



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO ENGENHARIA ELÉTRICA

GABRIEL VIEIRA DE ALMEIDA

**ESTUFA AUTOMATIZADA PARA CULTIVO DE FUNGOS COMESTÍVEIS EM
AMBIENTE RESIDENCIAL**

FORTALEZA

2022

GABRIEL VIEIRA DE ALMEIDA

ESTUFA AUTOMATIZADA PARA CULTIVO DE FUNGOS COMESTÍVEIS EM
AMBIENTE RESIDENCIAL

Monografia apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Dalton de Araújo Honório

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- A447e Almeida, Gabriel Vieira de.
Estufa automatizada para cultivo de fungos comestíveis em ambiente residencial / Gabriel Vieira de Almeida. – 2022.
67 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Dalton de Araújo Honório.
1. Cogumelos. 2. Estufa. 3. Automação. 4. Internet of Things. I. Título.

CDD 621.3

GABRIEL VIEIRA DE ALMEIDA

ESTUFA AUTOMATIZADA PARA CULTIVO DE FUNGOS COMESTÍVEIS EM
AMBIENTE RESIDENCIAL

Monografia apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em: 14/02/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Dalton de Araújo Honório (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Antonio Barbosa de Souza Júnior
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Prof. Dr. Ernande Eugenio Campelo Morais
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele nenhuma dessas coisas seria possível. Agradeço por ter me dado força, saúde e fé para trilhar todo esse caminho.

Ao meu orientador, Dr. Dalton Honório Araújo, por sua paciência, conselhos, assistência principalmente por acreditar na minha ideia.

À minha avó, Gonçala do Nascimento Vieira, que tem sido meu maior alicerce e minha maior força e ajuda em todos os momentos desde meu nascimento até os dias de hoje e que mesmo em meio a todas as dificuldades me deu seu amor e apoio. Ao meu pai, Gilberto Santos de Almeida, por todo o suporte e por ter me incentivado desde a mais tenra idade no caminho do estudo e hoje, graças a Deus e a ele, estou próximo de me tornar um engenheiro. Agradeço a minha mãe, Maria Gabriela do Nascimento Vieira por todo amor e carinho e por também ter me estimulado a sempre ver os estudos como o caminho a seguir. Aos meus irmãos por todo apoio nesse longo caminho e por estarem sempre ao meu lado me incentivando e dizendo que eu iria conseguir. E em especial, agradeço à minha namorada, Tabatha Maranhão Marques pelo grande conselho de usar esse projeto, que já havia desenvolvido, como tema do trabalho aqui apresentado.

Aos meus amigos do grupo de estudos, Based Department. Por todos os momentos de descontração e por terem me apoiado por todos esses anos de faculdade.

E por último, mas não menos importante, agradeço ao meu amigo Caio Araújo pela amizade de mais de 10 anos e por ter estado ao meu lado na empreitada de desenvolver esse projeto e tirá-lo do papel. Sem ele esse trabalho seria apenas uma ideia.

“Os que semeiam em lágrimas, com cânticos de
júbilo segarão.” (Salmo 126:5)

RESUMO

A crescente busca por um estilo de vida mais saudável tem levado as pessoas a buscar novas opções alimentares e a fazer novas adições às suas dietas. Um dos alimentos que estão em alta no momento são os cogumelos. Com os benefícios já atestados para a saúde, o consumo desses fungos vem crescendo ano a ano e mesmo o brasileiro, um povo que não tem tradição no consumo desses alimentos, tem aumentado a demanda desse produto.

Alguns dos empecilhos para a obtenção dos cogumelos, no Brasil, ainda é o seu alto preço e somado ao clima do país que, em sua maioria, é inóspito para a maioria dos cogumelos comestíveis não é muito fácil de fazer essa modificação dietética.

A proposta desse trabalho é apresentar uma possibilidade para a o cultivo desses fungos em âmbito residencial de modo a oportunizar um acesso mais facilitado a esse alimento, mesmo em locais de clima mais quente e umidade abaixo das necessárias para o cultivo.

O sistema de cultivo consiste em uma estufa automatizada, montada no interior de uma geladeira com controle de umidade, temperatura, ventilação e iluminação. Essa estufa está conectada a um servidor de *Internet of Things (IoT)*, possibilitando o registro e acompanhamento das variáveis de processo em tempo real. Também foi desenvolvido um aplicativo para *Android*[®] que, conectado a esse servidor *IoT*, é capaz de realizar o monitoramento do processo e possíveis intervenções nos *Set Points* das variáveis do sistema.

Em sua parte final, o trabalho apresenta os resultados esperados da estufa a partir das informações obtidas da plataforma de *IoT* usada para o monitoramento, tornando possível verificar se o projeto desenvolvido atende as condições de trabalho desejadas.

Palavras-chave: cogumelos, estufa, automação, *Internet of Things*.

ABSTRACT

The growing healthier lifestyle search in the past few years has *LED* people to seek out new possibility for foods in their daily diets. The mushrooms are one example of them, such as shiitake, champignon and lion's mane. Since their health benefits were already attested, their consumptions have been growing year by year. Even Brazilians, who do not have tradition on consume such kind of food, are increasing the demand for this product.

However, their selling prices are still one of the major drawbacks for growing mushrooms in Brazil. Other problem that should be address in order to growing fungi are our tropical climate, which is mostly inhospitable to most of the mushrooms, interfering even more in them consume daily here in Brazil.

Then, this work proposes a possibility for the cultivation of these fungi in a residential environment as a way of making this food more accessible, even in places with a warmer climate and lower humidity levels for ideally cultivation of fungi.

The proposed cultivation systems consist of an automated greenhouse built inside a refrigerator with humidity, temperature, ventilation and lighting control environment. The greenhouse is connected to *IoT* server for logging and tracking real-time process variables. An application for *Android*[®], was also developed, connected to this *IoT* server, capable of monitoring the process and allowing interventions on system setpoints variables.

So, in the final part of this work is presented the expected results of the greenhouse project using the information gathered from the *IoT* platform that is used to monitor the system status, so that it is possible to verify if the developed proposed systems satisfy the desired working conditions.

Keywords: mushrooms, greenhouse, automation, *IoT*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura básica de um cogumelo	15
Figura 2 - Morfologia de uma basídia.....	16
Figura 3 – Formatos e ornamentação de basidióporos.....	16
Figura 4 – Preparação de substrato para cultivo de cogumelo	17
Figura 5 - Pasteurização de substrato em tonéis.....	18
Figura 6 - Esporos sendo dispersados no ar	18
Figura 7 - Carimbo de esporos	19
Figura 8 - Processo de inoculação de sacos de substratos com esporos de cogumelos	19
Figura 9 - Substratos já inoculados armazenados em sala escura	20
Figura 10 - Substratos colonizados a partir do processo de reprodução sexuada	20
Figura 11 - Final do processo de desenvolvimento dos cogumelos	21
Figura 12 - Processo de cultivo com micélio já colonizado.....	21
Figura 13 - Substrato colonizado por método de reprodução assexuada.....	22
Figura 14 – Estufa para cultivo de cogumelos da Estufas Tropical.....	25
Figura 15 – Esquema do regulador automático de James Watt.....	27
Figura 16 - <i>Github</i> do <i>Mycodo</i>	31
Figura 17 - Sistema de ventilação.....	32
Figura 18 - Caixa de comando do projeto.....	33
Figura 19 - Estufa <i>Mycodo</i> finalizada.....	33
Figura 20 - ESP32 DEV KIT V1	36
Figura 21 – Plataforma Arduino IDE 1.8.19	36
Figura 22 - Sensor <i>SHT20</i> da Sensirion	37
Figura 23 - Módulo <i>SHT20</i> com comunicação RS485	37
Figura 24 - Conversor RS485 para TTL MAX485.....	38
Figura 25 – Módulo HW 0519 com MAX 485	38
Figura 26 - Módulo de relés optoacopladores	39
Figura 27 - Módulo HW 0519 com MAX 485.....	39
Figura 28 - Módulo de comando da estufa.....	40
Figura 29 – Resumo de circuito de automação da estufa.....	40
Figura 30 - Geladeira Esmaltec ROC 31.....	41
Figura 31 – Compressor EM 30HER Embraco	41
Figura 32 - <i>Humid Air Plus III</i>	42
Figura 33 - Lógica de controle do sistema de ventilação.....	43
Figura 34 – Sistema de ventilação instalado na estufa	43
Figura 35 - Lógica de controle do sistema de ventilação.....	44
Figura 36 – Sistema de iluminação da estufa	45
Figura 37 – Sensor <i>SHT20</i> instalado na estufa.....	46
Figura 38 - Diagrama elétrico do circuito de controle do compressor da estufa.....	46
Figura 39 – Lógica de controle de temperatura do terrário.....	47
Figura 40 – Lógica de controle de umidade do terrário	48
Figura 41 – Estufa finalizada.....	48
Figura 42 – Estufa com alguns micélios de cogumelo em pré-frutificação	49
Figura 43 – Site da plataforma <i>Thingspeak</i> [®] da Mathworks [®]	50
Figura 44 – Canais criados no <i>Thingspeak</i> [®]	50
Figura 45 – Campos do canal criado no <i>Thingspeak</i> [®]	51
Figura 46 – Chaves de leitura e escrita do canal criado no <i>Thingspeak</i> [®]	51
Figura 47 – Chaves de leitura e escrita do canal criado no <i>Thingspeak</i> [®]	52
Figura 48 – Campos de leitura de umidade, temperatura, estados das ventoinhas e do umidificador no <i>Thingspeak</i> [®]	52

Figura 49 – Site do Kodular®	53
Figura 50 – Tela de projetos no Kodular.....	53
Figura 51 – Desenvolvimento de interface de aplicativo o Kodular.....	54
Figura 52 - Tela de controle do aplicativo.....	54
Figura 53 – Tela de gráficos do aplicativo	55
Figura 54 - Interface de digrama de blocos do Kodular	55
Figura 55 – Blocos com as chaves de leitura e escrita do canal do <i>Thingspeak</i> ®.	56
Figura 56 – Tela do aplicativo para <i>Android</i> ®antes da alteração dos <i>Set Points</i> das variáveis	59
Figura 57 – Tela do aplicativo após a alteração dos <i>Set Points</i> das variáveis.....	60
Figura 58 – Variáveis de tempo do compressor e do umidificador	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico de Estado da Ventilação x Tempo.....	57
Gráfico 2 – Gráfico do estado do Umidificador x Tempo.....	58
Gráfico 3 – Gráfico do estado do Compressor x Tempo.....	58
Gráfico 4 – Gráfico de Umidade x Tempo.....	58
Gráfico 5 – Gráfico de Temperatura x Tempo.....	59
Gráfico 6 – Gráfico de Estado do Compressor x Tempo.....	60
Gráfico 7 – Gráfico de Estado do Umidificador x Tempo.....	61
Gráfico 8 – Gráfico de Temperatura x Tempo.....	62
Gráfico 9 - Gráfico de Temperatura x Tempo.....	62
Gráfico 10 – Gráfico Estado da Luz x Tempo.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Planilha de Custos para implementação da estufa	56
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A.C. - Antes de Cristo

ANPC - Associação Nacional de Produtores de Cogumelos

AC - *Alternated Current* (Corrente Alternada)

CO² - Dióxido de Carbono

I/O - *Input/Output* (Entrada/Saída)

DC - *Direct Current* (Corrente contínua)

IoT - *Internet of Things* (Internet das Coisas)

LED - *Light-Emitting Diode* (Diodo Emissor de Luz)

PWM - *Pulse-Width Modulation* (Modulação por Lagura de Pulso)

QD - Quadro de Distribuição

RTC - *Real Time Clock* (Relógio de Tempo Real)

RTOS – *Real Time Operation System* (Sistema Operacional em Tempo Real)

SO - Sistema Operacional

UFC - Universidade Federal do Ceará

UFRPE - Universidade Federal Rural de Pernambuco

UFTPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

UR - Umidade Relativa

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Contextualização e motivação da monografia.....	14
1.2. Cultivo de Fungos Comestíveis.....	15
1.2.1. <i>Conceito e classificação dos tipos de fungos</i>	15
1.2.2. <i>Requerimentos e aspectos do cultivo de fungos comestíveis</i>	17
1.2.3. <i>Cenário Mercadológico do cultivo de Fungos comestíveis</i>	22
1.2.3.1. <i>Cenário Mercadológico do cultivo de Fungos comestíveis no mundo</i>	22
1.2.3.2. <i>Cenário Mercadológico do cultivo de Fungos comestíveis no Brasil</i>	23
1.2.3.3. <i>Cenário Mercadológico do cultivo de Fungos comestíveis no Ceará</i>	23
1.3. Impacto da automação do cultivo de fungos comestíveis.....	24
1.4. Objetivos e contribuições esperados pelo trabalho.....	25
1.5. Estrutura da monografia.....	26
2. AUTOMAÇÃO NO CULTIVO DE FUNGOS COMESTÍVEIS	27
2.1. Tipos de sistemas automáticos utilizados.....	27
2.1.1. <i>Revisão Bibliográfica de algumas soluções de automação aplicadas em cultivo de fungos comestíveis</i>	29
2.2. Comparação de algumas soluções de automação aplicada em cultivo de fungos comestíveis	34
2.3. Sistema de Automação proposto.....	35
2.3.1. <i>Controlador, interface de programação, sensoriamento e acionamento das cargas</i> 35	
2.3.1.1. <i>Sistema de controle de ventilação</i>	42
2.3.1.2. <i>Sistema de controle de iluminação</i>	44
2.3.1.3. <i>Sistema de controle de umidade e temperatura</i>	45
2.3.1.4. <i>Estufa para cultivo de cogumelos finalizada</i>	48
2.3.2. <i>Comunicação com plataforma IoT</i>	49
2.3.3. <i>Aplicativo para controle no Android®</i>	53
2.3.4. <i>Custo de Implementação do projeto</i>	56
3. RESULTADOS DO SISTEMA PROPOSTO.....	57
3.1. Resultados sistema de ventilação.....	57
3.2. Resultado do sistema de umidade e temperatura.....	57
3.3. Resultados sistema de iluminação	63
3.4. Resultados gerais e avaliação do sistema.....	63
4. CONCLUSÃO.....	64
4.1. Conclusão geral	64
4.2. Proposta para trabalhos futuros	64
5. REFERÊNCIAS	66

1. INTRODUÇÃO

Os cogumelos são consumidos pelos seres humanos desde tempos imemoráveis. Para se ter uma ideia, hieróglifos datando de 4.600 A.C. já demonstravam que os antigos faraós egípcios faziam o uso desses fungos em sua dieta (VIEIRA, 2018). Eram chamados de “alimentos dos deuses”, também recebia a mesma alcunha dos romanos (LIN; LIN, 1997). Desde esse tempo as propriedades nutritivas e médicas dos cogumelos vêm sendo exploradas e hoje, o consumo deles vem crescendo ano a ano, por todo o mundo.

No Brasil, esse consumo ainda é tímido, porém, vem crescendo a cada nova medição dessa estatística e, com a crescente busca por uma alimentação mais saudável, a tendência é que a busca por cogumelos seja cada vez maior.

Uma das barreiras para esse crescimento é o custo para a obtenção desse alimento, o que muitas vezes impossibilita a inserção dele no cardápio das residências brasileiras. Um outro fato que vem se somar a essas dificuldades é o clima do país. O clima do Brasil não é ideal para o cultivo do cogumelo em meio natural, pois condições de temperatura e umidade estão bem aquém das exigidas para a criação desses fungos. Apenas nas regiões Sul e Sudeste é que é possível realizar esse cultivo natural de forma mais adequada, não à toa, essas são as regiões que contam com as maiores produções (COGUMELLOS, 2018). Dessa maneira, este trabalho vem com o intuito de introduzir uma possível solução para esses dois problemas por meio de uma estufa automatizada para o cultivo de cogumelos em ambiente residencial, possibilitando a obtenção dos cogumelos em locais com climas que dificultam o cultivo, além de conseguir esse resultado com um menor custo em relação ao obtido no varejo.

Das diversas fontes de proteínas existentes na natureza, os cogumelos apresentam maiores proporções desse macronutriente que as encontradas nos vegetais e em comparação com proteínas de origem animal os cogumelos apresentam melhor digestibilidade, menor quantidade de colesterol e de gorduras (URBEN et al., 2017).

Outro ponto interessante sobre os cogumelos é a grande quantidade de micronutrientes, como vitaminas do complexo B, fósforo, potássio, sódio e cálcio (LIN; LIN, 1997). Esses e outros motivos têm sido bastante significativos para o aumento do consumo desse alimento a nível global.

1.1. Contextualização e motivação da monografia

Com o aumento no consumo de cogumelos, o alto preço pedido pelo produto e a pouca produção em âmbito nacional, este trabalho tem o intuito de apresentar uma solução para o cultivo de cogumelos em estufas automatizadas. Elas podem ser aplicadas em âmbito

residencial de modo a possibilitar que os consumidores em pequena escala possam ter acesso a esse alimento.

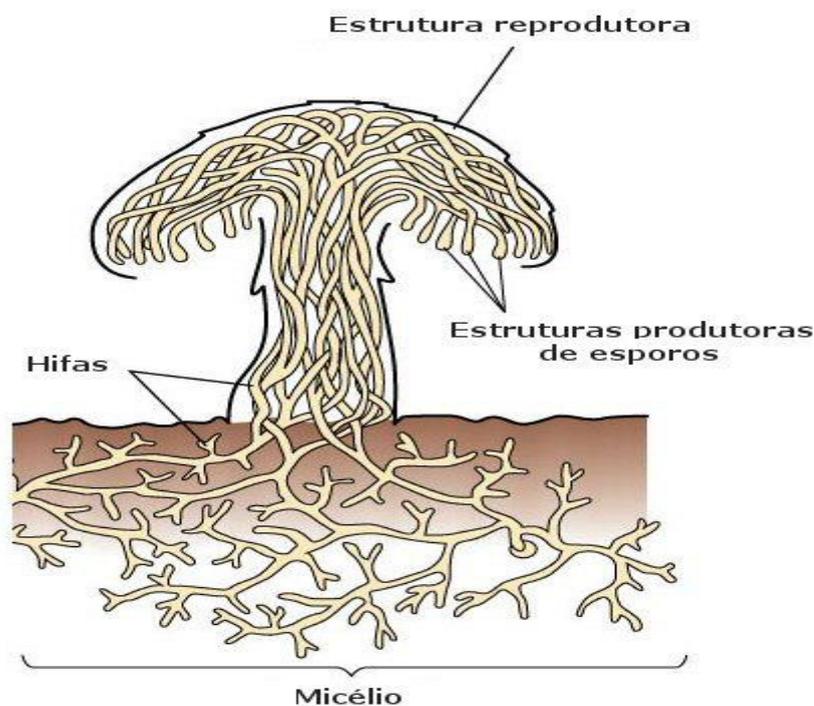
1.2. Cultivo de Fungos Comestíveis

1.2.1. Conceito e classificação dos tipos de fungos

Para explicar o funcionamento do sistema de automação de cultivo de cogumelos é importante inicialmente explicar como é o ciclo de vida dos cogumelos e como é realizado o cultivo tradicional desses fungos comestíveis.

Os cogumelos pertencem ao reino *Fungi*, em especial, os cogumelos comestíveis fazem parte da Ordem *Agaricales*. Em relação a morfologia, os cogumelos são formados por estruturas conhecidas como hifas, que são filamentos de células, e o conjunto dessas hifas formam o micélio. A estrutura básica do cogumelo pode ser vista na Figura 1.

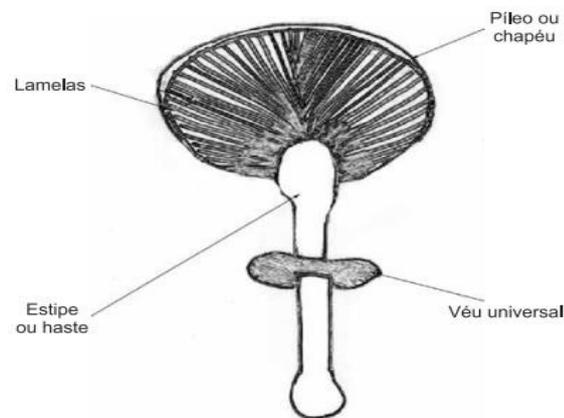
Figura 1 - Estrutura básica de um cogumelo



Fonte: (SALSA, 2004)

O micélio é a parte vegetativa do fungo e é constituído pela união e ramificação de diversas hifas que se emaranham, formando um conjunto coeso. É no micélio que acontece a diferenciação celular, que dará início a formação das estruturas responsáveis pela reprodução sexuada, no caso dos *Agaricales*, o basidioma que é comumente conhecido como cogumelo. Formado por píleo (chapéu), estipe, lamelas e véu, esta parte do fungo armazena os basidiósporos, que funcionam como as “sementes” do cogumelo (URBEN et al., 2017). Essas estruturas podem ser vistas na Figura 2.

Figura 2 - Morfologia de uma basídia

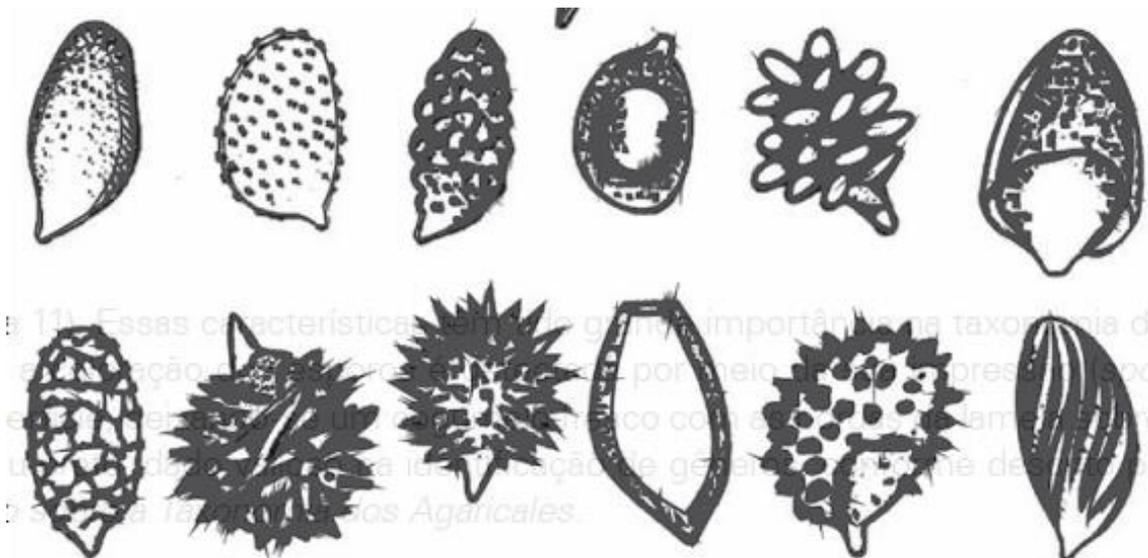


Fonte: (URBEN et al., 2017)

Na parte inferior do chapéu fica o himênio que é a parte fértil do cogumelo apresenta uma superfície lamelar. As lâminas são formadas por estruturas chamadas de cistídeos, paráfises e basídios. Nos basídios estão os basidiósporos (estruturas férteis) e os cistídeos (estruturas estéreis).

Os basidiósporos podem apresentar os mais diversos formatos, tamanhos e ornamentações. Não necessariamente todos comportam uma região de poros germinativos definida. Os formatos mais comuns de basidiósporos podem ser vistos na Figura 3.

Figura 3 – Formatos e ornamentação de basidiósporos



Fonte: (URBEN et al., 2017)

Com a definição desses conceitos sobre os fungos pode-se partir para a explicação sobre a reprodução dos cogumelos:

- a) reprodução assexuada: ocorre por meio da fragmentação do micélio, na fase vegetativa, e da produção de conídios.
- b) reprodução sexuada: ocorre na união entre conjuntos de hifas diferentes, mas compatíveis. A esse processo é dado o nome de somatogamia e no final dele surgem os basídios com os basidiósporos.

1.2.2. Requerimentos e aspectos do cultivo de fungos comestíveis

No processo de cultivo a produção de cogumelos, seja uma produção assexuada ou sexuada, é necessário que se obtenha um substrato para que o cogumelo possa se alimentar e se desenvolver. Na natureza, os mais diversos tipos de matérias orgânicas servem de substrato para os cogumelos: fezes de animais, troncos de árvores mortas, carcaças de animais *moRTOS* etc. Em aplicações comerciais são usados outros tipos de substrato mais facilmente manipuláveis e reproduzíveis. Nesse caso são usados principalmente grãos tais como arroz, milho, sorgo entre outros. Esse substrato é preparado e depois separados em sacos plásticos hermeticamente fechados, que podem ser levados para pasteurização, conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Preparação de substrato para cultivo de cogumelo



Fonte: (URBEN et al., 2017)

No processo de pasteurização, o substrato é esterilizado em temperaturas superiores aos 100°C de modo a eliminar os contaminantes ou outros fungos indesejáveis que podem vir a competir pelo substrato com o fungo que queremos cultivar (URBEN *et al.*, 2017). O processo de pasteurização pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 - Pasteurização de substrato em tonéis



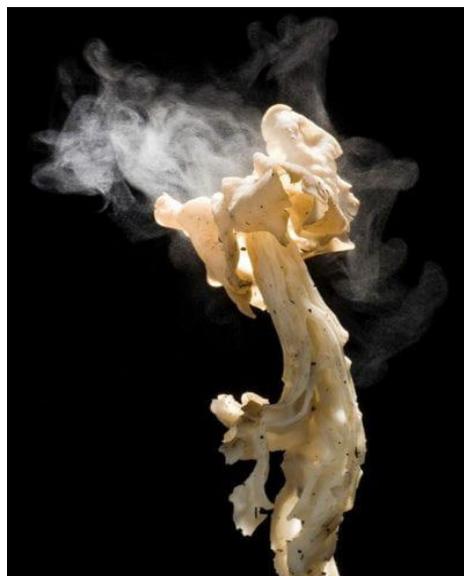
Fonte: (URBEN et al., 2017)

Depois de devidamente descontaminados, os sacos com o substrato podem passar para a fase em que receberão a inoculação da semente do cogumelo. A depender da forma de cultivo, essa fase pode variar em tempo e em modo de execução.

Por muitas vezes, o processo de cultivo pode ser iniciado a partir da germinação do esporo, reprodução sexuada. Esse tipo de processo é um pouco mais lento que a reprodução assexuada e pode acabar gerando maiores variabilidades em relação aos resultados obtidos pois não é possível isolar um esporo específico para dar início a reprodução do fungo.

A reprodução sexuada começa pela germinação do basidiósporo (esporo), encontrado na estrutura das basídias. Esse esporo produzirá os filamentos de células (hifas) que irão se multiplicar e gerar o micélio primário. Na natureza, esses esporos são liberados no ar ou levados por animais para outros lugares a fim de germinarem nos mais diversos substratos. Esse processo pode ser visto na Figura 6.

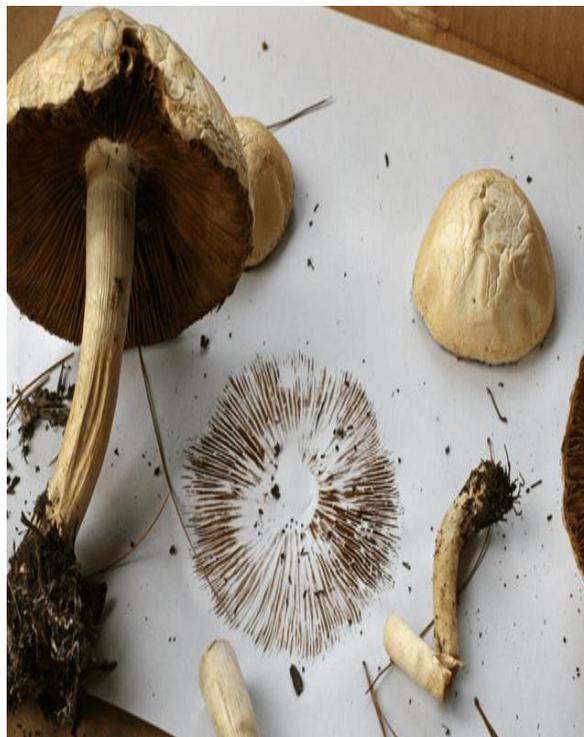
Figura 6 - Esporos sendo dispersados no ar



Fonte: (BRADLEY, 2014)

Para uso comercial e de pesquisa, é mais fácil obter-se o carimbo de esporos, que nada mais é do que os basidiósporos depositados sobre algum tipo de suporte que pode ser papel alumínio ou papel manteiga (BRADLEY, 2014), como apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Carimbo de esporos



Fonte: (GRANT, 2021)

Esses esporos devem ser reidratados e inoculados nos sacos com o substrato esterilizado na fase anterior conforme a Figura 8:

Figura 8 - Processo de inoculação de sacos de substratos com esporos de cogumelos



Fonte: (URBEN et al., 2017)

Após a inoculação inicia-se o crescimento vegetativo. Os sacos inoculados são armazenados em uma sala sem incidência de luz, com temperatura ambiente em torno de 25°C a 28°C e 70% a 80% de umidade, conforme mostrado na Figura 9.

Figura 9 - Substratos já inoculados armazenados em sala escura



Fonte: (URBEN et al., 2017)

Na fase vegetativa ocorrerá o crescimento, multiplicação e a expansão das hifas no substrato. Cada basidiósporo germinado gerará uma hifa diferente. Com o entrelaçamento entre diferentes hifas, surgirá o micélio secundário, que terá a genética dos esporos que o constituem (URBEN et al., 2017). Os substratos colonizados com os micélios são mostrados na Figura 10.

Figura 10 - Substratos colonizados a partir do processo de reprodução sexuada



Fonte: (URBEN et al., 2017)

Depois de totalmente colonizados eles partem para a fase de frutificação. Muda-se as condições ambientais pois os substratos colonizados deverão receber iluminação por algumas horas para estimular o desenvolvimento das basídias e altera-se a umidade deixando a em 80% a 90%. Também é necessário a inserção de ventilação pois os *Agaricales* são fungos aeróbicos que dependem de ar fresco para seu desenvolvimento. Já a temperatura permanece a mesma da fase vegetativa.

Após esse processo, mantendo-se condições ambientais favoráveis, será formado o

micélio terciário e a partir daí surgirá a basídia, a ela dará origem ao basidiósporo, fechando o ciclo de reprodução sexuada do fungo. Essa fase do processo é apresentada na Figura 11.

Figura 11 - Final do processo de desenvolvimento dos cogumelos



Fonte: (URBEN et al., 2017)

Já a reprodução assexuada é mais efetiva para produção comercial, pois além de ser mais rápida que a reprodução sexuada, garante uma menor variabilidade em relação às características obtidas dos cogumelos que serão colhidos. Porém há uma certa problemática em relação a reprodução assexuada: quando repetida por muitas vezes o micélio começa a perder o vigor, e seu crescimento fica mais lento o que acaba por prejudicar a produção. Nesse tipo de cultivo é obtida uma amostra de um substrato já colonizado com o micélio do cogumelo que se deseja reproduzir e cultivar. Com esse substrato já colonizado basta que ele seja separado em grãos e colocado dentro de sacos com o substrato estéril. Esse micélio, já colonizado, se ramificará pelo substrato estéril, formando uma nova cadeia de micélio. O processo de cultivo utilizando reprodução assexuada pode ser visto na Figura 12.

Figura 12 - Processo de cultivo com micélio já colonizado



Fonte: (URBEN et al., 2017)

Após o preparo dos sacos, o procedimento será o mesmo do cultivo utilizando

inoculação de esporos: sala escura com temperatura ambiente em torno de 25°C a 28°C e 70% a 80% de umidade, para estimular a fase vegetativa do fungo. Os substratos já colonizados por meio de reprodução assexuada podem ser vistos na Figura 13.

Figura 13 - Substrato colonizado por método de reprodução assexuada



Fonte: (URBEN et al., 2017)

Após obter-se os substratos completamente colonizados, deve-se colocá-los para frutificar seguindo o mesmo procedimento no qual os sacos com micélio colonizado eram colocados nas estufas para entrar em fase de frutificação.

Como é possível perceber, o cultivo depende de alguns equipamentos, insumos específicos e principalmente de condições ambientais específicas como controle de iluminação, temperatura, ventilação e umidade. E foi a partir do ponto relativo ao espaço de cultivo, que o projeto foi desenvolvido, para que fosse possível desenvolver todo o processo desde a inoculação até a frutificação do fungo dentro de uma solução caseira e de relativo baixo custo.

1.2.3. Cenário Mercadológico do cultivo de Fungos comestíveis

1.2.3.1. Cenário Mercadológico do cultivo de Fungos comestíveis no mundo

Dentre os maiores produtores de cogumelos temos a China, Itália, Estados Unidos e Holanda. Conforme dados da *Allied Market Research*, a previsão de crescimento para o mercado mundial de cogumelos nesses próximos anos é de 9,3%, indo de 33,553 bilhões de dólares em 2021 para 53,342 bilhões de dólares até o ano de 2027 (KADAM, 2021).

Nesse mercado, o Brasil ainda participa com uma modesta fatia, em uma produção ocorrendo majoritariamente no estado de São Paulo e com alguns outros produtores atuando

em Minas Gerais, Rio de Janeiro, sul da Bahia, Pernambuco, Brasília e Rio Grande do Sul. Atualmente esse setor é ocupado principalmente por micro e pequenos produtores, sendo responsável por mais de 3.000 empregos diretos (COGUMELOS, 2018).

1.2.3.2. Cenário Mercadológico do cultivo de Fungos comestíveis no Brasil

O consumo de cogumelos vem crescendo ano a ano no Brasil. Segundo dados da ANPC (Associação Nacional de Produtores de Cogumelos), o consumo médio de cogumelos era, em 1996, algo em torno de 30g/ano, hoje já passa de 150g/ano. Em comparação, os moradores de países asiáticos consomem por volta de 8 quilogramas por ano de cogumelos (COGUMELOS, 2018).

Neste cenário, pode-se ver a crescente demanda por cogumelos alimentícios em terras brasileiras. Com a crescente busca por novas fontes de proteínas, esses fungos vêm ganhando espaço no cardápio dos brasileiros. Adicionalmente a isso, os cogumelos apresentam grandes quantidades de vitaminas dentre outros compostos químicos benéficos à saúde.

Atualmente, os preços dos cogumelos produzidos no Brasil ainda não são competitivos frente aos preços do produto advindo de outros mercados, principalmente do mercado asiático. A produção brasileira *in natura* chega a 12.000 toneladas por ano, já a produção chinesa, por exemplo, passa das 5 milhões de toneladas ao ano. Assim, o governo tem agido por meio da imposição de taxas aos produtos estrangeiros com o fim de aumentar a competitividade do produto nacional frente ao importado.

Dentre as variedades mais consumidas e produzidas, tem-se o champignon de Paris (*Agaricus bisporus*), o shimeji (*Pleurotus spp.*) e o shitake (*Lentinula edodes*) (COGUMELOS, 2018). Os cogumelos geralmente são cultivados em estufas onde as condições de temperatura, umidade, ventilação e iluminação são controladas de maneira ótima para que se possa atingir a melhor produtividade possível. O material usado como substrato pode ser palha, esterco, serragem, bagaço de cana, borra de café, entre outros e a partir da junção de um bom controle em estufa com boas técnicas de manejo é possível obter 15kg de cogumelo para cada 1m² de substrato (CAVALCANTE, 2008). Dessa maneira, a qualidade do produto obtido e a rentabilidade sofrem um grande incremento a partir da inserção de técnicas de cultivo em estufa.

1.2.3.3. Cenário Mercadológico do cultivo de Fungos comestíveis no Ceará

Em relação ao Nordeste e em especial o Ceará, o cultivo de cogumelos ainda não é uma prática muito popularizada. Muito disso se deve ao fato de as condições climáticas dessa parte do país não serem muito favoráveis ao desenvolvimento da cultura. Alguns poucos trabalhos foram ou estão sendo realizados na região. Pode-se referenciar um trabalho que foi

desenvolvido pela UFC (Universidade Federal do Ceará) nas regiões de Guaramiranga e Fortaleza (CAVALCANTE, 2005). Nesse projeto foi analisada a possibilidade de cultivo da espécie nas duas regiões. Em Fortaleza, cidade onde as temperaturas oscilam na casa dos 30°C e com baixa amplitude térmica, não ocorreu a frutificação dos cogumelos. Já na região de Guaramiranga o resultado foi diferente, pois com condições climáticas mais favoráveis foi possível obter níveis de produção costumeiramente obtidos em regiões tradicionais de cultivo.

Sendo assim, é interessante citar que foi encontrado apenas um produtor de cogumelos na região de Guaramiranga, com um cultivo presente desde 2014. Esse produtor é um dos responsáveis pelo abastecimento de diversos restaurantes e supermercados da região de Guaramiranga e de Fortaleza.

Já em Pernambuco, está sendo realizado um outro projeto de cultivo de cogumelos comestíveis. Um professor da UFRPE (Universidade Federal Rural de Pernambuco) estabeleceu um sistema de criação desses fungos no bairro Aldeia, na cidade de Paudalho, localizada no agreste de Pernambuco. A produção consegue fornecer até uma tonelada do produto a cada período de três meses de cultivo, contando com 4 estufas de 60m² cada e uma oficina de microbiologia (PORTELA, 2018).

Dessa maneira, é evidente que o cenário do cultivo de cogumelos comestíveis na região Nordeste ainda está em estágios iniciais e esse projeto vem com o intuito de fornecer uma nova abordagem para tal empreitada. De modo a fornecer meios para que seja possível um cultivo *indoor* de baixo custo e de bom rendimento produtivo.

1.3. Impacto da automação do cultivo de fungos comestíveis

Conforme anteriormente descrito, o cultivo de cogumelos depende do controle de diversas variáveis e tem várias fases até que se possa obter o produto final. Todo esse processo pode ser simplificado e mais facilmente controlado se sofrer a implementação de algum tipo de intervenção. O controle da luminosidade, temperatura, ventilação e umidade dentro de uma estufa de cultivo de cogumelos pode ser feito a partir da utilização de sensores e atuadores de modo a facilitar o trabalho do produtor, seja essa produção de pequena ou larga escala. Alguns resultados desse tipo de processo podem ser vistos no trabalho desenvolvido em um projeto de automação de um cultivo de pequena escala de *Agaricus blazei* realizado em uma propriedade na região de Santa Helena no Paraná (GIORDINO, 2018). Nesse trabalho foi percebido que com a adição de um sistema de automação no cultivo foi possível obter ganhos de até 57% em relação a situação anterior, sem automação.

Atualmente, existem no mercado diversas empresas que fornecem estufas

automatizadas para cultivos de cogumelos. Em sua grande maioria, essas estufas têm como direcionamento atender clientes com produção em maior escala e que necessitam aumentar sua produtividade e melhorar o manejo de suas culturas. Um exemplo é a empresa Estufas Tropical, que produz estufas automatizadas com fins de produção em maior escala, conforme pode ser visto na Figura 14.

Figura 14 – Estufa para cultivo de cogumelos da Estufas Tropical



Fonte: (ESTUFAS, 2019)

1.4. Objetivos e contribuições esperados pelo trabalho

O cultivo de cogumelos é uma tarefa que exige certo nível de conhecimento e um controle preciso de diversas variáveis do processo. Nas condições climáticas do Brasil, e em especial do Nordeste brasileiro, é quase impossível cultivar cogumelos em um ambiente sem os devidos controles de temperatura e umidade. O projeto de uma estufa automatizada surge com o intuito de possibilitar o desenvolvimento dessa cultura em basicamente qualquer ambiente, bastando ter os componentes necessários e energia elétrica para alimentar os equipamentos.

Com base nas informações apresentadas, o objetivo desse trabalho é apresentar uma prova de conceito de uma estufa automatizada utilizando equipamentos relativamente baratos e de fácil acesso de modo a possibilitar o cultivo de cogumelos comestíveis em qualquer lugar e a partir disso o desenvolvimento tanto de alimentação pessoal, para o produtor e sua família, como o desenvolvimento de produção de maiores escalas com vistas a suprir o mercado

brasileiro que não conta com muitos produtores desses fungos.

1.5. Estrutura da monografia

Este trabalho se estrutura com a finalidade de fornecer um estudo introdutório no que envolve o cultivo automatizado de cogumelos. O capítulo 1 apresenta uma justificativa para o desenvolvimento do projeto, o capítulo 2 apresentará as bases para a constituição do projeto e os conceitos que devem ser respeitados no desenvolvimento do mesmo, o capítulo 3 irá apresentar os resultados obtidos com a implementação do projeto e por último, o capítulo 4, irá apresentar as conclusões alcançadas a partir de tudo que foi abordado no desenvolvimento do trabalho.

2. AUTOMAÇÃO NO CULTIVO DE FUNGOS COMESTÍVEIS

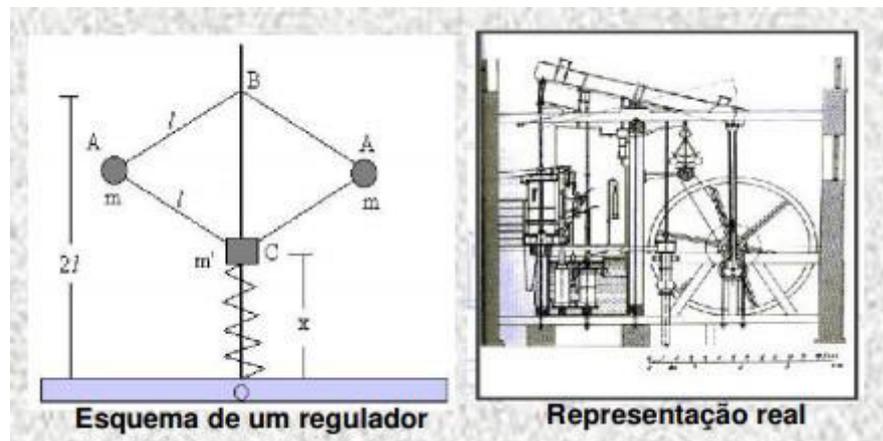
2.1. Tipos de sistemas automáticos utilizados

Com a evolução da técnica e as melhorias tecnológicas em todos os substratos da sociedade a necessidade por processos mais eficientes, mais rápidos e mais independentes vem crescendo a cada dia. Uma das principais formas de fornecer a um processo essas características é a automação, ou mais especificamente, o controle automático (OGATA, 2010).

Em praticamente todos os campos possíveis da indústria, ciência e tecnologia existem espaços para a implementação de sistemas automatizados. Desde o bombeamento de água para o enchimento de um tanque, a construção de um microprocessador com transistores na ordem de nanômetros. Todos esses processos necessitam da implementação de algum tipo específico de controle (OGATA, 2010).

Foi James Watt que desenvolveu um dos primeiros sistemas automatizados digno de nota. O sistema era basicamente um regulador centrífugo para o controle de velocidade de uma máquina a vapor (OGATA, 2010). O desenho do dispositivo pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 – Esquema do regulador automático de James Watt



Fonte: (SILVA, 2022).

O sistema da Figura 15 era bem rudimentar e dependia da utilização de esferas com pesos para a movimentação do volante de um motor e, assim, a realizar a variação de sua velocidade (OGATA, 2010).

Desde então, o controle automatizado vem ganhando espaço nos processos industriais chegando a ser indispensável nas mais diversas situações, sendo vital para o nível de produção exigido para os dias atuais.

Alguns conceitos devem ser definidos para os sistemas de controle:

a) **Variável controlada e sinal de controle:** Em um determinado sistema existe uma ou mais variáveis de interesse que se deseja manter o controle. O que é feito é

definir a grandeza de interesse e a partir daí qual o método para a controlar. Com isso o controlador deve ser parametrizado para manter a variável de controle dentro de um limite pré-estabelecido e para que haja a manutenção desse elemento nos níveis necessários é utilizado um sinal de controle com o qual o controlador irá alimentar um atuador que atuará em cima da variável controlada (OGATA, 2010).

b) **Sistema:** É a junção de diversos elementos atuando para realizar uma determinada tarefa. Não necessariamente o sistema precisa ser algo físico. Um sistema pode existir apenas abstratamente e mesmo assim ser modelado e controlado (OGATA, 2010).

c) **Distúrbios:** Em um determinado sistema, quando algo interfere na variável controlada fazendo com que a mesma tenda a ficar em valores diferentes dos buscados pelo controle, a esse fenômeno dá-se o nome de distúrbio (OGATA, 2010).

d) **Controle com realimentação:** Baseado nas variações geradas pelos distúrbios no sistema deve-se buscar uma maneira de manter a variável controlada no nível desejado. Esse fato só é possível quando se insere uma forma de controle com realimentação no sistema. Com o sinal de controle gerado pelo controlador atuando sobre a variável do sistema é possível reduzir a diferença do valor da grandeza real para o valor que se deseja para a grandeza controlada (OGATA, 2010).

Existem diversas formas de se implementar o controle em um processo. Existem os sistemas de controle em malha aberta e em malha fechada (OGATA, 2010). Eles serão definidos a seguir:

a) **Sistema de malha aberta:** Os sinais da saída do sistema não recebem nenhum tratamento do controle. Isso significa que a variável controlada é iniciada em um determinado valor e espera-se que ela mantenha o comportamento desejado, porém, não existe uma forma de manter-se essa condição nem de lidar com os possíveis distúrbios que venham a ocorrer, pois o sistema não conta com uma realimentação para levar essa informação para o controle e, assim, possibilitar a correção do sistema (OGATA, 2010).

b) **Sistema de malha fechada:** Esse é o chamado controle com realimentação, pois a malha fechada possibilita que o sinal de saída seja levado para o controlador, e ele possa, a partir da comparação com o valor desejado da variável controlada, atuar e fazer com que se mantenha o valor de saída próximo do valor buscado e com isso dirimir os efeitos gerados por distúrbios sobre o sistema (OGATA, 2010).

Na automação do cultivo de cogumelos, temos presente tanto o sistema de malha aberta quanto de malha fechada. No controle de temperatura e umidade foi usado um sistema de malha fechada no qual um sensor de temperatura e umidade informava ao controlador as condições do ambiente e a partir delas, em conjunto com o valor do *Set Point* definido, eram realizadas as intervenções no sistema a partir do acionamento do compressor da geladeira e do umidificador, respectivamente.

No controle da ventilação e da luminosidade, o sistema é de malha aberta pois os pulsos de controle são apenas enviados aos atuadores nos horários definidos pela programação, sem nenhum tipo de retroalimentação.

2.1.1. Revisão Bibliográfica de algumas soluções de automação aplicadas em cultivo de fungos comestíveis

Em relação a automação de cultivo de cogumelos não se encontra muita bibliografia disponível, mesmo após pesquisas na Plataforma CAFe (Comunidade Acadêmica Federada) e Google Acadêmico. Um dos trabalhos a ser citado é o que foi realizado em Santa Helena/PR (GIRARDI, 2018).

Nesse projeto desenvolvido, foram seguidos conceitos semelhantes aos abordados neste texto. Priorizando o controle de variáveis de cultivo como temperatura e umidade do ambiente. O trabalho citado foi aplicado em um cultivo de maiores dimensões, no caso, um barracão de 20 m² no qual já ocorria um cultivo de *Agaricus blazei*, mais conhecido como “cogumelo do Sol”. Esse cogumelo tem larga aplicação na indústria de fitoterápicos sendo bastante utilizado para o reforço da imunidade e o tratamento da hepatite C (ERENO, 2004). O cultivo anteriormente realizado era de pequena escala e contando com a utilização de controles manuais para as variáveis de processo.

Outra particularidade do trabalho desenvolvido no Paraná foi em relação a temperatura. Na região Sul do país, quando foi desenvolvido o projeto, a amplitude térmica variava entre 20°C e 27°C. Esse nível de temperaturas é aceitável para o cultivo de cogumelos e isso facilitou o controle dessa variável do ambiente de cultivo. Já neste trabalho, como foi realizado na região Nordeste do país, onde as temperaturas oscilam na casa dos 30°C, era necessário um controle ativo da refrigeração da estufa de cultivo, pois a temperatura ambiente da região seria um impeditivo ao cultivo.

Sendo assim, no projeto citado foram utilizados um controlador *Arduino MEGA*[®] 2560, aliado com um sensor de umidade e temperatura *SHT20* e como atuadores eletroválvulas que comandavam uma sequência de aspersores que eram responsáveis por manter a umidade

do ambiente estável e quando necessário fazer também o resfriamento do ambiente por meio da nuvem de gotículas gerada. Esse sistema foi conectado a uma plataforma de *IoT* e os dados gerados foram armazenados a fim de comparação e controle dos resultados do processo.

Uma outra variável que também foi analisada no cultivo realizado em Santa Helena/PR foi a umidade do substrato utilizado. Nesse sentido, no trabalho aqui desenvolvido não foi necessário adotar tal controle pois foram obtidos resultados aceitáveis apenas com o controle de temperatura e umidade ambiente, deixando de lado o controle de umidade do substrato, no qual o micélio do cogumelo se desenvolvia.

Em resumo, o trabalho citado foi desenvolvido em duas fases:

- a) **Fase 1:** O cultivo foi realizado de maneira manual e as variáveis de processo, bem como o resultado da colheita, foram armazenados para quesito de comparação.
- b) **Fase 2:** Com a aplicação da automação projetada também houve a aquisição de dados do ambiente e uma nova quantificação do resultado do peso obtido dos cogumelos colhidos.

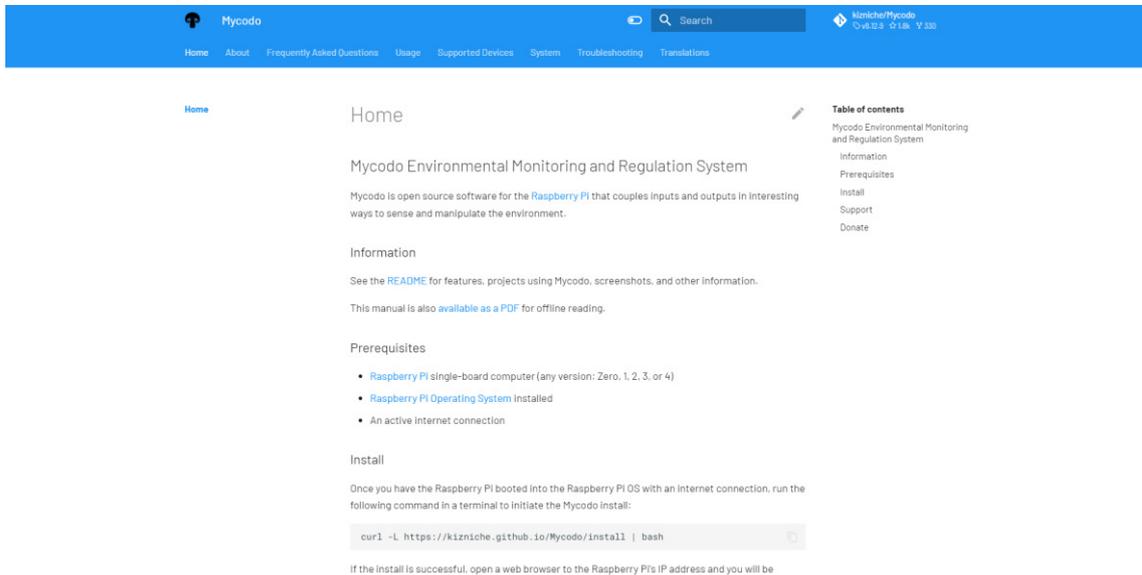
Dessa maneira, ao final do processo foi colhido o total de 13,459kg de cogumelos, um aumento em torno de 57% em relação a Fase 1 do projeto na qual foi obtido um total 7,656kg do produto. Com as conclusões obtidas desse trabalho foi possível perceber que automatizar um processo de cultivo de cogumelos pode vir a ser bastante vantajoso no que tange ao ganho de produção e a melhoria da constância do processo e dos resultados obtidos e que o controle mais preciso das variáveis do processo pode vir, além de tudo, a trazer economia para o cultivo na questão de consumo de água e que a aplicação de *IoT* para o registro e monitoramento das informações do processo pode vir a trazer possibilidades interessantes para futuras melhorias a serem desenvolvidas para a aplicação (GIRARDI, 2018).

Também é interessante citar uma iniciativa colaborativa chamada *Mycodo*. Ele consiste em um *software* aberto desenvolvido para ser utilizada no *Raspberry Pi*[®]. Essa solução agrega entradas e saídas de um sistema de controle e pode ser usado para o cultivo de cogumelos, dentre outras possibilidades, pois possibilita manipular as grandezas presentes em um ambiente de cultivo a partir de leituras de sensores e intervenções de controle em atuadores (GABRIEL, 2021).

O código é liberado para *download* e um usuário pode instalá-lo no seu dispositivo e fazer as devidas adaptações para utilizá-lo no seu cultivo. É possível tanto adaptar o código em si como também a forma como o *software* irá funcionar, possibilitando diversos tipos de entradas e saídas. O *Github* no qual o código está armazenado conta com espaço para discussão

de problemas, sugestões e melhorias para o sistema (GABRIEL, 2021). A *Github* pode ser vista na Figura 16.

Figura 16 - *Github* do *Mycodo*



Fonte: (GABRIEL, 2022).

O código é liberado para *download* e um usuário pode instalá-lo no seu dispositivo e fazer as devidas adaptações para utilizá-lo no seu cultivo. É possível tanto adaptar o código em si como também a forma como o *software* irá funcionar, possibilitando diversos tipos de entradas e saídas. A *Github* no qual o código está armazenado conta com espaço para discussão de problemas, sugestões e melhorias para o sistema (GABRIEL, 2021).

O *software* apresenta os seguintes aspectos:

- a) **Entradas:** O *Mycodo* lê e armazena entradas de sensores, estados de pinos de I/O do controlador, entradas de conversores analógicos-digitais e abre a possibilidade para a inserção de outros tipos de entradas (GABRIEL, 2021);
- b) **Saída:** Faz o controle de estado de pinos de I/O, gera sinais de PWM, executa *scripts* e códigos em Python e permite saídas customizadas (GABRIEL, 2021);
- c) **Funções:** Desenvolve tarefas como integrar dispositivos de entrada e saída das mais diversas maneiras usando controladores PID, controle condicionais, controles a partir de determinados gatilhos e tem espaço para a inserção de outros tipos de funções (GABRIEL, 2021);
- d) **Interface Web:** Permite acessar o *software* usando um *Web Browser* para acompanhar as variáveis de processo em tempo real, alterar *Set Points* e estados de atuadores e acessar históricos de medições de sensores (GABRIEL, 2021);

- e) **Notificações:** Possibilidade de enviar por email notificações quando algum alarme definido pelo usuário for acionado pelo sistema (GABRIEL, 2021);
- f) **Câmeras:** É possível integrar câmeras ao cultivo para acompanhar o processo em tempo real (GABRIEL, 2021);
- g) **Aferição de consumo de energia:** O *Mycodo* consegue guardar os valores do consumo de energia do sistema utilizado (GABRIEL, 2021);
- h) **Atualizações do sistema:** Conforme o *software* seja melhorado no *Github* o usuário tem a opção de facilmente realizar as atualizações para o seu próprio sistema (GABRIEL, 2021);
- i) **Traduções:** O sistema conta com diversas linguagens tais como: inglês, alemão, francês, italiano, norueguês, polonês, português, russo, sérvio, espanhol, sueco e chinês (GABRIEL, 2021).

No próprio *Github* o criador apresenta diversas soluções em que ele aplicou o *Mycodo* tais como: Cultivo de cogumelos, sistema de cultivo hidropônico, cultivo de vegetais em solo etc. Para o trabalho aqui realizado é mais interessante citar o sistema automatizado de cultivo de cogumelos.

Nesse projeto o Autor aborda desde a lista de compras de materiais para a montagem da estufa e do sistema de controle até todos os ajustes realizados no *software* do *Mycodo*. Nessa solução, semelhante a realizada no projeto do Paraná, apenas foi utilizado um sistema de umidificação para um controle da umidade do ambiente, pois como o projeto foi desenvolvido em uma localidade fria, não havia necessidade de um atuador específico para o controle de temperatura. Para a ventilação do ambiente foi usado um ventilador e filtro de ar e para a iluminação uma lâmpada de *LED* comum. O sistema de ventilação pode ser visto na Figura 17:

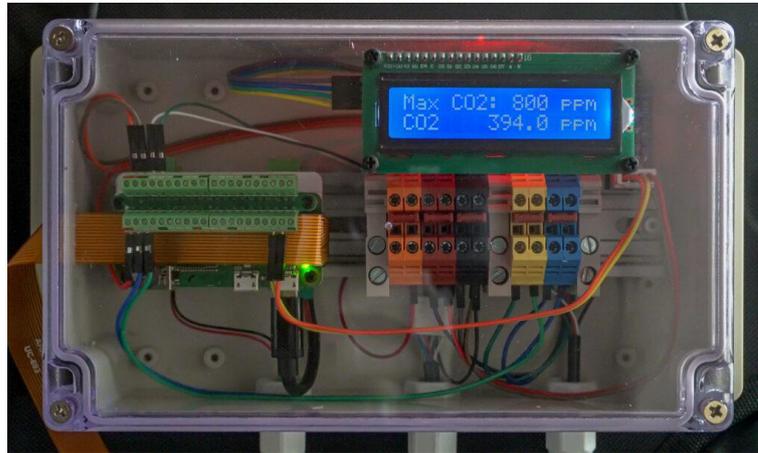
Figura 17 - Sistema de ventilação



Fonte: (GABRIEL, 2022).

Os sensores utilizados no *Mycodo* foram: sensor de temperatura e umidade e um sensor de nível de CO_2 . Também foi usada uma câmera para o monitoramento da estufa e como controlador o *Raspberry Pi Zero W*. A caixa de comando pode ser vista na Figura 18:

Figura 18 - Caixa de comando do projeto



Fonte: (GABRIEL, 2022).

O projeto completo, após toda a montagem pode ser visto na Figura 19:

Figura 19 - Estufa *Mycodo* finalizada



Fonte: (GABRIEL, 2022).

2.2. Comparação de algumas soluções de automação aplicada em cultivo de fungos comestíveis

Conforme visto na revisão bibliográfica, o desenvolvimento de uma solução de automação para um cultivo de cogumelos deve priorizar o controle de 4 variáveis:

- a) ventilação;
- b) iluminação;
- c) umidade;
- d) temperatura.

A forma como essas variáveis vão interferir no desenvolvimento do projeto vai depender, em grande parte, do local onde o cultivo vai ser realizado. Em locais mais frios, na maioria das vezes, é necessário apenas que se controle a umidade do ambiente e, em consequência a esse controle, também pode ser realizado o controle da temperatura. Por isso, nas duas situações citadas na revisão bibliográfica, foi realizada apenas a implementação de um umidificador pois com o controle de umidade já seria suficiente para o bom funcionamento do sistema. Já na situação do trabalho aqui realizado, não seria possível replicar essa situação. Sendo um projeto implementado no Ceará, região onde as temperaturas são inviáveis para o cultivo desses fungos. Então neste projeto foi aplicado, além de um controle ativo de umidade, um controle ativo para temperatura, guardando diferenças com os outros projetos apresentados.

Em relação a ventilação e iluminação, o controle desenvolvido nos trabalhos apresentados na revisão bibliográfica guarda diversas semelhanças com o deste projeto pois esse tipo de variável é tratado de maneira mais simples e não exige controles tão complexos quanto a umidade e temperatura. Neste projeto o controle dessas variáveis também seguiu a mesma lógica dos apresentados na revisão bibliográfica.

Em relação a aquisição de dados dos sistemas, foram usadas soluções semelhantes aos projetos apresentados na revisão bibliográfica e trabalho aqui desenvolvido. No projeto realizado no Paraná foi usada uma plataforma de *IoT*, enquanto no projeto *Mycodo* foi utilizado um *Web Browser* para a aquisição de dados e o acompanhamento do sistema em tempo real. Por mais que houvesse diferenças entre as duas soluções, todas elas usaram de algum tipo de monitoramento para complementar o controle dos sistemas. No projeto aqui desenvolvido foi utilizada uma plataforma *IoT* para a aquisição das informações com a adição de um aplicativo *Android*[®], para o monitoramento das informações do sistema, que será mais bem apresentado na parte 2.3.

Já em relação a intervenção nos *Set Points* dos controladores, no sistema desenvolvido no Paraná, o controle é realizado com intervenções diretas no *script* do controlador, no *Mycode* a própria interface *Web* apresenta um espaço para a intervenção nos controles das grandezas do sistema e o projeto desta monografia utilizou o mesmo aplicativo para *Android*[®] usado para o monitoramento das variáveis de processo para a manipulação dos sinais de saída do controlador.

Pode-se perceber que, mesmo com algumas particularidades específicas, todos os projetos apresentam semelhanças, pois se propõem a atingir o mesmo fim: automatizar o cultivo de cogumelos. E a principal justificativa para o projeto aqui desenvolvido é que ele se adequa a condições ambientais não encontradas nas soluções apresentadas na revisão bibliográfica, além de fornecer uma boa opção para quem deseja obter bons resultados no cultivo de fungos comestíveis.

2.3. Sistema de Automação proposto

O sistema de automação proposto é constituído por 3 partes principais:

- a) Sistema de automação constituído de controle de temperatura, umidade, ventilação e iluminação realizado por sensores, controladores e atuadores;
- b) Sistema de aquisição/transmissão de dados em *IoT* na plataforma *Thingspeak*[®];
- c) Aplicativo para *Android*[®] para monitoramento e controle do sistema a distância.

O foco desse capítulo será explicar cada um desses sistemas de maneira aprofundada passando pela motivação de cada uma dessas partes e como interferem no cultivo dos cogumelos.

2.3.1. Controlador, interface de programação, sensoramento e acionamento das cargas

O sistema de controle das variáveis de cultivo foi desenhado a partir do controlador utilizado. Na situação em questão foi utilizado o ESP32 DEVKIT V1 da Espressif. O ESP32 tem um microprocessador Xtensa Dual-Core 32-bit LX6, com um *clock* máximo de 24 0MHz, memória RAM de 520 KBytes e *Flash* de 4 MB. Além de já vir com conexão *WiFi*, *Bluetooth Low Energy (BLE)*, padrão 4.2 (ESPRESSIF SYSTEMS, 2016). O controlador do sistema pode ser visto na Figura 20.

Figura 20 - ESP32 DEV KIT V1



Fonte: (ESPRESSIF SYSTEMS, 2016)

Esse microcontrolador atende muito bem as necessidades do experimento proposto e ainda abre espaço para futuras expansões e melhorias de ordem física e lógica do sistema. Todo o programa foi desenvolvido usando-se a plataforma de desenvolvimento do Arduino IDE na versão 1.8.19. A interface da plataforma de desenvolvimento do *Arduino*[®] pode ser vista na Figura 21.

Figura 21 – Plataforma Arduino IDE 1.8.19

 A screenshot of the Arduino IDE 1.8.19 software interface. The window title is "gelatek2.0-06.10 | Arduino 1.8.19". The menu bar includes "Arquivo", "Editar", "Sketch", "Ferramentas", and "Ajuda". The code editor shows the following code:


```

gelatek2.0-06.10
//#include <esp_task_wdt.h>
#include <ThingSpeak.h>
#include <string.h>
#include <WiFi.h>
#include <WiFiUdp.h> //Socket UDP
#include <ModbusMaster.h>
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>

#include "RTClib.h"

RTC_DS1307 RTC;

#define RXD2 16
#define TXD2 17
#define MODBUS_DATA_TRANSACTION_PIN 8 //DE & RE Pin of MAX485
long prevMillisThingSpeak = 0;
int intervalThingSpeak = 60000; // Intervalo minimo para escrever
  
```

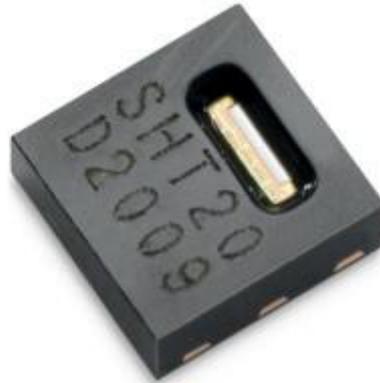
Fonte: O Autor

O motivo de escolha dessa plataforma é a facilidade de encontrar bibliotecas disponíveis na internet para lidar com os equipamentos e necessidades do projeto como também já ter total integração com o ESP32. Facilitando e muito o desenvolvimento do programa, bem como os testes e correções do código.

Para a realização do controle de temperatura e umidade foi utilizado o sensor

SHT20, que pode ser visto na Figura 22.

Figura 22 - Sensor *SHT20* da Sensirion



Fonte: (SENSIRION, 2014).

Para umidade relativa do ar, o sensor apresenta escala de medição que vai de 0 a 100% UR, com resolução de 0,04% UR e precisão de $\pm 3,0\%$ UR. Já para medição de temperatura ambiente, o sensor apresenta escala de medição que vai de -40°C até 125°C , resolução de $0,04^{\circ}\text{C}$ e precisão de $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$. Contando com um sensor de umidade do tipo capacitivo e um sensor de temperatura do tipo “*bandgap*” de silício e consumindo apenas 1mW de potência, em 3,0 V DC esse sensor atende às necessidades do projeto, mostrando bom *range* de medição e boa precisão (SENSIRION, 2014).

Para a aplicação na estufa foi utilizado o *SHT20* em um módulo de RS485 chamado de XY MD02, conforme a Figura 23.

Figura 23 - Módulo *SHT20* com comunicação RS485



Fonte: (SHOPPER, 2022).

Como é possível ver pela figura, o *SHT20* já está integrado a placa com o módulo de interface RS485. O intuito desse módulo é utilizá-lo em conjunto com o protocolo Modbus RTU de modo a se obter uma comunicação mais confiável entre o módulo e o controlador.

Para realizar a interface entre o XY MD02 e o ESP32 foi necessário um conversor RS485 para TTL chamado MAX485, da fabricante Maxim. O circuito integrado pode ser visto na Figura 24.

Figura 24 - Conversor RS485 para TTL MAX485

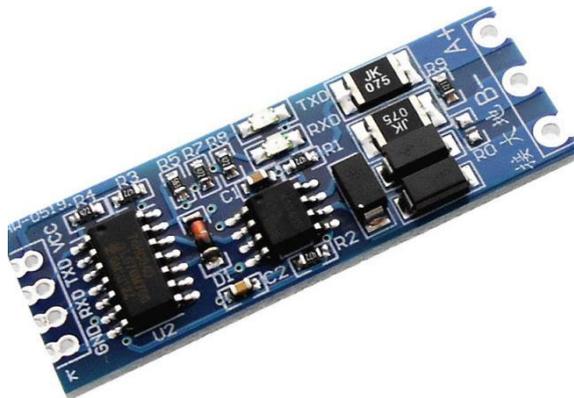


Fonte: (MAXIM INTEGRATED, 2014).

Resumidamente, o MAX485 é um transceptor de baixa potência para RS485. Ele irá transformar os sinais enviados pelo módulo XY MD02 para TTL, possibilitando o trabalho do controlador, ESP32. O MAX485 consome apenas $480 \mu A$ para realizar essa tarefa (MAXIM INTEGRATED, 2014).

Para facilitar a instalação, o MAX485 foi utilizado já embarcado em um módulo chamado HW 0519 que pode ser visto na Figura 25.

Figura 25 – Módulo HW 0519 com MAX 485



Fonte: (LEES ELETRONIC, 2022).

Para o acionamento das cargas foi utilizado um módulo de relés optoacopladores de 5 V. Esses relés seriam acionados pelo controlador e comutariam as cargas do sistema de modo a isolar o ESP32 de possíveis problemas referentes a conexão com as cargas e fazer o chaveamento seguro dos equipamentos que funcionam em 220 V AC. O módulo de relés é apresentado na Figura 26.

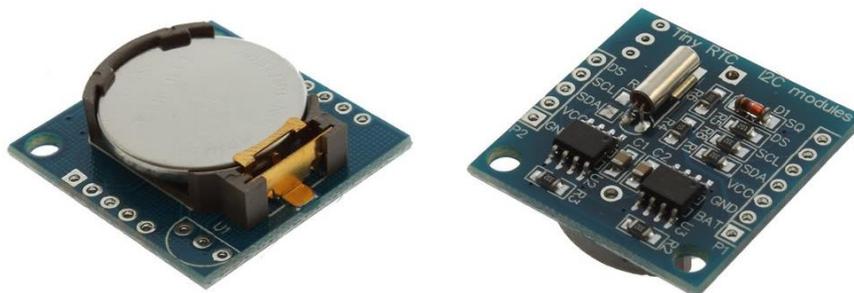
Figura 26 - Módulo de relés optoacopladores



Fonte: (FLIPKART, 2022).

O último equipamento utilizado para a montagem da parte de comando do circuito foi um *Real Time Clock* (RTC). Como já foi dito anteriormente, o ESP32 tem *WiFi* e pode funcionar conectado à internet para receber as informações que precisa para seu funcionamento. Uma dessas importantes informações é a data e a hora. É necessário saber a hora exata do dia para que a iluminação e a ventilação da estufa sejam acionadas de forma correta, porém, sem acesso à internet o ESP32 não consegue verificar corretamente a hora corrente e assim pode haver acontecimentos estranhos no circuito e acionamentos indevidos da lâmpada e dos ventiladores. Dessa forma foi adicionado um módulo munido de um DS1307, também fabricado pela Maxim, que nada mais é que um RTC com calendário completo e mais de 56 bytes de SRAM. Ele é capaz de fornecer informações relativas ao ano, mês, dia, hora, minutos e segundos. Basta que seja inicializado com a data e hora atuais e que o circuito seja alimentado constantemente por uma tensão de 5 V DC, que nesse caso é fornecido por uma bateria instalada no próprio módulo (MAXIM INTEGRATED, 2015). O módulo RTC é apresentado na Figura 27.

Figura 27 - Módulo HW 0519 com MAX 485

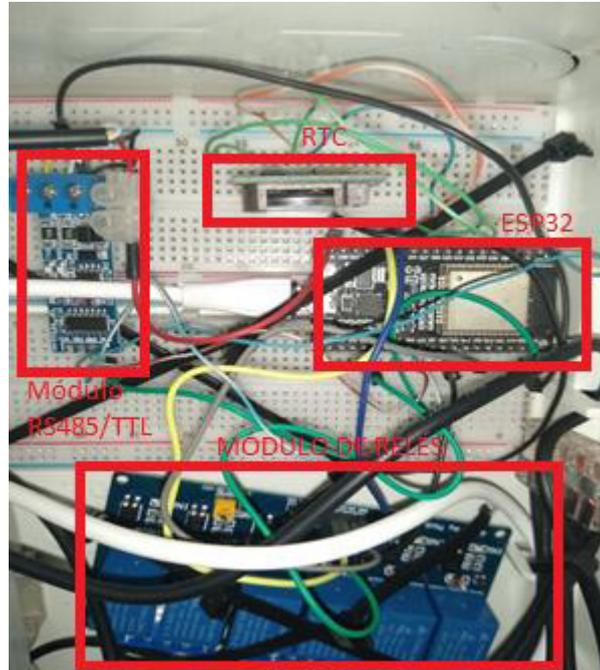


Fonte: (FILIPE FLOP, 2022).

Basicamente toda a parte de comando da automação da estufa foi abordada. Esses

equipamentos foram conectados uns aos outros por meio de cabos *jumper* e unidos em uma *protoboard*. Tudo isso inserido dentro de uma caixa utilizada como QD (Quadro de Distribuição) em instalações residenciais, conforme a Figura 28.

Figura 28 - Módulo de comando da estufa

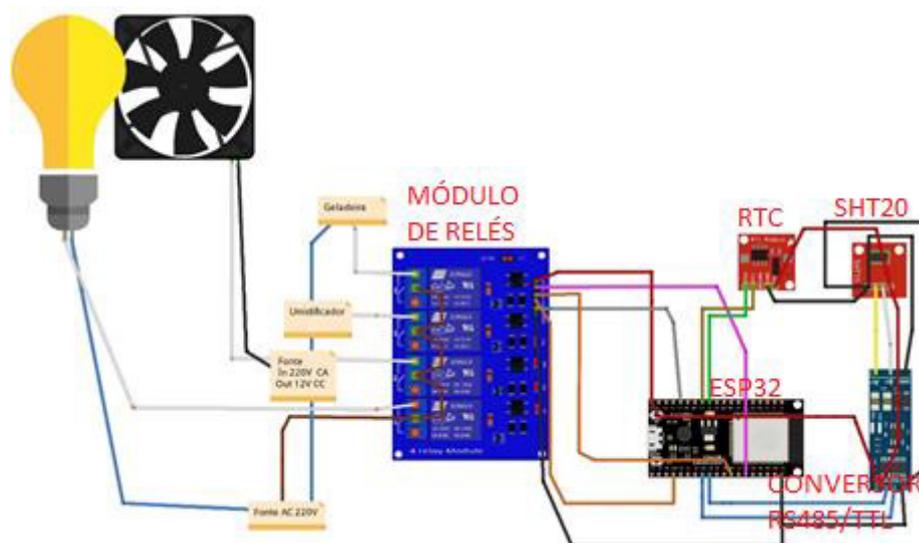


Fonte: O Autor.

Nessa caixa, também estão inseridos o disjuntor, de 6 A, de proteção do circuito e as tomadas nas quais as cargas serão conectadas.

O circuito pode ser avaliado com mais detalhes na Figura 29.

Figura 29 – Resumo de circuito de automação da estufa



Fonte: O Autor.

Como atuadores da estufa, foram utilizados uma lâmpada, ventoinhas, um

umidificador e o compressor da geladeira onde está instalada a estufa. Cada uma dessas cargas é alimentada em 220 V AC e todas estão conectadas aos relés de acionamento como pode ser visto na Figura 29.

Os atuadores utilizados no circuito serão descritos a seguir:

a) Geladeira Esmaltec ROC 31, conforme a Figura 30, e o compressor EM 30HER da Embraco, conforme a Figura 31;

Figura 30 - Geladeira Esmaltec ROC 31



Fonte: (ESMALTEC, 2022).

Figura 31 – Compressor EM 30HER Embraco



Fonte: O Autor.

b) Umidificador *Humid Air Plus III*, conforme a Figura 32;

Figura 32 - *Humid Air Plus III*

Fonte: (OMRON BRASIL, 2022).

- c) 1 lâmpada *LED* 3 W, de cor branco quente;
- d) 3 ventoinhas utilizadas para refrigeração, do tipo usado em computadores.

Esses atuadores em conjunto com o circuito de comando são os responsáveis pelo funcionamento do projeto e os resultados obtidos nesse experimento.

2.3.1.1. Sistema de controle de ventilação

Para que o cogumelo venha a frutificar é necessário que o ambiente de cultivo tenha determinadas quantidades de CO^2 e oxigênio. O cogumelo precisa de oxigênio para completar seu ciclo de respiração. Como resultado desse processo, os cogumelos produzem CO^2 . Um ambiente rico em CO^2 e pobre em oxigênio pode acabar impedindo o desenvolvimento dos fungos, fazendo com que eles tendam a não se desenvolver e fiquem frágeis e sem consistência. Além disso, a pouca ventilação no ambiente de cultivo pode ser uma via facilitadora para a instalação de outros fungos oportunistas que possam vir a contaminar o cultivo (URBEN et al., 2017). Por isso, é extremamente necessário que seja desenvolvido um bom sistema de ventilação para que o cultivo seja possível.

Assim, foi desenvolvido um sistema de ventilação onde são usadas 3 ventoinhas, que têm a função de realizar a circulação de ar no ambiente de cultivo. Duas das ventoinhas atuam como exaustores, tirando o ar retido dentro do terrário. Já a outra serve para jogar ar novo para dentro do terrário e assim estabilizar as quantidades de oxigênio e CO^2 no ambiente. Todos os *coolers* têm instalados em suas aberturas filtros feitos de microporoso para limitar a entrada

de partículas e sujeira dentro do ambiente de cultivo e assim garantir a higiene do ambiente.

Os *coolers* são ativados a cada 25 min e ventilam por 5 minutos, sendo acionados pelo relé comandado pelo ESP32. Os horários em que os *coolers* são ligados são determinados por uma contagem de tempo realizada pelo controlador, conforme pode ser visto na Figura 33.

Figura 33 - Lógica de controle do sistema de ventilação

```
void ventilacao(){
  if(Vent == HIGH){
    if ((millis() - VentDesligado) >= (1000*60*25))//Tempo da ventilação OFF.
    {
      Vent=LOW;
      digitalWrite(VENTPIN,Vent);
      Serial.println("Cooler Ligado");
      estadoVent = 1;
      VentDesligado = millis();
      VentLigado = VentDesligado;
    }
  }
  else{
    if ((millis() - VentLigado) >= (1000*60*2)) //Tempo da ventilação ON.

    Vent=HIGH;
    digitalWrite(VENTPIN,Vent);
    Serial.println("Cooler Desligado");
    estadoVent = 0;
    VentLigado = millis();
    VentDesligado=VentLigado;
  }
}
```

Fonte: O Autor.

O sistema instalado pode ser visto na Figura 34.

Figura 34 – Sistema de ventilação instalado na estufa



Fonte: O Autor.

2.3.1.2. Sistema de controle de iluminação

O controle de iluminação do cultivo de cogumelos é extremamente importante, pois é necessário que o fungo seja induzido a frutificar e assim continuar o ciclo de reprodução. Na fase inicial do desenvolvimento do micélio, o fungo deve ser mantido em um ambiente com ausência de luz. A partir do momento que se segue ao desenvolvimento do primórdio e a fase de frutificação, deve-se adicionar luz de maneira gradativa ao processo para que o crescimento do cogumelo seja estimulado e possa permitir seu desenvolvimento total até a fase de colheita (LIN e LIN, 1997).

Dessa maneira, o sistema de iluminação foi desenvolvido para fornecer 10 horas de luz por dia aos cogumelos. Essa luz terá a função de induzir a frutificação dos mesmos como também de direcionar o crescimento. O sistema é constituído de uma lâmpada de *LED* de 3W conectada ao relé de 5V acionado pelo ESP32. Baseado nos horários designados pelo RTC DS1307 o ESP32 enviará o comando para o acionamento do relé que conseqüentemente acenderá a lâmpada, conforme pode ser visto na Figura 35:

Figura 35 - Lógica de controle do sistema de ventilação

```
void iluminacao(){

    if ((hora>0) && (hora<11)) //Se a hora estiver no intervalo definido a Luz ficará acesa.
    {
        Luz = LOW;
        digitalWrite(LUZPIN,Luz);
        Serial.println("Luz Acesa");
        estadoLuz = 1;

    }
    else{ //Se a hora estiver fora do intervalo definido a Luz ficará apagada.

        Luz = HIGH;
        digitalWrite(LUZPIN,Luz);
        Serial.println("Luz Apagada");
        estadoLuz = 0;

    }
}
```

Fonte: O Autor.

O sistema de iluminação com a instalação da lâmpada pode ser visto na Figura 36.

Figura 36 – Sistema de iluminação da estufa



Fonte: O Autor.

2.3.1.3. Sistema de controle de umidade e temperatura

Nesse processo, as variáveis mais complexas de controlar são a umidade e a temperatura. As diversas espécies de cogumelos dependem de condições de temperatura e umidade distintas, mas no geral tendem a manter uma faixa semelhante. Com temperaturas na faixa dos 20-25°C e umidades na casa dos 85-90%, é possível ter bons resultados com o cultivo. As condições de umidade e temperatura também são significativas para o não surgimento e desenvolvimento de possíveis organismos oportunistas que venham a contaminar o cultivo (BONONI, 1995).

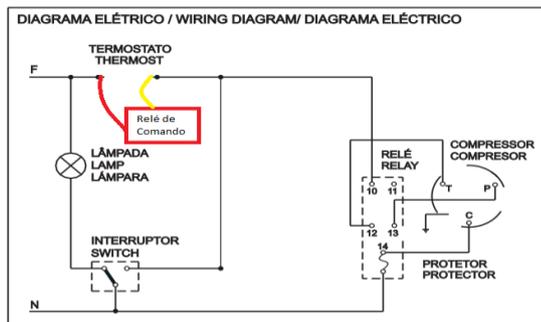
Dessa forma, o sistema de controle de temperatura será baseado nas informações lidas pelo *SHT20*, citado na parte 2.3.1.1. O sensor está instalado na parte interna da estufa e bem próximo aos cultivares, de modo a fornecer a informação mais confiável em sua medição. O sensor instalado na estufa pode ser visto na Figura 37.

Figura 37 – Sensor *SHT20* instalado na estufa

Fonte: O Autor.

A saída do relé de comando relativo ao controle de temperatura está inserida no circuito da geladeira substituindo o seu antigo termostato. O circuito com a alteração feita pode ser visto na Figura 38:

Figura 38 - Diagrama elétrico do circuito de controle do compressor da estufa



Fonte: Adaptada de (ESMALTEC, 2022)

A partir daí, o controle de temperatura consiste nas entradas (*Set Point*) fornecidas a partir do aplicativo de monitoramento para Android®, que será explicado em capítulo posterior, e nas leituras do sensor de temperatura, formando assim uma malha fechada. Para que o controle ficasse com um funcionamento mais seguro e não viesse a estressar o compressor da geladeira, com diversas paradas e partidas, foi inserida uma histerese de 1°C ao valor do *Set Point* de temperatura da estufa. Esse valor foi definido com a finalidade de fornecer um *range* seguro de atuação da máquina e que também fosse compatível com as características do cultivo. Assim, a geladeira pode oscilar $\pm 1^{\circ}\text{C}$ da temperatura definida. Também foi necessária a inserção de limites de tempo para o funcionamento do compressor. Para que a máquina tivesse um funcionamento aceitável ela precisaria de tempos mínimos e máximos de funcionamento, como também tempos mínimos e máximos de descanso entre um ciclo e outro. Tudo isso com

o intuito de impedir a atuação da proteção do compressor por sobreaquecimento.

Dessa forma, a lógica básica do controle de temperatura é vista na Figura 39.

Figura 39 – Lógica de controle de temperatura do terrário

```
void controleTemperatura(){

    if(motor == HIGH)
    {
        if((temp>(setTemp+histereseT) && ((millis()-tempoDescanso)>=Motor_Min_Off))
        {
            motor = LOW;
            estadomotor=1;
            digitalWrite(MOTORPIN, motor);
            Serial.println("\nMotor ligado\n");
            tempoDescanso = millis();
            tempoOn = tempoDescanso;
        }
    } else{
        if (((millis()-tempoOn) >= Motor_Lig_Max) || (((millis()-tempoOn)>= Motor_Lig_Min)&&(temp < setTemp))){
            motor = HIGH;
            estadomotor=0;
            digitalWrite(MOTORPIN, motor);
            Serial.println("\nMotor desligado\n");
            tempoOn = millis();
            tempoDescanso = tempoOn;
        }
    }
}
```

Fonte: O Autor.

Já para o controle de umidade, usou-se o mesmo sensor, *SHT20*. O controle da umidade é realizado pelo umidificador, apresentado na parte 2.3.1.1. O funcionamento desse aparelho é bem mais simples que o funcionamento do compressor usado na geladeira, pois não é necessário se preocupar com tempos máximos e mínimos de funcionamento, muito menos com tempos máximos e mínimos de descanso do equipamento. Isso se deve ao fato de se tratar de um circuito eletrônico, porém, tais medidas também foram inseridas na malha de controle de umidade.

Assim, o controle da umidade também é realizado em malha fechada: a partir dos *Set Points* fornecidos pelo aplicativo para *Android*[®] e das leituras do sensor. De maneira semelhante ao controle de temperatura, também foi inserida uma histerese de 3% UR para o funcionamento do umidificador, de sorte a permitir que o cultivo atue num *range* de umidade que seja aceitável para o cultivo. A lógica básica do controle de umidade pode ser vista na Figura 40.

Figura 40 – Lógica de controle de umidade do terrário

```

void controleUmidade(){
  if(umidificador == HIGH)
  {
    if((hum < (setUmid-histereseU)) && ((millis() - Desc_Umid) >= Umid_Off_Min))
    {
      umidificador = LOW;
      estadoumid=1;
      digitalWrite(UmidPin, umidificador);
      Serial.println("\nUmificador ligado\n");
      Lig_Umid = millis();
      Desc_Umid = Lig_Umid;
    }
  }else{
    if(((hum > (setUmid+histereseU)) && ((millis() - Lig_Umid) >= Umid_Lig_Min)) || (((millis()-Lig_Umid)>=Umid_Lig_Max)){
      umidificador = HIGH;
      estadoumid=0;
      digitalWrite(UmidPin, umidificador);
      Serial.println("\nUmificador desligado\n");
      Desc_Umid = millis();
      Lig_Umid = Desc_Umid;
    }
  }
}

```

Fonte: O Autor.

2.3.1.4. Estufa para cultivo de cogumelos finalizada

Após a explicação de todos os sistemas componentes da parte de automação da estufa, a Figura 41 mostra o sistema finalizado:

Figura 41 – Estufa finalizada



Fonte: O Autor.

Na Figura 42 é apresentada a estufa já com alguns micélios em período pré-frutificação:

Figura 42 – Estufa com alguns micélios de cogumelo em pré-frutificação



Fonte: O Autor.

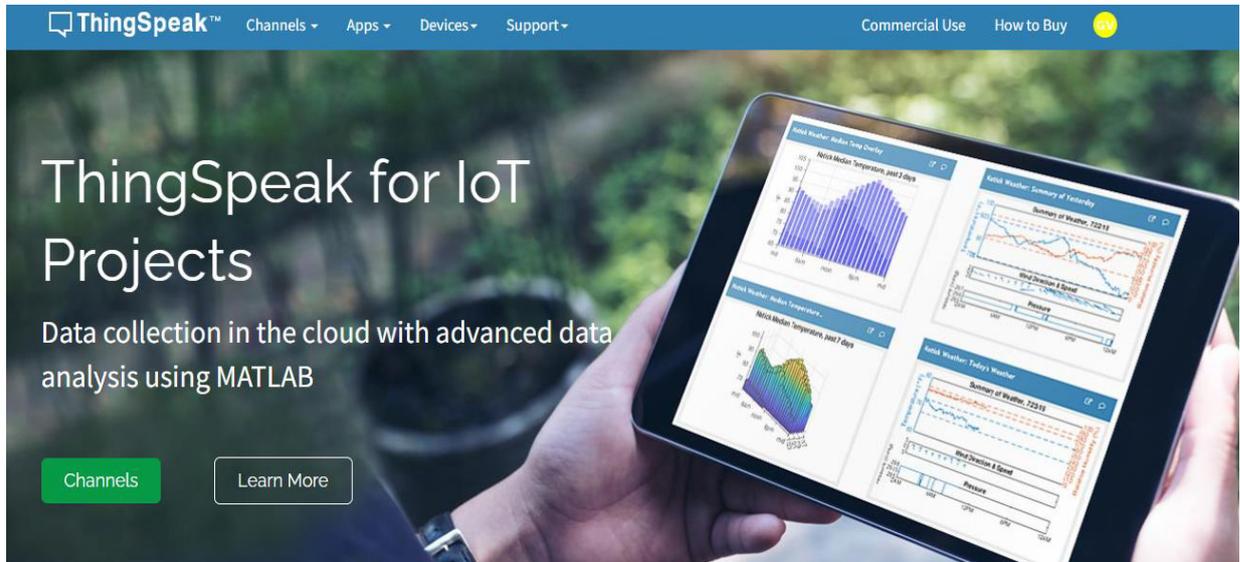
2.3.2. Comunicação com plataforma IoT

Internet of Things (IoT) ou simplesmente *Internet das Coisas* é uma nova técnica de integração entre as tais “coisas”: sensores, medidores, lâmpadas, *smartphones*, televisores etc. E a *internet*, a rede mundial de computadores (SILVA, 2020).

Basicamente, *IoT* serve para criar um ambiente em que dispositivos físicos, através de uma rede e um endereço *IP*, possam transmitir, armazenar e distribuir informações para pessoas interessadas, sejam elas consumidores ou as próprias empresas preocupadas em monitorar os seus produtos (CARRION, 2019).

No projeto em questão se fez necessário o desenvolvimento de uma interface em *IoT* para que fosse possível o monitoramento uso em tempo real do funcionamento do sistema de cultivo. Para isso, foi necessário o da plataforma de desenvolvimento da MathWorks® chamada de *Thingspeak*®, conforme a Figura 43.

Figura 43 – Site da plataforma *Thingspeak*® da Mathworks®



Fonte: (THE MATHWORKS, 2022)

Essa plataforma apresenta, em seu modo gratuito, a possibilidade de se criar canais de comunicação com dispositivos que tenham conexão com a internet e possuam em seu código a possibilidade de aquisição de dados para *IoT*. Dessa maneira, é possível tanto ler dados de um determinado sistema como também escrever dados no sistema dado a possibilidade de uma via de comunicação nos dois sentidos: *Thingspeak*® para dispositivo e do dispositivo para *Thingspeak*®.

Assim, foi criado um canal no *Thingspeak*® para a leitura dos dados dos sensores do ESP32, a leitura dos estados dos atuadores e para a modificação dos *Set Points* de umidade e temperatura do sistema, conforme a Figura 44.

Figura 44 – Canais criados no *Thingspeak*®

Name	Created	Updated
 GelaTek2.0 Private Public Settings Sharing API Keys Data Import / Export	2021-09-10	2021-09-10 22:39

Fonte: O Autor.

Nesse canal são definidos campos, que nada mais são que os pontos responsáveis por armazenar as informações das variáveis que são recebidas ou enviadas para o controlador.

Figura 45 – Campos do canal criado no *Thingspeak*[®]

Channel Settings

Percentage complete 30%

Channel ID 1502541

Name

Description

Field 1

Field 2

Field 3

Field 4

Field 5

Field 6

Field 7

Field 8

Fonte: O Autor

Para ser realizada a comunicação entre o controlador e o *Thingspeak*[®] é necessário que sejam fornecidas as chaves de leitura e escrita do canal para o controlador. Essas informações estão presentes na Figura 46.

Figura 46 – Chaves de leitura e escrita do canal criado no *Thingspeak*[®]

Write API Key

Key

[Generate New Write API Key](#)

Read API Keys

Key

Note

[Save Note](#)

[Delete API Key](#)

[Add New Read API Key](#)

Fonte: O Autor

A partir desse ponto basta que se insira essas informações no código e se direcione para que campos cada sinal do controlador será enviado, conforme pode ser visto na Figura 47.

Figura 47 – Chaves de leitura e escrita do canal criado no *Thingspeak*[®]

```
void leituraThingspeak() {
  if (millis() - prevMillisThingSpeak > intervalThingSpeak) {

    // Configura os campos com os valores
    ThingSpeak.setField(1,temp);
    ThingSpeak.setField(2,hum);
    ThingSpeak.setField(3,estadoVent);
    ThingSpeak.setField(4,estadomotor);
    ThingSpeak.setField(5,estadoumid);
    ThingSpeak.setField(6,setTemp);
    ThingSpeak.setField(7,setUmid);
    ThingSpeak.setField(8,estadoLuz);
    // Escreve no canal do ThingSpeak
    int x = ThingSpeak.writeFields(CHANNEL, WRITE_API);
    if (x == 200) {
      Serial.println("Update realizado com sucesso");
    }else {
      Serial.println("Problema no canal - erro HTTP " + String(x));
    }
    prevMillisThingSpeak = millis();
  }
}
```

Fonte: O Autor

Com isso pode-se obter um interessante controle do funcionamento do dispositivo em *IoT*, pois na plataforma do *Thingspeak*[®] é possível registrar-se as informações dos campos por um determinado período de tempo e acompanhá-las em tempo real, conforme pode ser visto na Figura 48.

Figura 48 – Campos de leitura de umidade, temperatura, estados das ventoinhas e do umidificador no *Thingspeak*[®]



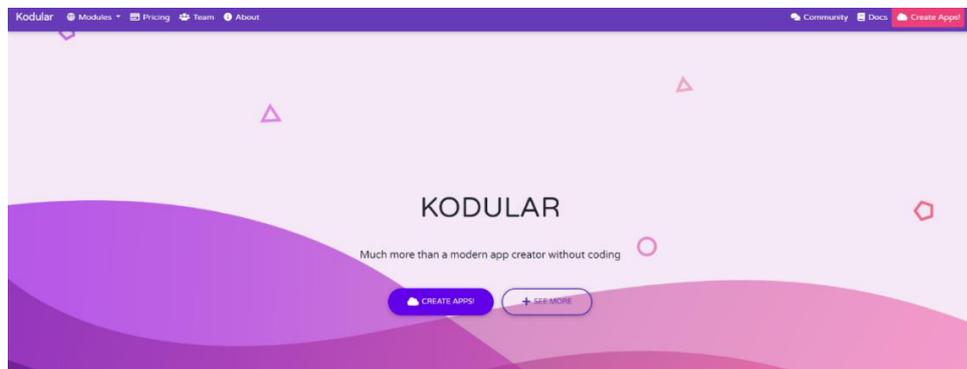
Fonte: O Autor

2.3.3. Aplicativo para controle no Android®

O *Android*® é um sistema operacional baseado no Linux e desenvolvido pela *Open Handset Alliance*. Um grupo formado por mais de 80 empresas, comandadas pela *Google*. O projeto *Android*® tem como motivação inicial a criação de uma plataforma de código aberto para os mais diversos dispositivos móveis existentes no mercado. O *Android*® tem entre suas diversas vantagens o *Android*® conta com o fato de ser um SO multiplataforma o que possibilita seu desenvolvimento em computadores usando *Linux*®, *Windows*® e *MacOS*® (SANTOS, 2019).

Para desenvolvimento do aplicativo de controle da estufa foi utilizada a plataforma *Kodular*® da *Junnovate*®, que pode ser vista na Figura 49.

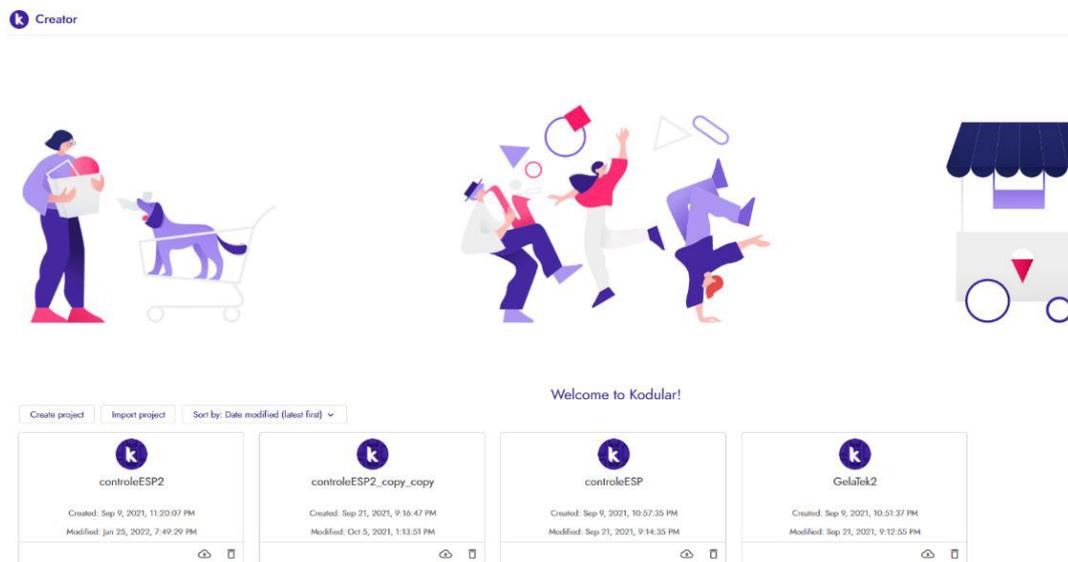
Figura 49 – Site do Kodular®



Fonte: (JUNNOVATE, 2021)

A plataforma conta com uma área chamada “*Creator*” na qual ficam salvos os projetos que estão sendo desenvolvidos, como pode ser visto na Figura 50.

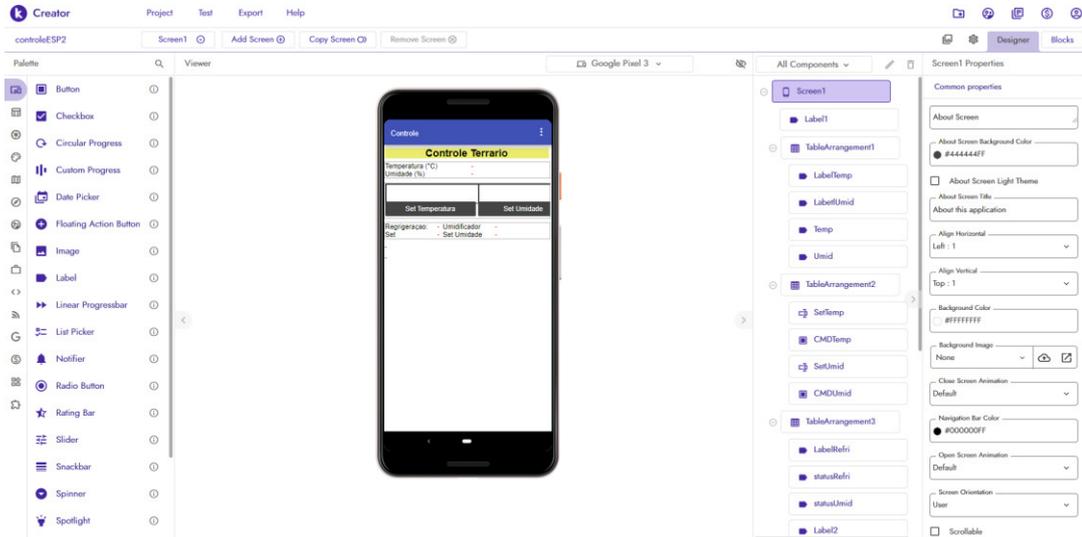
Figura 50 – Tela de projetos no Kodular



Fonte: O Autor

Na área de criação do aplicativo em si a interface é bem simples. Apresentando diversos elementos que podem ser inseridos na interface do programa que está sendo desenvolvido, conforme apresentado na Figura 51.

Figura 51 – Desenvolvimento de interface de aplicativo o Kodular.



Fonte: O Autor

O aplicativo desenvolvido conta com duas telas. A primeira tem as leituras de temperatura e umidade da estufa, o estado dos atuadores e um espaço para serem inseridos os *Set Points* do sistema, como pode ser visto na Figura 52.

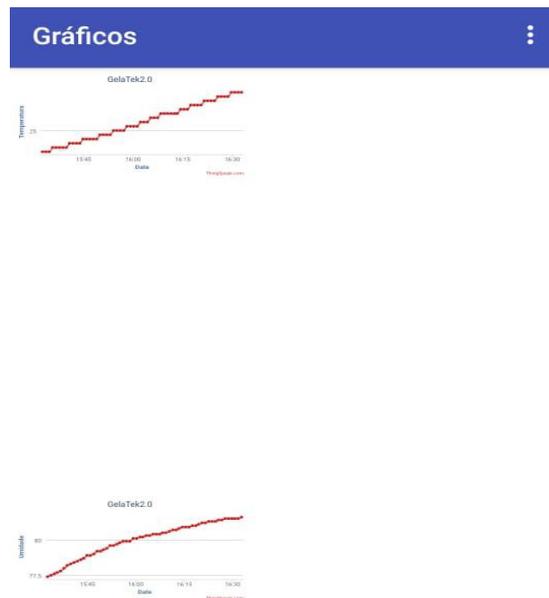
Figura 52 - Tela de controle do aplicativo



Fonte: O Autor

Na segunda tela, tem-se os gráficos de temperatura e umidade que são fornecidos diretamente pela plataforma *Thingspeak*[®] conectada ao aplicativo.

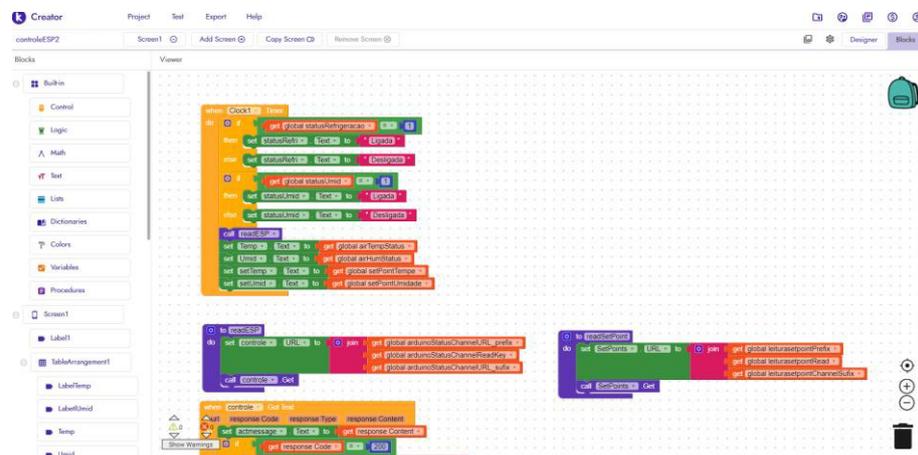
Figura 53 – Tela de gráficos do aplicativo



Fonte: O Autor

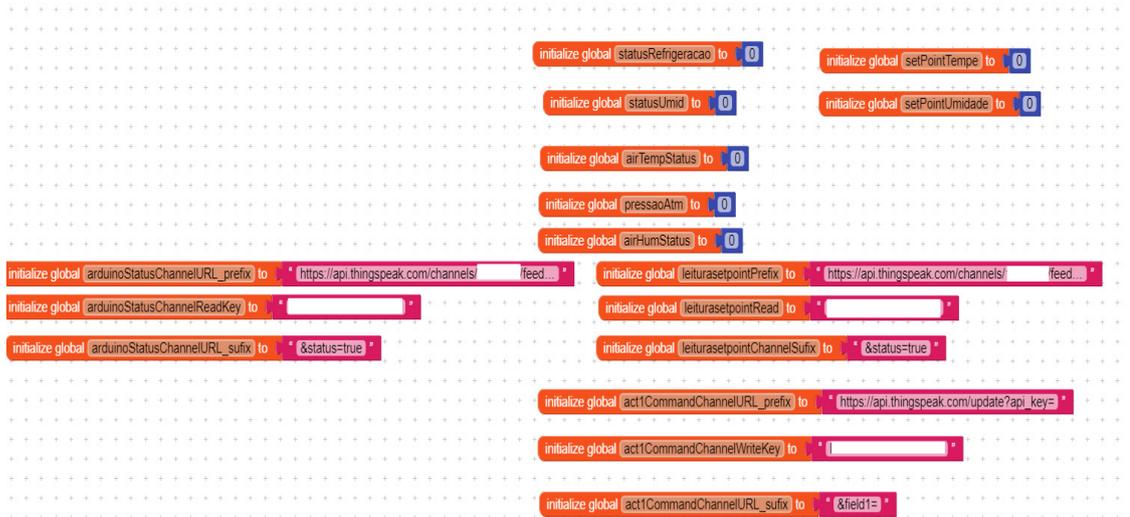
O desenvolvimento de cada uma das telas e da lógica por trás das informações apresentadas foi todo realizado a partir dos diagramas de blocos que a plataforma *Kodular*[®] fornece, conforme a Figura 54.

Figura 54 - Interface de digrama de blocos do Kodular



Fonte: O Autor

Cada um desses blocos desempenha uma função na lógica do aplicativo. Como dito na parte anterior era necessário que as informações do *Thingspeak*[®] fossem enviadas para o ESP32 e vice-versa. Então o aplicativo recebe as informações direto do canal do *Thingspeak*[®] usando o acesso liberado pelas chaves de escrita e leitura. Com isso é possível que as informações fornecidas pelo controlador ao *Thingspeak*[®] sejam apresentadas na tela do usuário, pela chave de leitura do canal, e é possível que o usuário altere os *Set Points* do controlador, utilizando-se das chaves de escrita disponibilizadas, como visto na Figura 55.

Figura 55 – Blocos com as chaves de leitura e escrita do canal do *Thingspeak*[®].

Fonte: O Autor

2.3.4. Custo de Implementação do projeto

Abaixo segue a Tabela 1, com os custos aproximados de implementação do projeto. Leve-se em consideração que boa parte das peças foram compradas de sites chineses e a geladeira utilizada como estufa foi comprada usada, por um valor bem abaixo do encontrado no mercado.

Tabela 1 – Planilha de Custos para implementação da estufa

Produto	Quantidade	Preço Unitário	Preço total
Geladeira Esmaltec ROC 31	1 R\$	200,00	R\$ 200,00
Sensor de Umidade e Temperatura SHT20	1 R\$	25,00	R\$ 25,00
ESP32 Dev KIT C1	1 R\$	42,00	R\$ 42,00
Módulo Conversor RS485/TTL HW 0519	1 R\$	10,00	R\$ 10,00
Módulo RTC DS1307	1 R\$	12,00	R\$ 12,00
Módulo Relé Optoacoplador de 6 Canais	1 R\$	11,00	R\$ 11,00
Umidificador Humid Air Plus 3	1 R\$	200,00	R\$ 200,00
Lâmpada LED 3W	1 R\$	6,00	R\$ 6,00
Fonte 220/12 V AC/DC	1 R\$	17,00	R\$ 17,00
Ventoinhas	3 R\$	11,00	R\$ 33,00
Protoboard 830 Furos	2 R\$	25,00	R\$ 50,00
Conector WAGO 3 fios	3 R\$	7,00	R\$ 21,00
Conector WAGO 5 fios	3 R\$	8,00	R\$ 24,00
Caixa para uso como QD	1 R\$	50,00	R\$ 50,00
Tomada Tripla	2 R\$	22,00	R\$ 44,00
Caixa de Passagem 4x2	2 R\$	3,00	R\$ 6,00
Disjuntor Monopolar 6A	1 R\$	35,00	R\$ 35,00
Pacote de abraçadeiras de Nylon	1 R\$	10,00	R\$ 10,00
Total			R\$ 796,00

Fonte: O Autor

3. RESULTADOS DO SISTEMA PROPOSTO

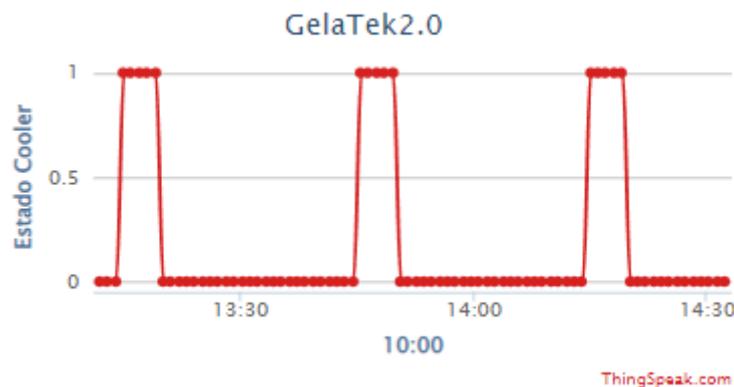
Uma vez definido o sistema de automação da estufa de cultivo, neste capítulo serão abordados os resultados obtidos. Conforme a metodologia de controles de variáveis do sistema, os resultados serão abordados verificando o funcionamento de cada um dos sistemas: controle da ventilação, controle da iluminação, controle da umidade e controle da temperatura.

Assim, os resultados serão apresentados a seguir:

3.1. Resultados sistema de ventilação

Como apresentado na parte 2.3.1.3, o sistema de ventilação funciona em intervalos de tempo: ele fica ativo por 5 minutos e depois inativo por 25 minutos de forma a permitir a retirada do CO_2 acumulado dentro da estufa e a entrada de oxigênio para a respiração dos fungos. Os resultados podem ser observados no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Gráfico de Estado da Ventilação x Tempo



Fonte: O Autor.

Como pode ser visto a partir do gráfico, o sistema atuou nos seguintes horários:

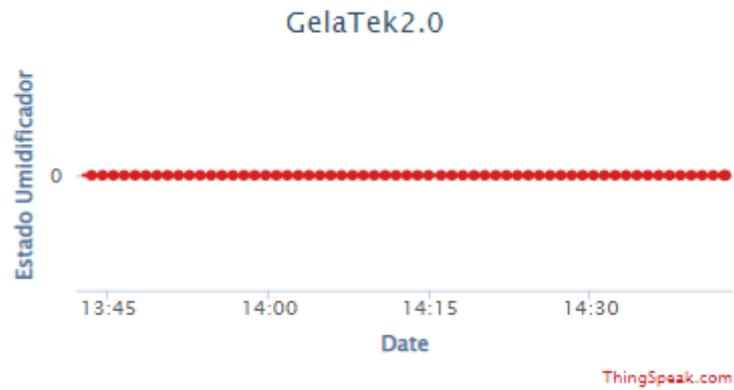
- a) 13:14 - 13:19 – Sistema ligado;
- b) 13:19 – 13:44 – Sistema desligado;
- c) 13:44 – 13:49 – Sistema ligado;
- d) 13:49 – 14:14 – Sistema desligado;
- e) 14:14 – 14:19 – Sistema ligado.

Assim, pode-se perceber que o sistema atuou conforme o planejado, tendo os tempos ligado e desligado segundo o que estava no *script* do programa.

3.2. Resultado do sistema de umidade e temperatura

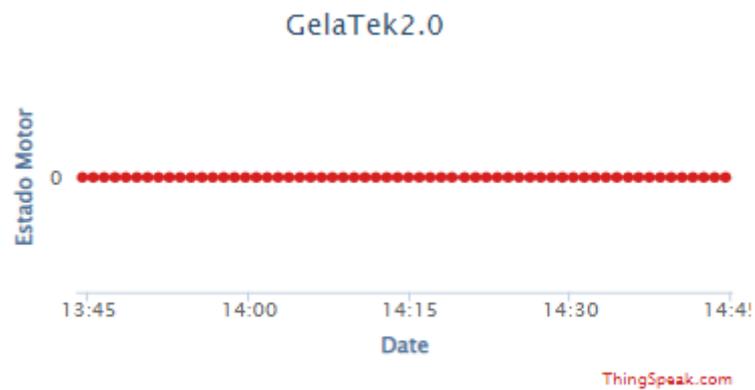
Para apresentar os resultados dos sistemas de controle de umidade e temperatura os atuadores, umidificador e compressor, iniciaram desligados conforme os Gráficos 2 e 3, que apresentam as duas variáveis.

Gráfico 2 – Gráfico do estado do Umidificador x Tempo



Fonte: O Autor.

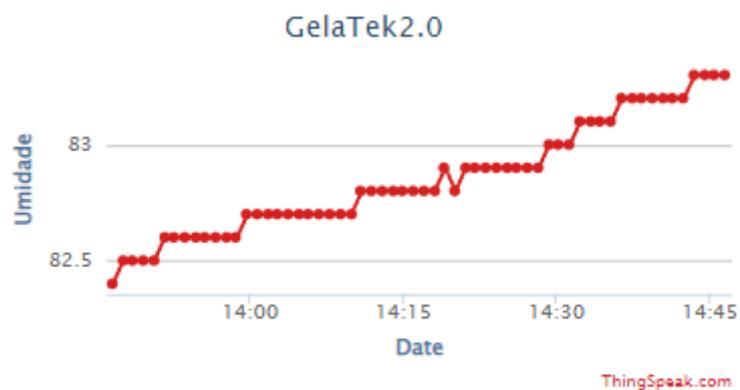
Gráfico 3 – Gráfico do estado do Compressor x Tempo



Fonte: O Autor.

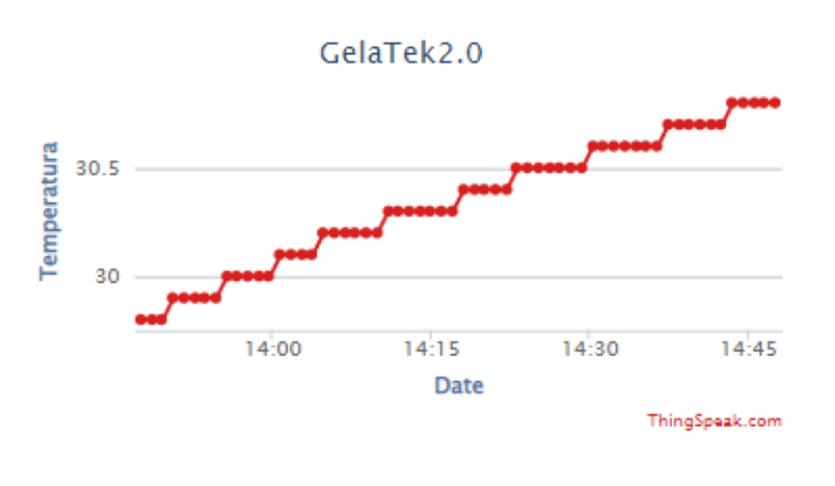
Os valores das variáveis de umidade e temperatura também podem ser vistos a partir dos Gráficos 4 e 5. Nesse momento as variáveis estavam em estado inicial, sem nenhuma intervenção nos *Set Points*.

Gráfico 4 – Gráfico de Umidade x Tempo



Fonte: O Autor.

Gráfico 5 – Gráfico de Temperatura x Tempo



Fonte: O Autor.

Com as informações dos gráficos pôde-se verificar que a umidade dentro da estufa estava em 83,3% e a temperatura estava em 30,8°C. Neste momento, às 14:52, os *Set Points* da temperatura e umidade foram alterados no aplicativo *Android*® para controle da estufa para 95% de umidade e 25°C de temperatura conforme as Figuras 56 e 57.

Figura 56 – Tela do aplicativo para *Android*® antes da alteração dos *Set Points* das variáveis



Fonte: O Autor.

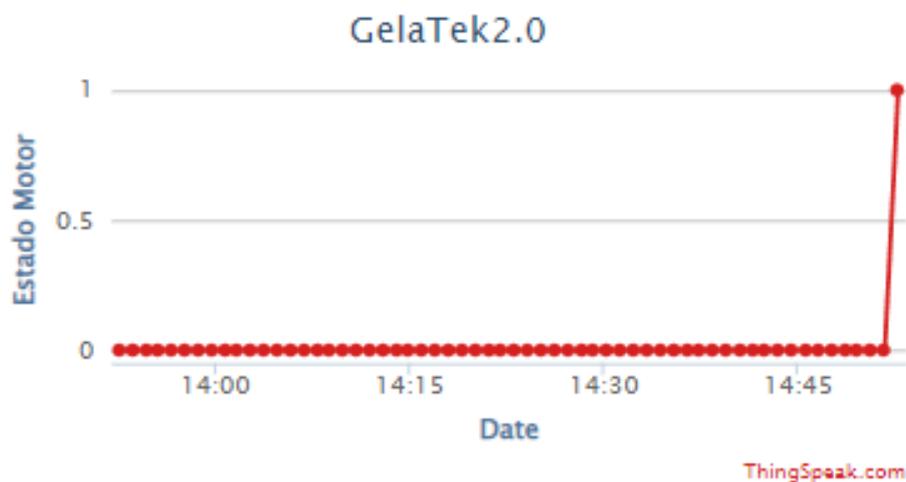
Figura 57 – Tela do aplicativo após a alteração dos *Set Points* das variáveis



Fonte: O Autor.

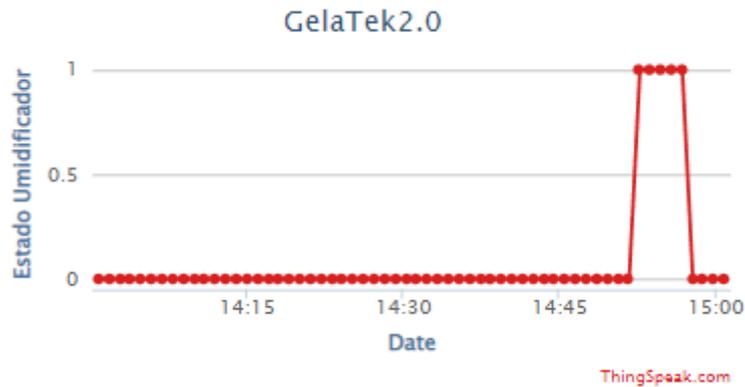
Os *Set Points* foram alterados no programa e logo em seguida os atuadores de refrigeração e umidade foram acionados. Esse fato pode ser visto nos Gráficos 6 e 7.

Gráfico 6 – Gráfico de Estado do Compressor x Tempo



Fonte: O Autor.

Gráfico 7 – Gráfico de Estado do Umidificador x Tempo



Fonte: O Autor.

Interessante citar que o tempo máximo de acionamento do compressor é de 25 minutos e o tempo máximo de acionamento do umidificador de 4 minutos, conforme a Figura 58.

Figura 58 – Variáveis de tempo do compressor e do umidificador

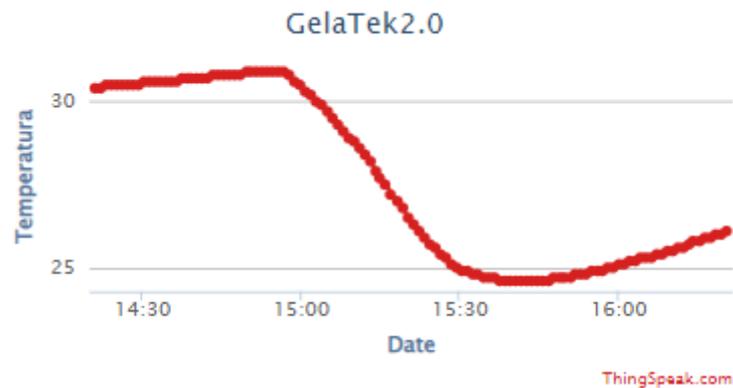
```
//tempos motor
unsigned long Motor_Min_Off = 15*60*1000;
unsigned long Motor_Lig_Min = 5*60*1000;
unsigned long Motor_Lig_Max = 25*60*1000;
//vars de tempo
unsigned long tempoDescanso = 0;
unsigned long tempoOn = 0;
unsigned long LuzApagada = 0;
unsigned long LuzLigada = 0;
unsigned long VentLigado = 0;
unsigned long VentDesligado = 0;
//tempos umidificador
unsigned long Umid_Lig_Min = 2*60*1000;
unsigned long Umid_Lig_Max = 4*60*1000;
unsigned long Umid_Off_Min = 10*60*1000;
unsigned long Lig_Umid = 0;
unsigned long Desc_Umid = 0;
```

Fonte: O Autor.

Essas escolhas de tempo foram definidas a partir da análise da situação real. Com pouco tempo de funcionamento do umidificador já é gerada uma névoa de gotículas de água dentro da estufa e não é interessante que a umidade fique muito alta para evitar que a água condense em cima dos cogumelos e eles fiquem molhados, o que pode alterar a qualidade dos produtos.

A partir daí foram colhidas as informações de temperatura que serão analisados no Gráfico 8.

Gráfico 8 – Gráfico de Temperatura x Tempo

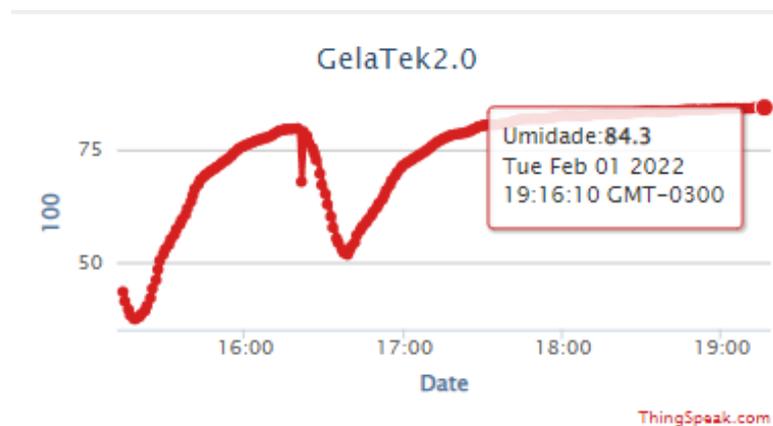


Fonte: O Autor.

Como pode ser visto a partir do gráfico 3.2.8, os valores da temperatura iniciaram em 30,8°C e foram caindo até alcançar o valor de 24,6°C, quando o motor desligou por encontrar o tempo máximo de funcionamento, 25 minutos.

O gráfico de Umidade x Tempo só foi colhido às 19:10 pois o valor de 95% de umidade não foi obtido, conforme pode ser visto no Gráfico 9.

Gráfico 9 - Gráfico de Temperatura x Tempo



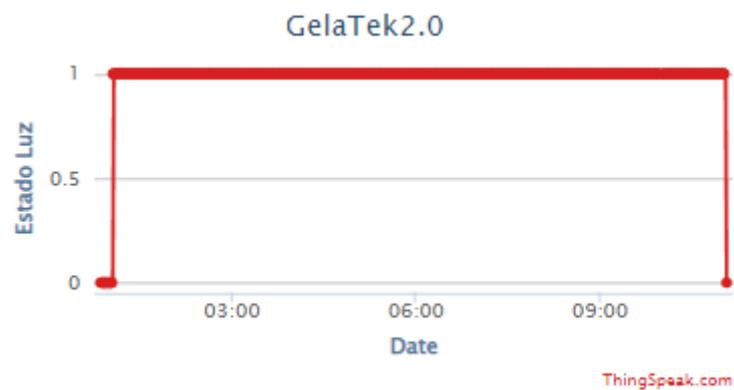
Fonte: O Autor.

Conforme pode ser visto no Gráfico 9, o valor da umidade alcançado foi de 84,3%. Embora esse nível de umidade seja mais que suficiente para o cultivo dos cogumelos há o claro indício de queda da capacidade de atuação do umidificador. Pôde-se perceber que ele não vem liberando a mesma quantidade de umidade que em outros momentos e possivelmente necessite de manutenção ou troca.

3.3. Resultados sistema de iluminação

O sistema de iluminação está baseado em um funcionamento de 10 horas ligado e 14 horas desligado, conforme apresentado na parte 2.3.1. O controle do sistema pode ser visto no Gráfico 10.

Gráfico 10 – Gráfico Estado da Luz x Tempo



Fonte: O Autor.

Dessa maneira, pode ser visto que o sistema ligou às 01:00 e desligou às 10:00, apresentando o funcionamento esperado.

3.4. Resultados gerais e avaliação do sistema

Conforme apresentado nesse Capítulo 3, o sistema é funcional e apresenta um comportamento dentro do esperado quanto a sua programação e configuração. Existem espaços para melhorias de código, instalação e acabamento da estufa, mas conforme os testes executados essa estufa já atende ao seu propósito de cultivo de cogumelos comestíveis em âmbito residencial.

4. CONCLUSÃO

4.1. Conclusão geral

Automatizar processos tem sido um dos principais trabalhos realizados pela engenharia desde a Primeira Revolução Industrial. Processos automatizados têm aumentado os níveis de produtividade, confiabilidade e até mesmo os níveis de segurança das linhas de produção mundo afora. Assim, o trabalho aqui desenvolvido consistiu em unir a crescente procura por cogumelos comestíveis, ocorrida nesses últimos anos, com a automação de processos e dessa maneira possibilitar o cultivo desses fungos em âmbito residencial, mesmo com um relativo baixo investimento inicial. Tudo isso com o intuito de oportunizar o acesso a cogumelos mesmo em locais quentes e com umidades que impossibilitam o cultivo *in natura*.

O projeto consistiu em uma estufa com controle de temperatura, umidade, iluminação e ventilação. Totalmente automatizada e monitorada por uma aplicação em *IoT* que permitia o acompanhamento das variáveis de processo como também um aplicativo desenvolvido em *Android*[®] que possibilita o controle e monitoramento das grandezas direto de um *smartphone*.

Os resultados obtidos a partir da implementação da estufa foram satisfatórios. Foi possível obter níveis de temperatura e umidade necessários para o cultivo dos cogumelos comestíveis, os sistemas de iluminação e ventilação funcionaram conforme o programado e a plataforma de *IoT*, bem como o aplicativo para *Android*[®] tiveram funcionamento consistente com o esperado. Um dos problemas verificados foi quanto ao umidificador, que mesmo conseguindo alcançar nível de umidade que tem serventia para o cultivo dos fungos 83,6% UR, não conseguiu alcançar a umidade de 95% UR, buscada no teste. Será realizada uma inspeção nesse dispositivo a fim de verificar o que impediu seu funcionamento a contento.

4.2. Proposta para trabalhos futuros

O projeto ainda está em nível de protótipo então existem diversos pontos para possíveis melhorias. Tanto na parte lógica do programa como na parte física e no aplicativo de controle e monitoramento.

Na lógica do programa pode-se melhorar o código deixando-o mais elegante e resiliente a possíveis erros e comportamentos indesejados. Uma das melhorias possíveis é a de deixá-lo em formato de *RTOS* que é um tipo de sistema operativo que consegue, mesmo em multitarefas, permitir o controle dos tempos de resposta aos eventos que venham a surgir.

Na parte física pode-se melhorar a forma de atuação do umidificador. A ideia é que ele seja instalado do lado de fora da estufa e por meio de uma tubulação venha a jogar a umidade

para dentro do sistema. Também devem ser realizadas melhorias na estruturação geral da parte física do sistema bem como em detalhes de acabamento.

Por último, não se pode deixar de falar de possíveis melhorias na aplicação desenvolvida em *Android*[®] que pode ser refinada para apresentar novas funcionalidades bem como a possibilidade de também controlar a ventilação e iluminação que estão em comportamento automático sem possibilidade de intervenção por meio do aplicativo.

5. REFERÊNCIAS

- URBEN, A. F. Produção de cogumelos por meio de tecnologia chinesa modificada: *bio*Tecnologia e aplicações na agricultura e na saúde. **Embrapa Recursos Genéticos e *Bio*Tecnologia-Livro técnico (INFOTECA-E)**, 2017.
- SALSA, José. Estrutura dos fungos. 2004. Disponível em: <https://www.cientic.com/tema_fungo_img2.html>. Acesso em: 10 jan 2022.
- BRADLEY, K. How to: Make Spore Prints. 2014. Disponível em: <<https://www.milkwood.net/2014/01/06/making-spore-prints/>>. Acesso em: 10 jan 2022.
- GRANT, A. Making A Spore Print: How To Harvest Mushroom Spores. 2021. Disponível em: <<https://www.gardeningknowhow.com/edible/vegetables/mushrooms/harvest-mushroom-spores.htm>>. Acesso em: 10 jan 2022.
- ESTUFAS para cogumelos. 2019. Disponível em: <<https://tropicalestufas.com.br/estufas-para-cogumelos/>>. Acesso em: 10 jan 2022.
- KADAM, A. et al. Mushroom Market by Type (Button, Shiitake, Oyster, and Others), Form (Fresh and Processed), End Use (Residential, Commercial, and Industrial), and Distribution Channel (Hypermarkets & Supermarkets, Convenience Stores, Specialty Stores, and Online Sales Channel): Global Opportunity Analysis and Industry Forecast 2021–2027. 2021. Disponível em: <<https://www.alliedmarketresearch.com/mushroom-market>>. Acesso em: 10 jan 2022.
- GIRARDI, Gustavo Carolino et al. **Automação do controle e do monitoramento de temperatura e umidificação de canteiros de cogumelo *Agaricus blazei*, no cultivo familiar em Santa Helena/PR**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- COGUMELOS. 2018. Disponível em: <<https://www.anpccogumelos.org/cogumelos>>. Acesso em: 10 jan 2022.
- CAVALCANTE, José Luis Rocha et al. Cultivo de *Agaricus blazei*, na área de proteção ambiental da região de Baturité, em três tipos de camada de cobertura. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 4, p. 513-517, 2008.
- CAVALCANTE, J. et al. Cultivo do *Agaricus blazei* (Murrill) no Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v.36, n.3, p. 255-261, 2005
- PORTELA, T. 2018. Disponível em: <https://poraqui.com/aldeia/producao-de-cogumelos-em-aldeia-vai-de-vento-em-popa/>. Acesso em: 10 jan 2022.
- VIEIRA, V. A ascensão dos cogumelos: benefícios e como escolher e usar. Disponível em: <<https://saude.abril.com.br/alimentacao/cogumelos-beneficios-como-escolher-e-usar-no-dia-a-dia/>> Acesso em: 11 jan 2022.

SILVA, U. P.; DANTAS, M. J. H. Dinâmica do Regulador Centrífugo. 2018. Faculdade de Matemática – Universidade Federal de Uberlândia-UFU. Disponível em: <http://www.sbmec.org.br/eventos/cnmac/cd_xxviii_cnmac/posters/185posterCNMAC2005_uziel_silva.pdf>. Acesso em: 31 jan 2022.

GABRIEL, K. *Mycodo* Environmental Monitoring and Regulation System. System. <<https://www.kizniche.Github.io/Mycodo/>>. Acesso 31 jan 2022.

ESPRESSIF SYSTEMS. **Datasheet: ESP32 Datasheet**. Espressif Inc., 2016.

SENSIRION. **Datasheet SHT20**. Sensirion, 2014.

SHOPPERR. 2022. *SHT20* Temperature Humidity Sensor Module RS485 Monitor Sensor with Cable. Disponível em: <<https://shopperr.in/products/SHT20-temperature-humidity-sensor-module-rs485-monitor-sensor-with-cable>>. Acesso 31 jan 2022.

MAXIM INTEGRATED. **Datasheet MAX481/MAX483/MAX485/MAX487-MAX491/MAX1487 Low-Power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422 Transceivers**. Ver. 10. Maxim Integrated Products, Inc.2014.

MAXIM INTEGRATED. **Datasheet DS1307 64 x 8, Serial, I2C Real-Time Clock**. Rev. 3. Maxim Integrated Products, Inc.2015.

LEES ELETRONIC. 2022. RS485 TO TTL MODULE, HW-0519. Disponível em: <<https://leeselectronic.com/en/product/18766-rs485-to-ttl-module-hw-0519.html>>. Acesso 31 jan 2022.

FILIFE FLOP. 2022. Disponível em: <<https://www.filieflop.com/produto/real-time-clock-rtc-ds1307/>>. Acesso 31 jan 2022.

FLIPKART. 2022. REES52 Optocoupler 4 Channel 5V Relay Module Relay Control for Arduino DSP AVR PIC ARM (Blue). <<https://www.flipkart.com/rees52-optocoupler-4-channel-5v-relay-module-control-arduino-dsp-avr-pic-arm/p/itmez4fhdmvwhme>>. Acesso 31 jan 2022.

ESMALTEC. **Guia do usuário: Refrigeradores ROC 31| ROC 35**. Esmaltec Eletrodomésticos. 2022

OMRON BRASIL. 2022. Umidificador Humid Air Plus III. Disponível em: <<https://www.omronbrasil.com/umidificador-humid-air-plus-iii/>>. Acesso 31 jan 2022.

GABRIEL, K. *Mycodo*: Environmental monitoring and regulation system. 2021.

OGATA, Katsuhiko. Engenharia de controle moderno. 5 ed. Rio de Janeiro: **Prentice-Hall do Brasil**, 1985.

THE MATHWORKS. 2022. *Thingspeak®* for *IoT* Projects. Disponível em: <<https://Thingspeak.com/>>. Acesso 31 jan 2022.

JUNNOVATE. 2021. Kodular. Disponível em: < <https://www.kodular.io/>>. Acesso 31 jan 2022.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. *Biblioteca* Universitária. Guia de normalização de trabalhos acadêmicos da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza: *Biblioteca* Universitária, 2013. Disponível em: < <https://biblioteca.ufc.br/wp-content/uploads/2019/10/guia-de-citacao-06.10.2019.pdf>. > Acesso em: 9 jun. 2021.