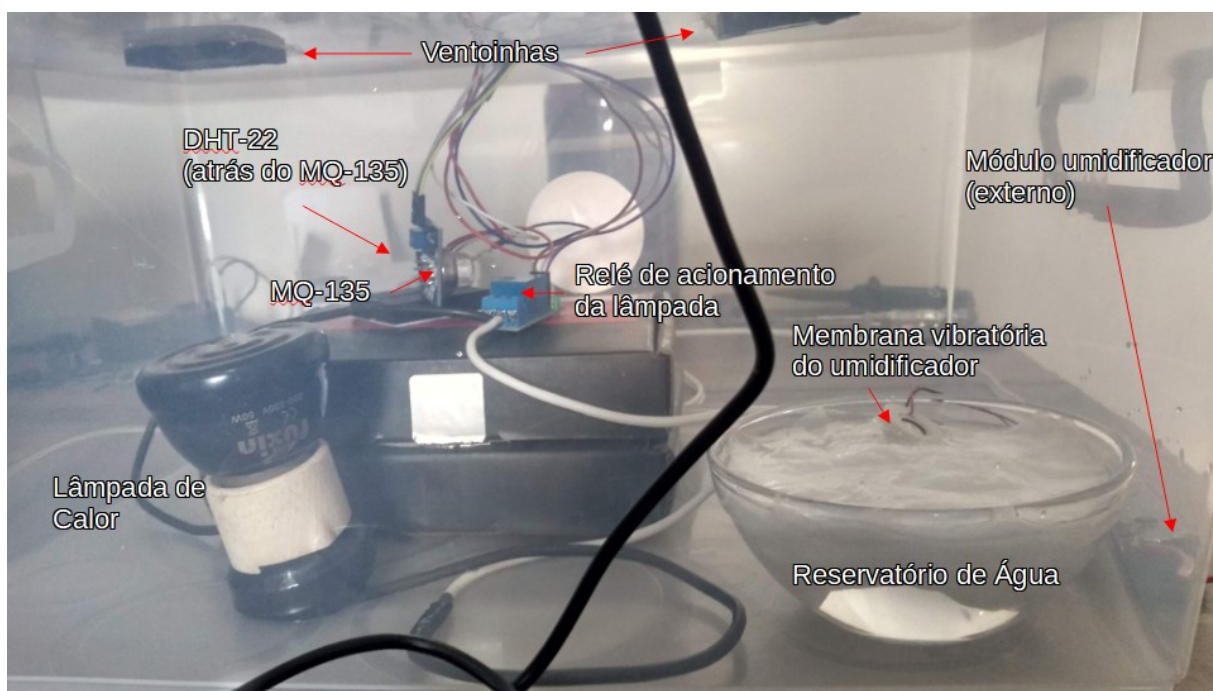


Figura 18: Vista lateral do protótipo.

A seguir apresenta-se o esquema elétrico de montagem do protótipo.

4.3 Esquema Elétrico

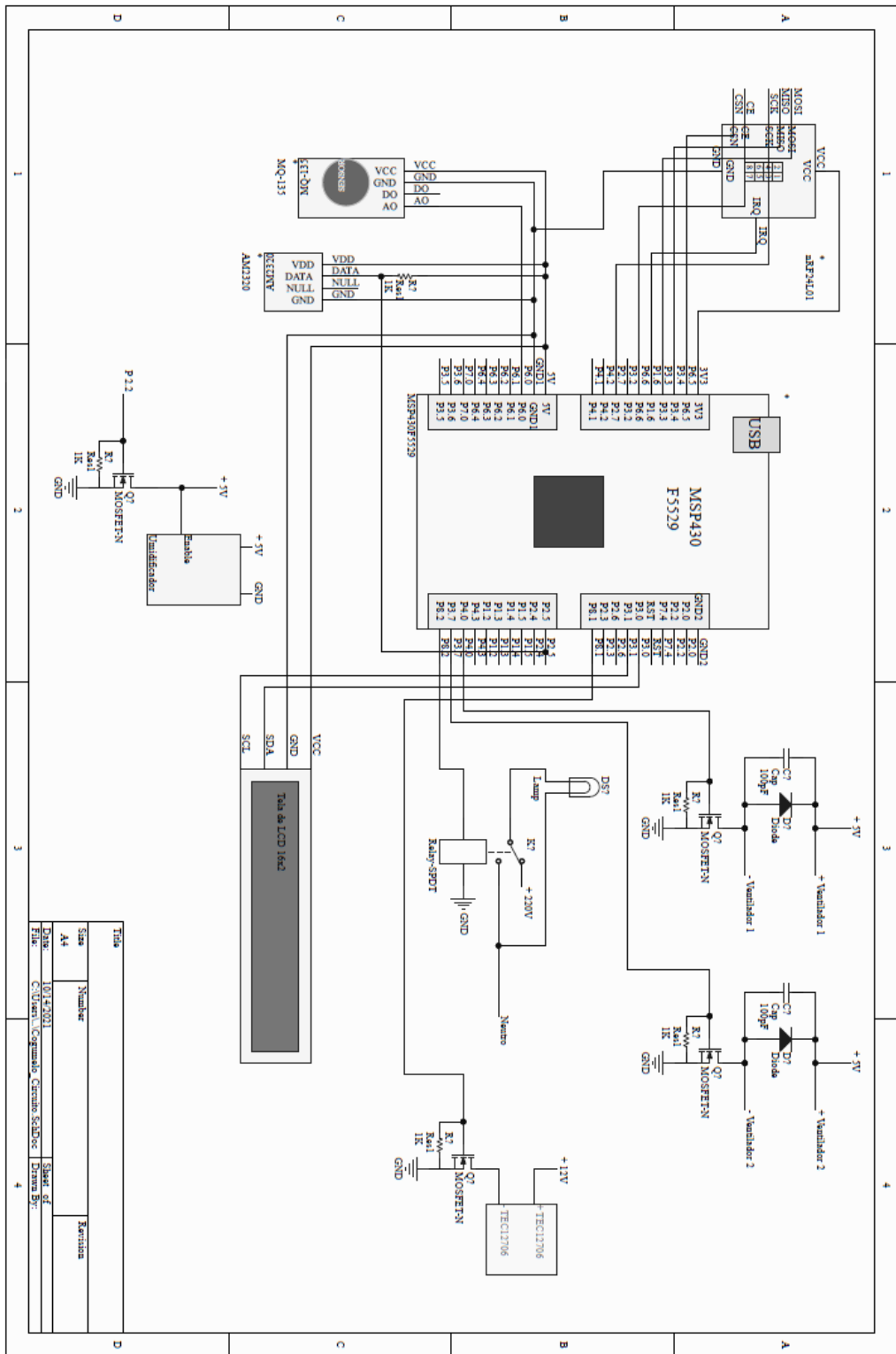


Figura 19: Esquema Elétrico do protótipo.

5. SOFTWARE

5.1 Interface Gráfica em Python

A fim de tornar mais amigável a comunicação entre usuário e protótipo, optou-se pela criação de uma Interface Gráfica. Devido ao seu acervo de bibliotecas livres e fácil codificação, desenvolveu-se o programa dessa interface em linguagem Python.

Para a comunicação serial, utilizou-se a biblioteca *Pyserial*, desenvolvida por Chris Liechti [12]. Para a janela visual, utilizou-se a biblioteca *Tkinter*, desenvolvida por Fredrik Lundh, que possui um conjunto de funções básicas para o desenvolvimento de interfaces gráficas voltadas ao usuário.

Na primeira coluna (Figura 19), o usuário deve inserir os valores desejados para os parâmetros. Na segunda, há botões que permitem a interação. A terceira coluna permite a visualização dos dados, número de medidas, tempo de execução e média total das medidas.

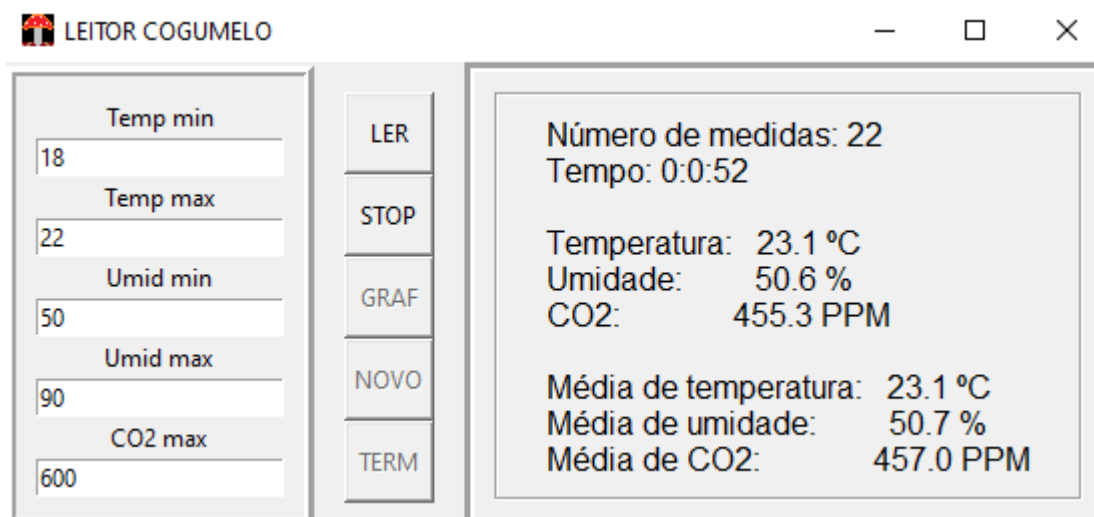
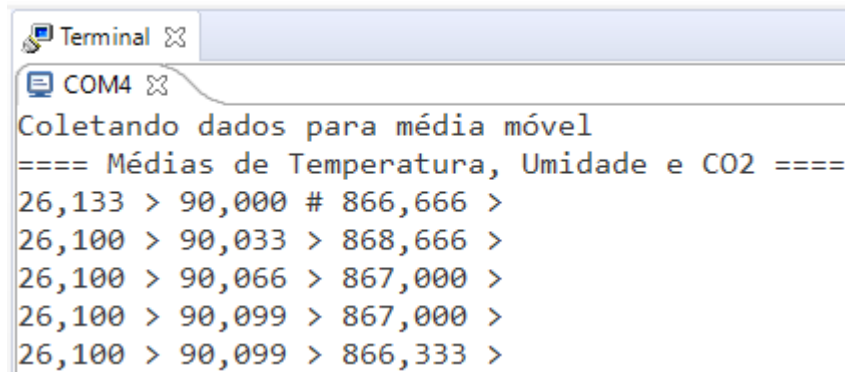


Figura 20: exemplo de funcionamento da Interface Gráfica no projeto.

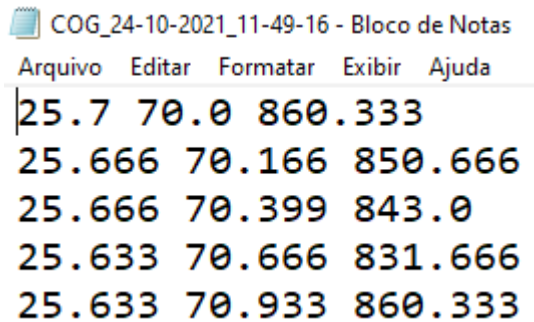
Os dados são recebidos via porta USB pelo microcontrolador, tanto no caso da MCU principal quanto da MCU auxiliar (que se liga apenas a um dos transceptores sem fio), conforme o exemplo a seguir:



```
Terminal
COM4
Coletando dados para média móvel
==== Médias de Temperatura, Umidade e CO2 ====
26,133 > 90,000 # 866,666 >
26,100 > 90,033 > 868,666 >
26,100 > 90,066 > 867,000 >
26,100 > 90,099 > 867,000 >
26,100 > 90,099 > 866,333 >
```

Figura 21: Exemplo de dados recebidos via porta USB.

A Interface Gráfica continuamente salva os dados numéricos num arquivo de texto onde constam as informações de data e hora do início das leituras no nome do arquivo. Ele pode ser acessado por um programa auxiliar em Python para futuras consultas aos gráficos gerados, conforme ilustrado a seguir:



```
COG_24-10-2021_11-49-16 - Bloco de Notas
Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda
25.7  70.0  860.333
25.666  70.166  850.666
25.666  70.399  843.0
25.633  70.666  831.666
25.633  70.933  860.333
```

Figura 22: Exemplo de arquivo de texto gerado pela Interface Gráfica.

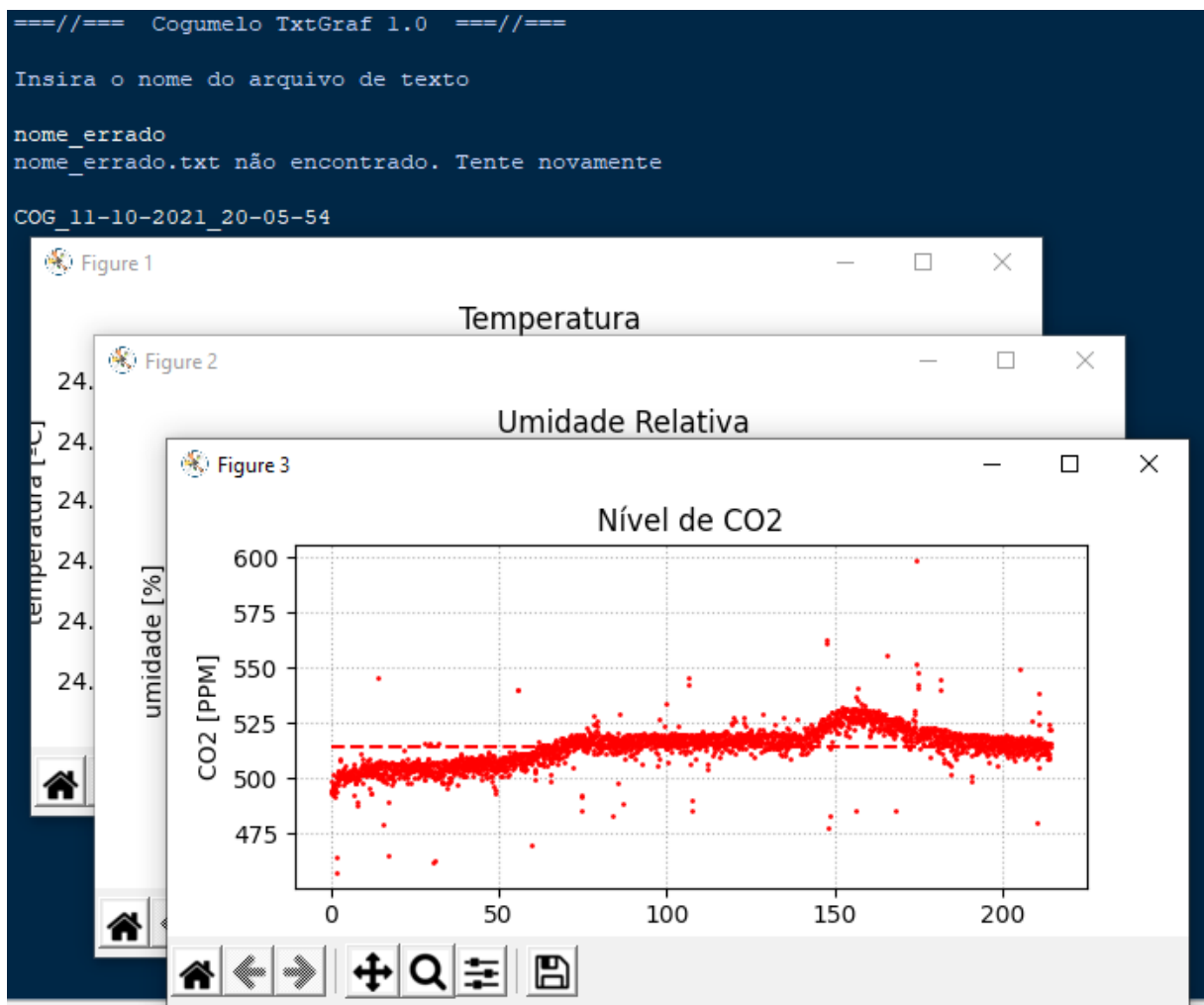


Figura 23: Exemplo de funcionamento do programa auxiliar.

5.2 Inicialização e Laço Principal

Quando energizado, o microcontrolador realiza a configuração dos pinos utilizados, dos periféricos conectados, dos protocolos de comunicação, do conversor A/D e dos temporizadores.

O programa então entra em um laço infinito onde aproximadamente a cada 2,5 segundos são realizadas as leituras dos sensores e a atualização da tela de LCD com os valores instantâneos medidos.

O microcontrolador armazena as últimas três medidas de cada parâmetro, a fim de criar uma média móvel e suavizar possíveis oscilações repentinas nos valores instantâneos. As médias são enviadas via comunicação serial e via rádio.

Graças ao uso de temporizador e rotina de interrupção, o programa pode aguardar novas instruções fornecidas pelo usuário enquanto espera a rotina sinalizar o momento de atualizar os dados, conforme fluxograma apresentado no final deste capítulo. Entretanto há um pequeno perigo: caso uma instrução seja recebida durante o período de leitura dos sensores e envio dos dados, ela não será percebida pelo programa. Esse evento é raro, pois o período de envio e leitura é muito curto.

5.3 Modo Entrada de Dados

Ao receber um sinal especial via porta serial ou rádio (o caractere 'x'), o programa do MSP430 principal aguarda a seleção de novos parâmetros. Espera-se receber, em ordem, a temperatura mínima e máxima, a umidade mínima e máxima e a concentração de CO₂ máxima. Cada envio deve ser feito em uma linha separada com um carácter de espaço entre dois valores nos casos de temperatura e umidade. Caso um carácter inválido seja enviado será necessário reiniciar o programa.

Após o envio dos parâmetros, o programa começará a ativar e desativar os dispositivos de controle a fim de manter as leituras dentro das faixas escolhidas.

5.4 Controle do Ambiente

Após a configuração dos parâmetros feita pelo usuário o protótipo pode começar a controlar o ambiente interno da caixa. Naturalmente o acionamento de alguns dispositivos, como os ventiladores, podem gerar interferências em outras medidas. Por exemplo, em algum momento pode-se acionar as ventoinhas com o objetivo de renovar o ar e assim diminuir a concentração de CO₂ na câmara. Entretanto, o ar externo pode estar mais frio e mais seco que o interno, o que será percebido pelo sensor de temperatura e umidade. Assim, seguiu-se uma ordem de prioridade na análise dos dados que favorece os parâmetros que têm mais chances de interferir nos demais. Ou seja, o programa somente iniciará o controle da temperatura e da umidade uma vez que a concentração de CO₂ esteja numa faixa tolerável.

Sempre que um dispositivo é acionado, os demais são antes verificados e desligados por meio de variáveis globais de estado, pois o projeto foi desenvolvido para que apenas um dispositivo funcione por vez.

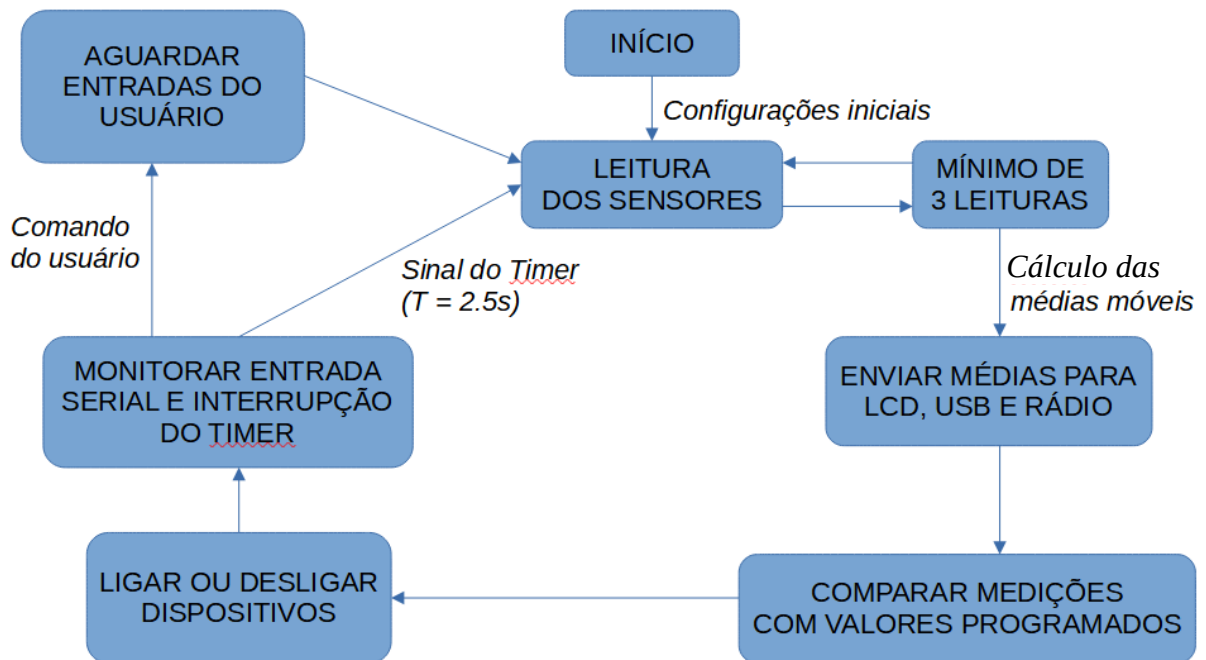


Figura 24: Fluxograma da rotina principal.

5.5 Acesso ao Código Fonte

O código fonte do microcontrolador principal e o código fonte da Interface Gráfica estão disponíveis no seguinte endereço eletrônico:

<https://github.com/Shurmoom/tcc_unb_cog_2021>. Acesso em 16 de Novembro de 2021.

A seguir apresentam-se os ensaios realizados com o protótipo, seus objetivos, resultados e interpretações dos dados obtidos.

6. ENSAIOS

6.1 Ensaio 1: Coleta de Dados

Utilizou-se o protótipo em seu modo padrão (sem envio de parâmetros nem controle do ambiente) para se obter uma simulação das leituras recebidas e dos gráficos gerados pela Interface Gráfica. As linhas tracejadas indicam as médias dos valores registrados.

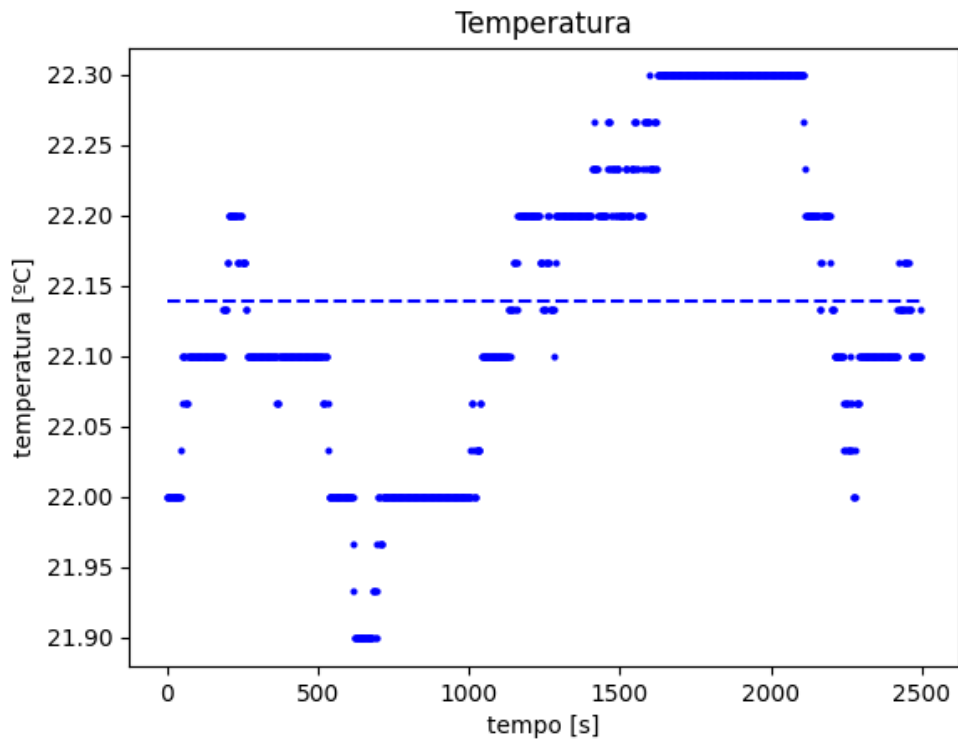


Figura 25: exemplo de gráfico de temperatura gerado pela Interface Gráfica.

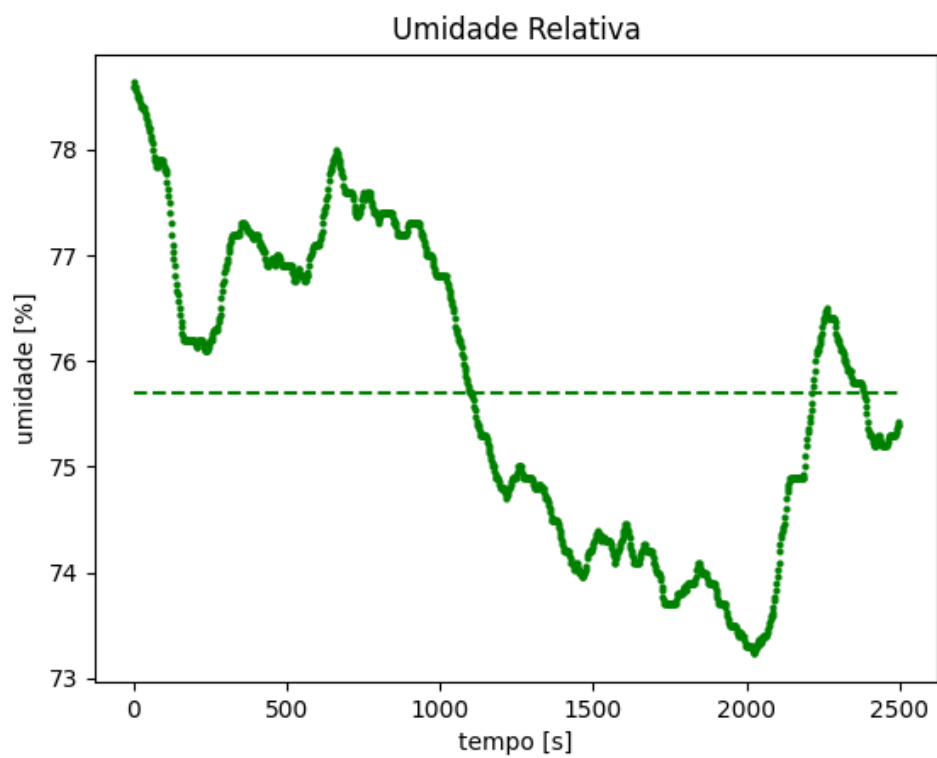


Figura 26: exemplo de gráfico de umidade relativa gerado pela Interface Gráfica.

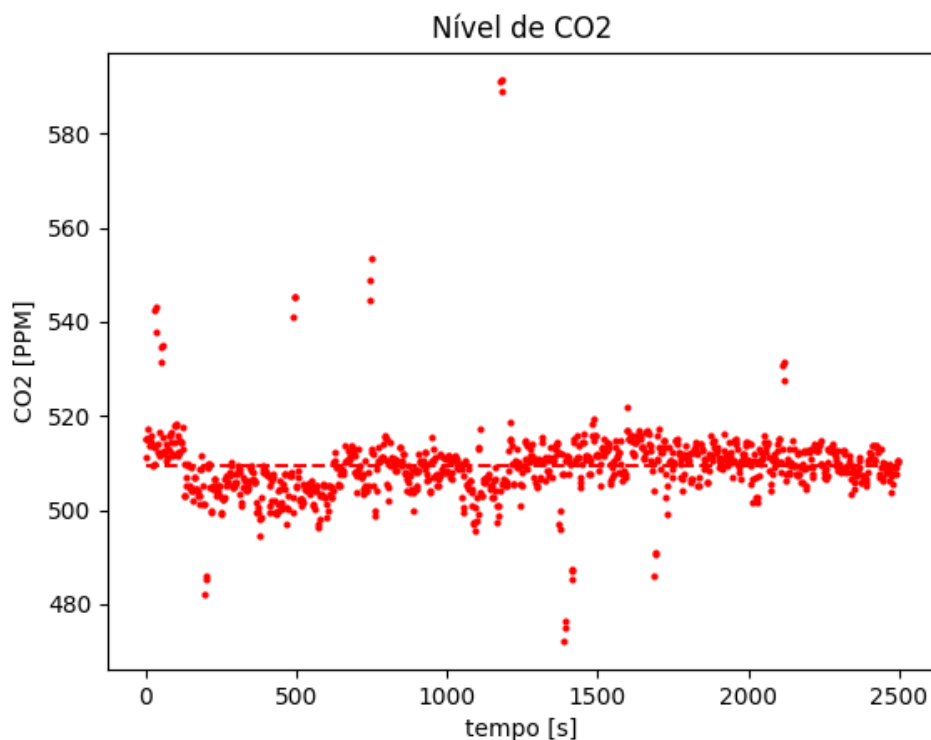


Figura 27: exemplo de gráfico de concentração de gás carbônico gerado pela Interface Gráfica.

6.2 Ensaio 2: Lâmpada de Calor

Tabela 2: Eventos do Ensaio 2.

Nome	Instante (min)	Descrição do Evento
E1	15	Lâmpada de calor é ligada.
E2	25	Lâmpada de calor é desligada.

Conforme indicação do manual do sensor de qualidade do ar e conforme observado nos testes de funcionamento do protótipo, esse sensor deve permanecer ligado por alguns minutos antes que suas leituras possam ser aproveitadas. Há um circuito interno de aquecimento que calibra as medidas registradas pelo sensor.

Neste ensaio, após um período de 15 minutos de coleta de dados e com o sensor de qualidade do ar previamente aquecido, ligou-se a lâmpada de calor via Interface Gráfica (ponto E1 na Figura 27). Após 10 minutos de funcionamento, desligou-se a lâmpada de calor (ponto E2 na Figura 27). Os dados coletados para os

três parâmetros estão apresentados nos gráficos a seguir. Em seguida, apresenta-se a tabela de eventos da simulação.

Nota-se que o pequeno período de funcionamento da lâmpada de calor provocou um aumento de até 5 °C na temperatura registrada. Após seu desligamento, a temperatura caiu num ritmo mais lento, principalmente após a marca de 80 minutos. Houve um aumento médio de temperatura de aproximadamente 1,5 °C durante o período total do ensaio, o que indica que a câmara pôde ser aquecida com sucesso.

O aquecimento também proporcionou a queda de cerca de 10% da umidade relativa e elevou significativamente a leitura de CO₂ por um intervalo de 20 minutos. Esse comportamento não era esperado e pode indicar a necessidade de ajustar os valores toleráveis de CO₂ durante o aquecimento da câmara.

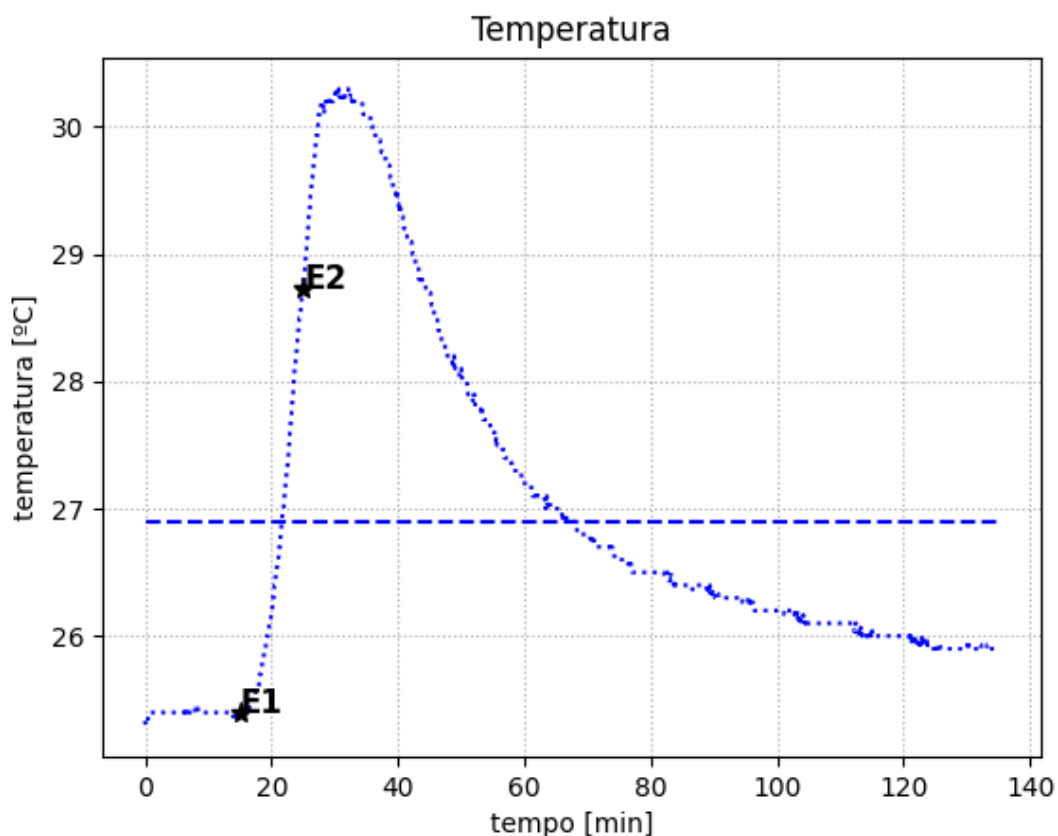


Figura 28: gráfico de temperatura referente ao Ensaio 2.

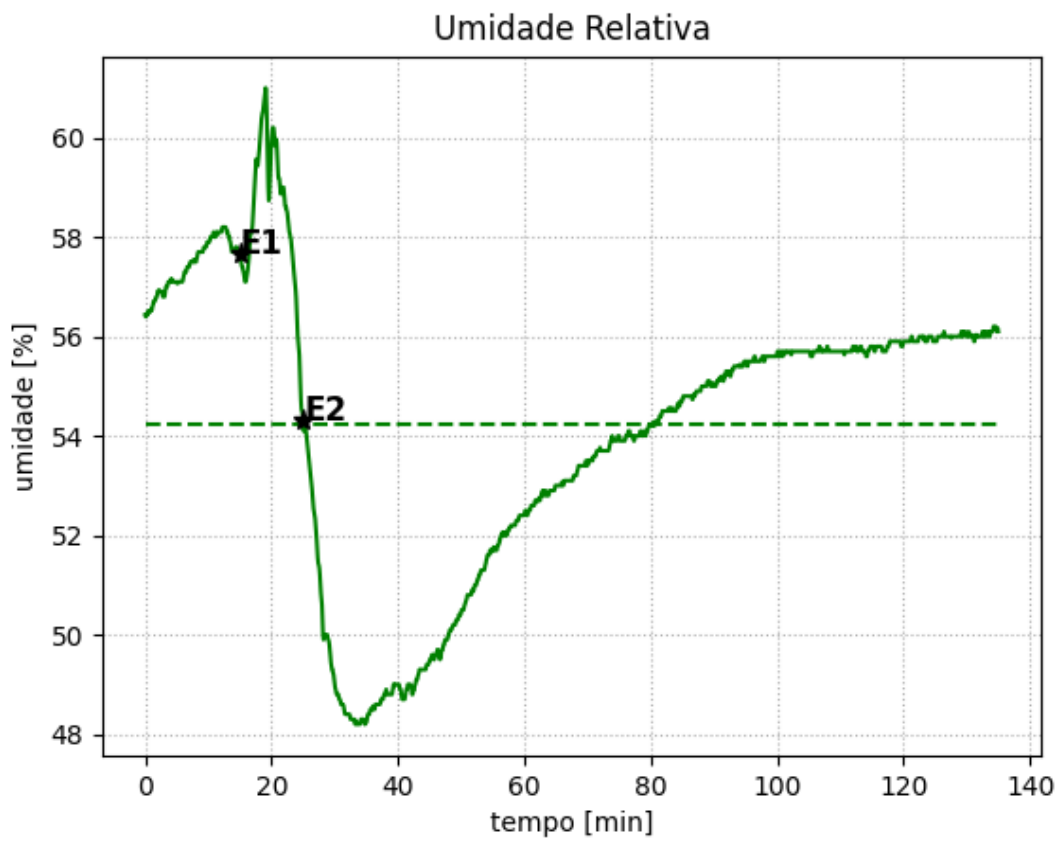


Figura 29: gráfico de umidade referente ao Ensaio 2.

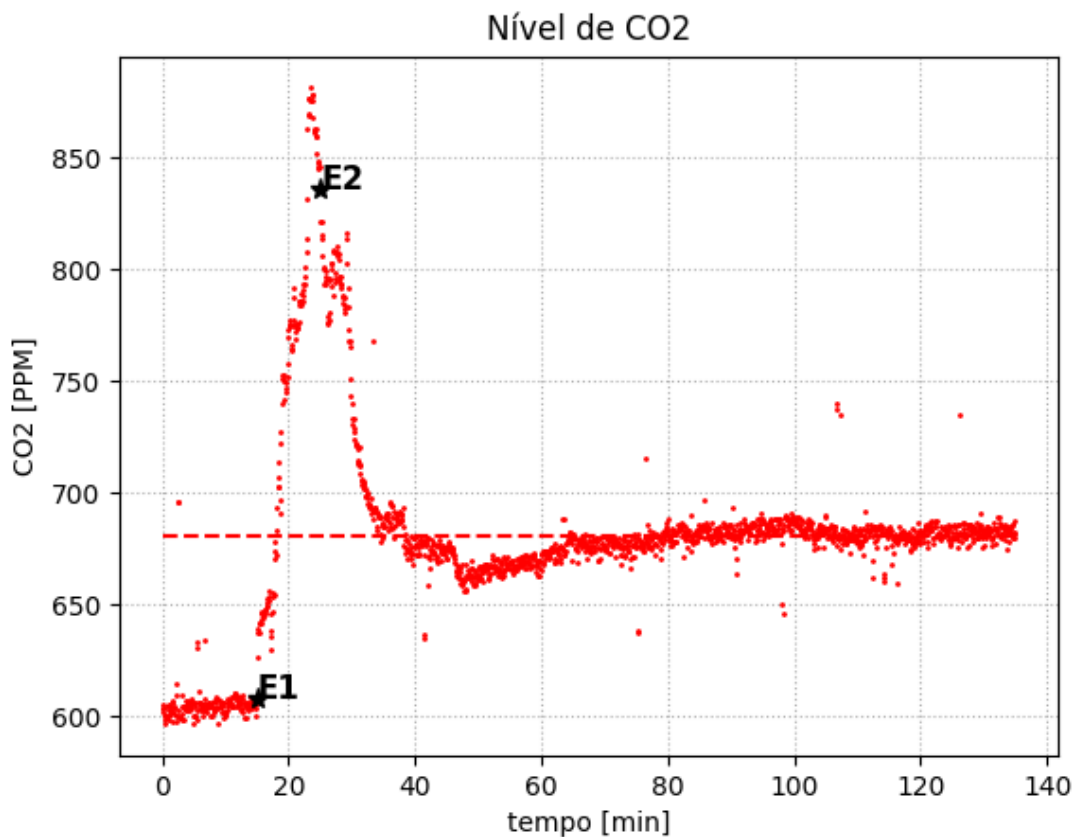


Figura 30: gráfico do nível de CO2 referente ao Ensaio 2.

6.3 Ensaio 3: Sensor de Qualidade do Ar

Tabela 3: Eventos do Ensaio 3.

Nome	Instante (min)	Descrição do Evento
E1	15	Incenso aceso é inserido na caixa por abertura lateral.
E2	60	Ventoinhas são ligadas; resta 50% do incenso aceso.
E3	75	Incenso termina de queimar.
E4	120	Ventoinhas são desligadas.

Neste ensaio, após um período de 15 minutos de coleta de dados e com o sensor de qualidade do ar previamente aquecido, colocou-se um incenso aceso dentro da câmara pela pequena abertura por onde passam os fios de alimentação da lâmpada de calor (ponto E1 na Figura 32), vedando a passagem em seguida. O

objetivo foi avaliar a capacidade das ventoinhas de renovar o ar no interior da câmara.

Observa-se que a introdução do incenso aceso provocou forte aumento nos níveis de CO₂, umidade e temperatura. O aumento nos níveis de CO₂ foi o mais rápido e intenso. Devido à passagem para os fios na tampa da caixa e aos espaços vazios nas ventoinhas desligadas, a fumaça gradualmente deixou a câmara e os níveis de CO₂ lentamente começaram a cair.

Após a ativação das ventoinhas (ponto E2 nas Figuras 31 e 32), os níveis de CO₂ e de umidade relativa imediatamente caíram. Uma queda foi registrada de forma significativa no gráfico de temperatura apenas quando o incenso terminou de queimar (ponto E3 na Figura 30).

Após o fim da queima, as ventoinhas abaixaram os níveis de CO₂ para valores um pouco maiores que os iniciais. A temperatura gradualmente retornou para um valor médio mais alto que os valores iniciais e a umidade relativa manteve-se próxima aos valores iniciais.

Com isso conclui-se que a ativação das ventoinhas auxilia rapidamente na renovação do ar na câmara e promove uma queda rápida na umidade relativa. É válido pontuar que os efeitos sobre a umidade relativa registrada quando da ativação das ventoinhas depende da umidade do ar exterior ao protótipo. Mas, como via de regra o ambiente da câmara será bem mais úmido que o ar exterior, pode-se considerar que sempre haverá um efeito abaixador de umidade após ativar as ventoinhas.

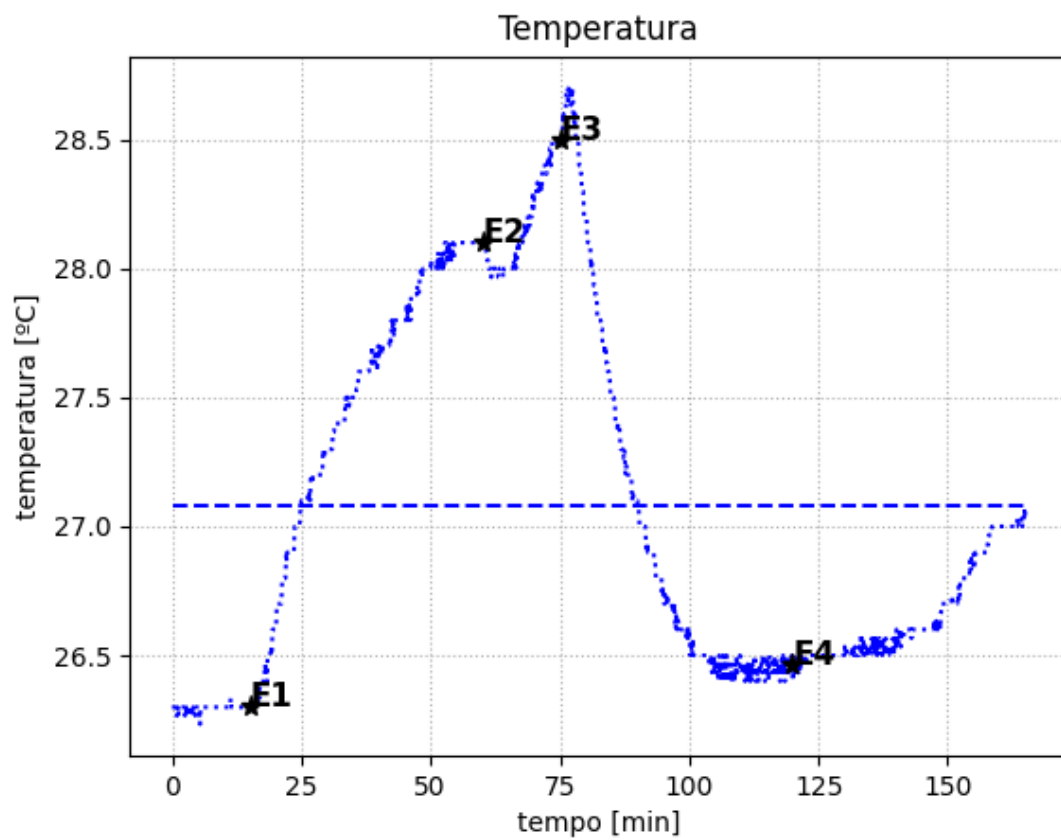


Figura 31: gráfico de temperatura referente ao Ensaio 3.

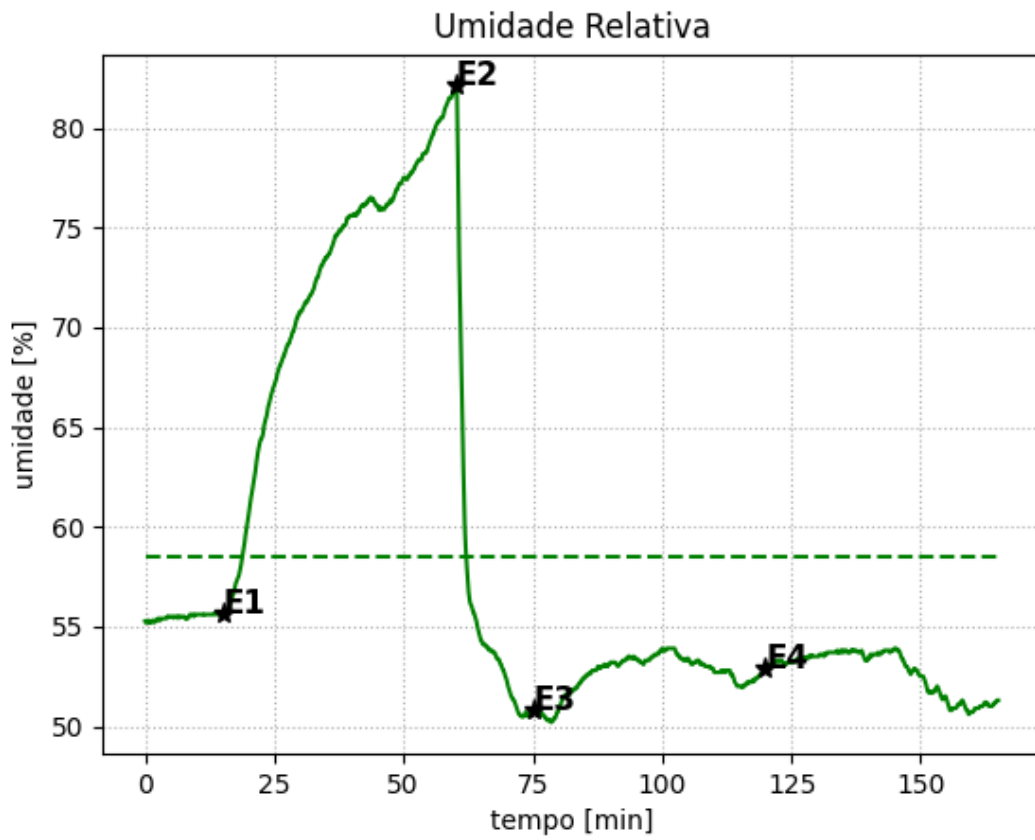


Figura 32: gráfico de umidade referente ao Ensaio 3.

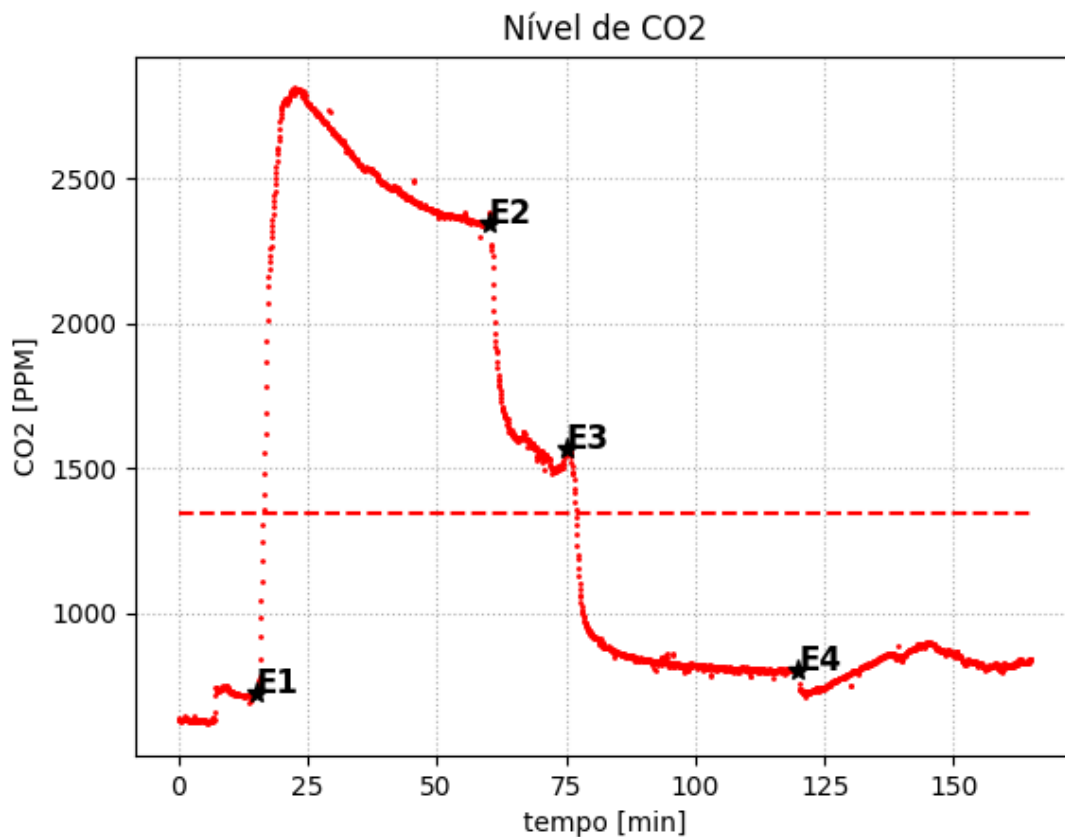


Figura 33: gráfico do nível de CO2 referente ao Ensaio 3.

6.4 Ensaio 4: Umidificador

Tabela 4: Eventos do Ensaio 4.

Nome	Instante (min)	Descrição do Evento
E1	15	Umidificador ultrassônico é ligado.
E2	17	Umidificador ultrassônico é desligado.
E3	215	Ventoinhas são ligadas.
E4	230	Ventoinhas são desligadas.

Neste ensaio, após um período de 15 minutos de coleta de dados e com o sensor de qualidade do ar previamente aquecido, ligou-se o umidificador ultrassônico (ponto E1 na Figura 33) por apenas 2 minutos. Esse curto período foi suficiente para elevar a umidade relativa registrada de 65% para 99.9% durante

cerca de 100 minutos. Após esse período, a umidade relativa começou a diminuir num ritmo muito lento.

Aproveitou-se a oportunidade para testar os efeitos das ventoinhas nesse ambiente extremamente úmido e, como observado no gráfico de umidade a seguir, a umidade relativa rapidamente caiu após o acionamento das ventoinhas (ponto E3 na Figura 33). Depois de desligá-las (ponto E4 na Figura 33), a umidade relativa voltou a subir, porém para um ponto abaixo do que a tendência anterior indicava.

Conclui-se que o umidificador ultrassônico é extremamente eficiente em aumentar a umidade relativa da câmara. Além disso, o aumento desse parâmetro tende a durar um longo período, sendo necessário ativar as ventoinhas para abaixar a umidade relativa de forma mais rápida.

Os gráficos relativos aos demais parâmetros foram omitidos por não terem apresentado mudanças significativas relacionadas aos eventos dessa simulação.

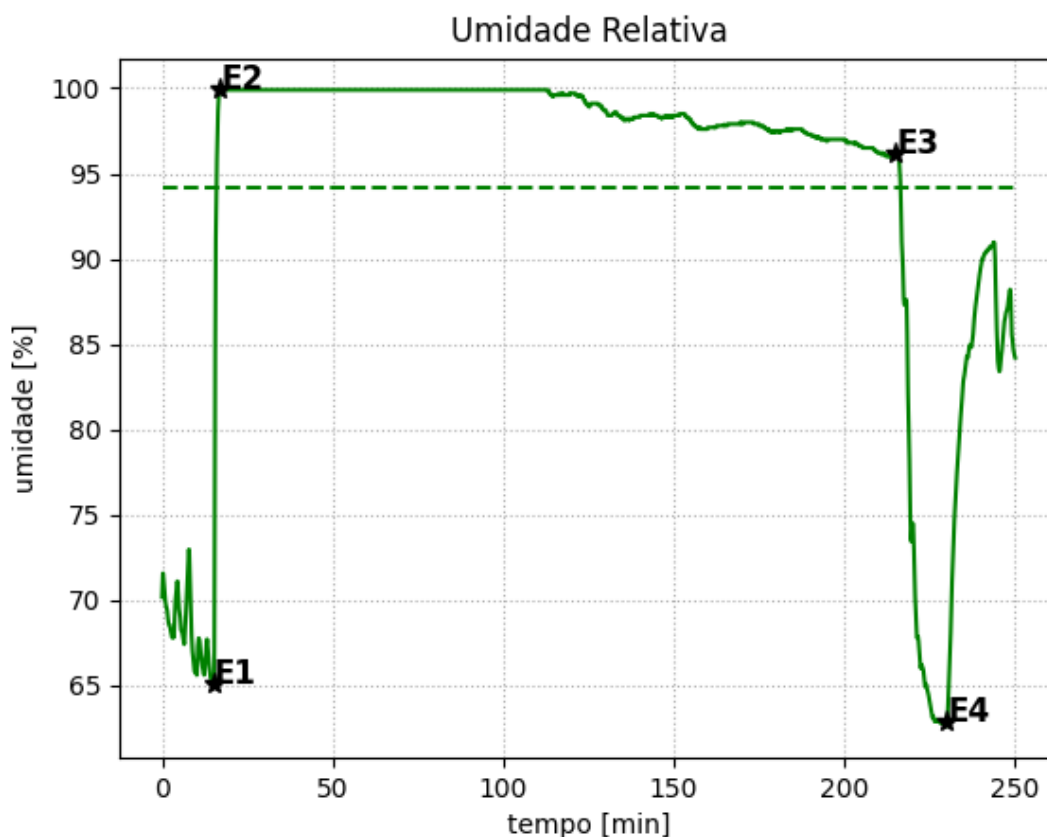


Figura 34: gráfico de umidade referente ao Ensaio 4.

6.5 Ensaio 5: Placa de Efeito Peltier

Tabela 5: Eventos do Ensaio 5.

Nome	Descrição do Evento
E1	Placa de Efeito Peltier é ligada
E2	Placa de Efeito Peltier é desligada.

Esta simulação foi feita em 3 tentativas. Em cada uma delas houve um período de coleta de dados e o sensor de qualidade do ar foi previamente aquecido. A Placa de Efeito Peltier foi colocada entre duas placas metálicas para facilitar a transferência de calor. Sobre a parte quente também foi colocado um tubo metálico para permitir trocas de calor mais eficientes com o ar.

Na primeira tentativa, o conjunto foi colocado numa posição da tampa da caixa mais afastada do sensor de temperatura e umidade. Na segunda, o conjunto foi colocado na posição da tampa da caixa diretamente sobre o sensor de temperatura e umidade. Na terceira, ligou-se um ventilador comum diretamente apontado para o conjunto.

A seguir são apresentados os gráficos de temperatura referentes a cada tentativa. Nenhuma conseguiu reduzir a temperatura registrada no interior da câmara. Na verdade, ocorreu aumento da temperatura registrada. Portanto, a proposta de refrigerar o interior da câmara apenas por convecção não foi possível, uma vez que o calor gerado no lado quente da placa de efeito Peltier não foi dissipado o suficiente para promover o resfriamento no interior da câmara.

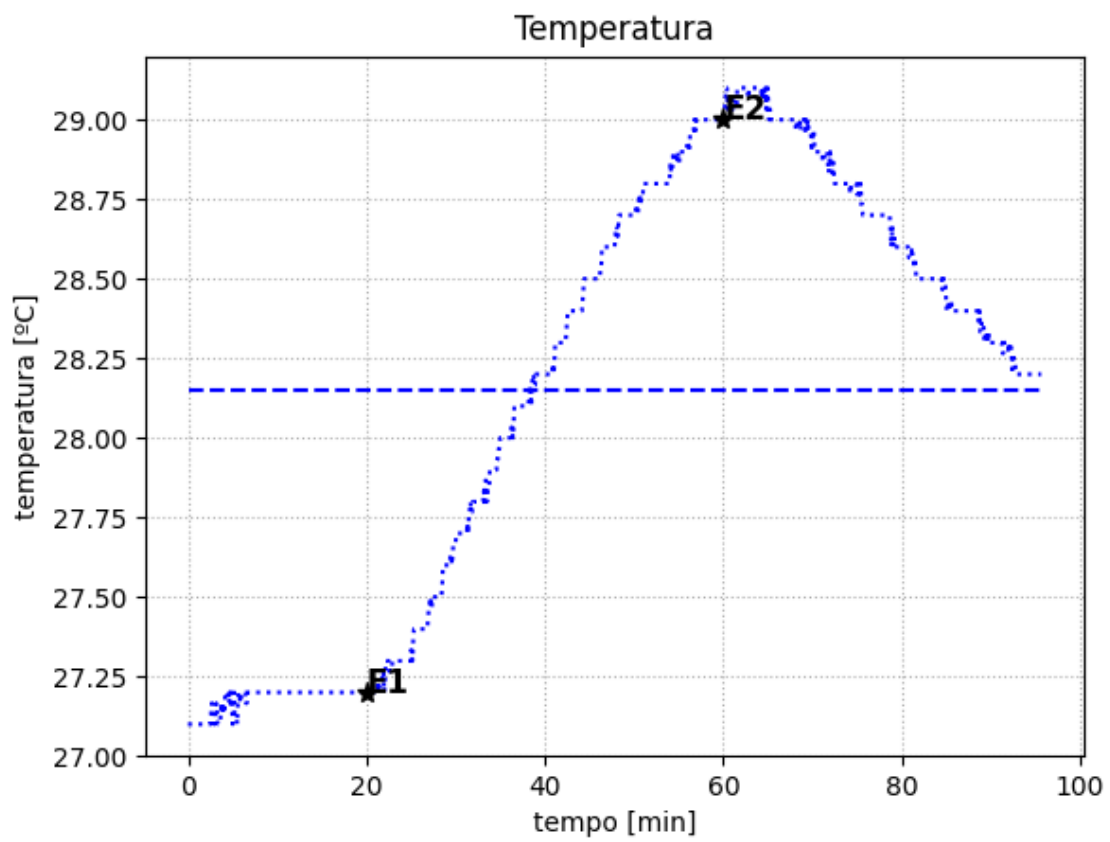


Figura 35: gráfico de temperatura do Ensaio 5, Tentativa 1.

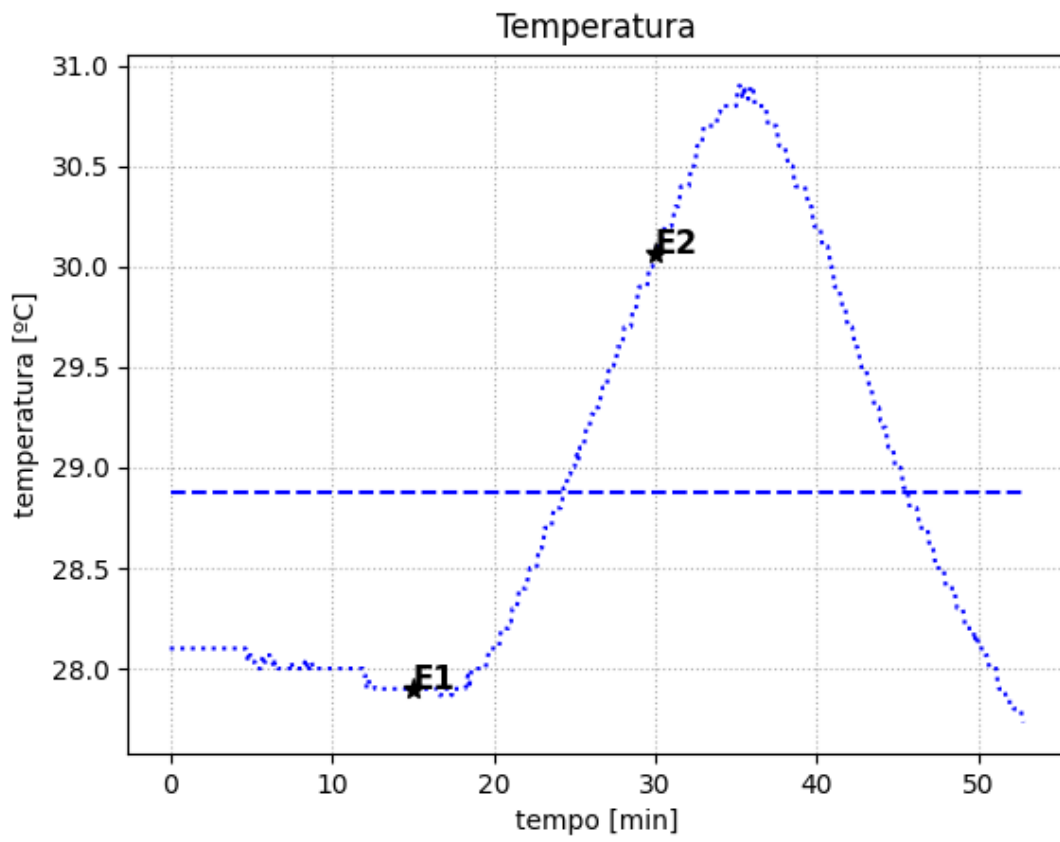


Figura 36: gráfico de temperatura do Ensaio 5, Tentativa 2.

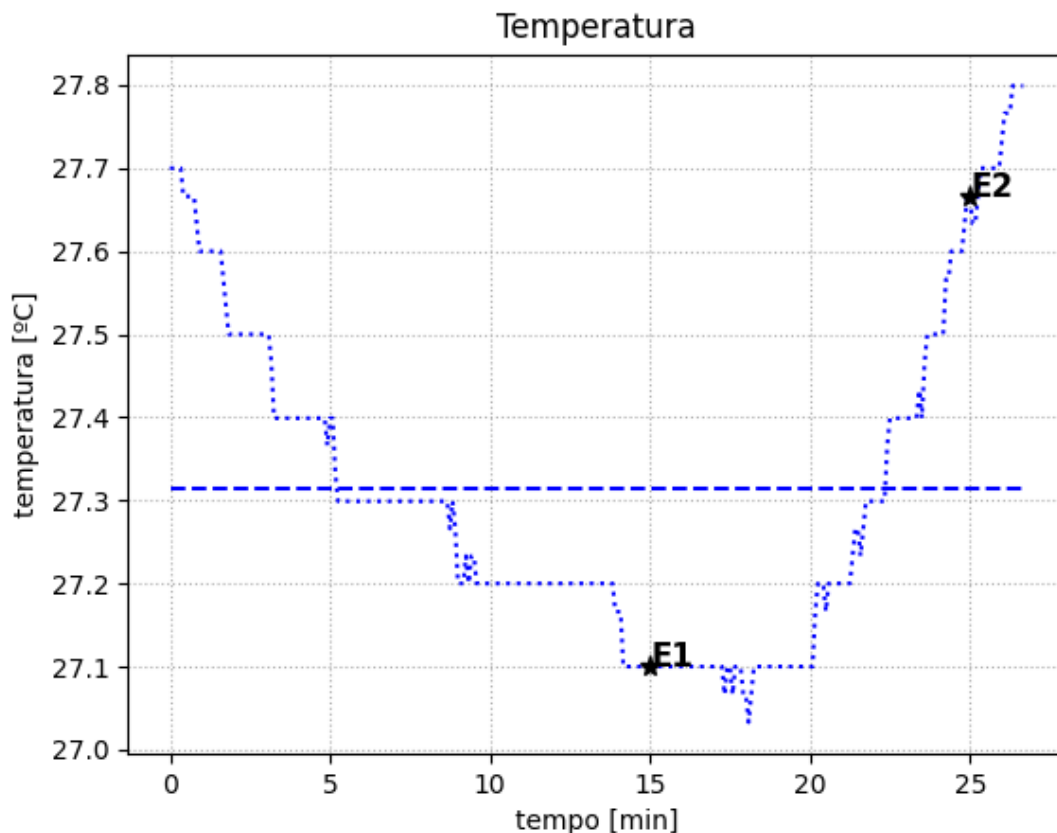


Figura 37: gráfico de temperatura do Ensaio 5, Tentativa 3.

6.6 Problemas de Comunicação Entre os Rádios

Após numerosos ensaios e testes com os rádios (módulo NRF24L01) em diversas frequências de operação, por razões que ainda devem ser melhor investigadas não se obteve sucesso numa comunicação contínua entre o Rádio 1 e o Rádio 2. Independentemente da distância entre os rádios, embora o rádio programado como transmissor (MCU Principal) conseguisse realizar periodicamente a transmissão de pacotes de dados contendo os valores medidos pelos sensores, o rádio programado como receptor (MCU Auxiliar) recebia os pacotes de forma imprevisível e descontínua: alternava entre receber os pacotes em ordem e deixar de receber qualquer pacote. Assim, tornou-se inviável depender da comunicação via rádio para o envió das instruções do usuário ao MCU Principal ou receber os dados através do rádio da MCU Auxiliar.

Este rádio é sofisticado e oferece diversos parâmetros para sua configuração. Como não houve tempo hábil para melhor investigar o que realmente causava esta comunicação inconstante, optou-se por deixá-lo em segundo plano e prosseguir com o trabalho via comunicação USB. Os exemplos encontrados que fazem uso deste rádio se utilizam de bibliotecas indisponíveis para o MSP430.

7. CONCLUSÕES E CONTINUIDADE

Construiu-se um sistema de monitoramento capaz de periodicamente coletar dados ambientais relevantes à proposta de cultivo e informá-los ao usuário diretamente via mostrador de LCD ou via porta serial para a Interface Gráfica, que permite a visualização gráfica de como os dados variam ao longo do tempo e os armazena em um documento de texto para futuras consultas. A proposta de comunicação sem fio não foi atendida, pois a comunicação via rádio entre a MCU Principal e a MCU Auxiliar não foi contínua.

Conforme discutido no capítulo de ensaios, o controle e a manutenção do aquecimento, da umidade relativa e da qualidade do ar foram testados com sucesso. O protótipo foi capaz de responder rapidamente a perturbações nesses parâmetros e trazer as condições internas da câmara para valores próximos dos iniciais. Porém, a placa de efeito Peltier não foi capaz de gerar o resfriamento do sistema quando solicitado, visto que a dissipação do calor gerado na parte quente foi ineficiente. A depender dos parâmetros escolhidos pelo usuário, isso seria um problema, pois o protótipo estaria limitado às temperaturas mínimas do ambiente externo.

Apesar de simulado em diversos cenários, o protótipo não foi analisado numa situação real de cultivo com cogumelos crescendo e respirando dentro da câmara. Embora os ensaios indiquem, com exceção do controle da temperatura mínima, que o protótipo é capaz de gerar um ambiente adequado ao cultivo de cogumelos, é necessário realizar uma experimentação real. Para tanto, será necessário, além de solucionar o problema de resfriamento, instalar filtros nas passagens de ar a fim de garantir a entrada de ar limpo na câmara e vedar as passagens ainda abertas para garantir que o ambiente interno esteja isolado. Recomenda-se, também, uma limpeza minuciosa da câmara, pois o cultivo de cogumelos é sensível à contaminações. Para um primeiro experimento, seria mais adequado optar por um substrato previamente colonizado e pronto para gerar cogumelos, pois ele seria menos vulnerável a organismos invasores.

Além disso, é possível melhorar significativamente a qualidade das conexões e diminuir o espaço ocupado pela parte eletrônica do projeto com o desenvolvimento

de uma placa de circuito impresso. Protoboards estão sujeitas à oxidação e podem perder a condutividade com o tempo.

Métodos para o controle da luminosidade podem ser adicionados, pois este também é um fator relevante ao cultivo de cogumelos. A luminosidade sinaliza ao fungo o momento mais adequado de iniciar o crescimento dos seus cogumelos.

Projetos futuros deverão tentar solucionar o problema da refrigeração, conseguir consistência na comunicação sem fio, confeccionar uma placa de circuito impresso e montar o protótipo numa caixa mais sólida.

REFERÊNCIAS

- [1] STAMETS, PAUL. CHILTON, J.S. **The Mushroom Cultivator: A Practical Guide to Growing Mushrooms at Home**. 1a ed. Agarikon Press, 1983.
- [2] HAYTOWITZ, D.B. **Vitamin D in Mushrooms**. Beltsville Human Nutrition Research Center. Disponível em:
<https://www.ars.usda.gov/ARSTUserFiles/80400525/Articles/AICR09_Mushroom_VitD.pdf>. Acesso em 15 de Junho de 2021.
- [3] RICHERT, Lucas. **The Psychedelic Renaissance**. Psychologytoday, 2019. Disponível em:
<<https://www.psychologytoday.com/us/blog/hygieias-workshop/201908/the-psychedelic-renaissance>>. Acesso em 10 de Junho de 2021.
- [4] CARHART-HARRIS, Robin et al. **Trial of Psilocybin versus Escitalopram for Depression**. The New England Journal of Medicine, 2021. Disponível em:
<<https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa2032994>>. Acesso em 10 de Junho de 2021.
- [5] **Psychedelic Treatment with Psilocybin Relieves Major Depression, Study Shows**. Johns Hopkins Medicine, 2020. Disponível em:
<<https://www.hopkinsmedicine.org/news/newsroom/news-releases/psychedelic-treatment-with-psilocybin-relieves-major-depression-study-shows>>. Acesso em 12 de Junho de 2021.
- [6] VALVERDE, María Elena et al. **Edible Mushrooms: Improving Human Health and Promoting Quality Life**. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, 2015. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4320875/>>. Acesso em 12 de Junho de 2021.
- [7] **Global Mushroom Market (2020 to 2025) - Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast**. Businesswire, 2020. Disponível em:
<<https://www.businesswire.com/news/home/20200701005442/en/Global-Mushroom-Market-2020-to-2025---Global-Industry-Trends-Share-Size-Growth-Opportunity-and-Forecast---ResearchAndMarkets.com>>. Acesso em 12 de Junho de 2021.
- [8] GOMES, Marlene. Agronegócio: **Consumo e produção de cogumelos cresce no Brasil**. Correio Braziliense, 2018. Disponível em:

<https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/economia/2018/01/29/internas_economia,656318/consumo-e-producao-de-cogumelos-no-brasil.shtml>.

Acesso em 12 de Junho de 2021.

[9] STAMETS, PAUL. **Growing Gourmet and Medicinal Mushrooms**. 3a ed. Ten Speed Press, 2000.

[10] ZELENOVSKY, Ricardo. CAFÉ, Daniel. PEIXOTO, Eduardo. **Material de apoio disponibilizado na disciplina Sistemas Microprocessados em 2021**.

[11] **MSP430x5xx and MSP430x6xx Family User's Guide**. Texas Instruments, 2018.

[12] **PySerial**. Python.org. Disponível em: <<https://wiki.python.org/moin/PySerial>>. Acesso em 15 de Junho de 2021.

[13] LAWS, David. **Who invented the transistor?**. Computer History Museum, 2013. Disponível em: <<https://computerhistory.org/blog/who-invented-the-transistor/?key=who-invented-the-transistor>>. Acesso em 10 de outubro de 2021.

[14] COELHO, JOANA. **Fungos: características, exemplos e importância**. Ecycle. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/fungos/>>. Acesso em 13 de Novembro de 2021.

[15] DA SILVA, PRISCILA. **Reino Fungi**. Infoescola. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/biologia/reino-fungi/>>. Acesso em 13 de Novembro de 2021.

[16] **FANTASTIC FUNGI**. Direção: Louie Schwartzberg. Produção de Moving Art. Estados Unidos: 2019. Mídia virtual.

[17] HANWEI ELECTRONICS CO. **Technical Data MQ-135 Gas Sensor**.

[18] NORDIC SEMICONDUCTOR. **Single chip 2.4 GHz Transceiver nRF24L01**. 2006.

[19] AOSONG. **Temperature and humidity module AM2302 Product Manual**.