

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO BERNARDO DO CAMPO
“ADIB MOISÉS DIB”**

FELIPE DA SILVA FERREIRA
KARINI EMILIA LIMA FERREIRA CASTRO
LUCIANO PRADELLI DA SILVA
VITÓRIA TONI DUARTE

SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA ESTUFA AGRÍCOLA

São Bernardo do Campo - SP
Dezembro/2022

**FELIPE DA SILVA FERREIRA
KARINI EMILIA LIMA FERREIRA CASTRO
LUCIANO PRADELLI DA SILVA
VITÓRIA TONI DUARTE**

SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA ESTUFA AGRÍCOLA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Tecnologia de São Bernardo do Campo “Adib Moisés Dib” como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial.

Orientador: Prof. Esp. Jorge Luis Sarapka.

São Bernardo do Campo - SP
Dezembro/2022

**FELIPE DA SILVA FERREIRA
KARINI EMILIA LIMA FERREIRA CASTRO
LUCIANO PRADELLI DA SILVA
VITÓRIA TONI DUARTE**

SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA ESTUFA AGRÍCOLA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Tecnologia de São Bernardo do Campo “Adib Moisés Dib” como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial.

Orientador: Prof. Esp. Jorge Luis Sarapka.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado
em:_____/_____/2022

Banca Examinadora:

Prof. Esp. Jorge Luis Sarapka, FATEC SBC - Orientador

Prof. Me.Claudio Cesar Jose dos Santos , FATEC SBC - Avaliador

Prof. Me.Pedro Adolfo Galani, FATEC SBC – Avaliador

RESUMO

Este trabalho consiste na criação de um protótipo de uma estufa automatizada para cultivo agrícola, podendo ser aplicado tanto em estufas residenciais quanto para estufas de larga produção, empregando o controle e monitoramento das variáveis de temperatura, luminosidade, umidade do ar e do solo, através da utilização de sensores interligados a microcontroladores. Este projeto de automação parte do conceito de *Internet of things* (IoT), utilizando a comunicação *Wi-fi* através da placa microcontrolada Esp32 fazendo uso da linguagem de programação C++. Os dados são monitorados pelo usuário através do aplicativo desenvolvido para dispositivos móveis, utilizando a plataforma MIT App Inventor, através da qual usuário consegue monitorar a estufa de uma forma segura e simples. A criação do protótipo tem a finalidade fazer o controle e monitoramento de algumas variáveis climáticas como luminosidade e umidade do solo, monitorando também a temperatura e umidade do ar, para um melhor desenvolvimento das plantações, facilitando e agilizando o cultivo e a comercialização, melhorando assim o produto, a produtividade e, conseqüentemente.

Palavra-Chave: Automação. Estufa. Esp32. IoT. Dispositivos Móveis. Arduino.

ABSTRACT

This work consists in a creation of a prototype of an automated greenhouse for agricultural cultivation, being able to be applied in residential greenhouses as well as for large production greenhouses using the control and monitoring of the parameters in temperature, light and moisture in the air and soil, through the use of sensors connected to the microcontrollers.

This automation project depart from the concept of internet of things (IoT), utilizing the Wi-Fi communication through the microcontroller board Esp32 using the C++ program language. The data are monitored by the users through the application devolved for mobile device, utilizing the MIT App Inventor platform, through which the users can monitor the greenhouse in a safe and simple way. The purpose of creating the prototype is to control and monitor some climatic variables such as luminosity and soil humidity, also monitoring the temperature and humidity of the air, for a better development of the plantations, facilitating and speeding up the cultivation and commercialization, improving thus the product, the productivity and, consequently.

Keywords: Automation. Greenhouse. Esp32. IoT. Mobile Devices. Arduino.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Primeiros cultivos na terra

Figura 1.2 - Estufa

Figura 1.3 - Uva Carménère

Figura 1.4 - Estufa agrícola modelo premium

Figura 1.5 - Diagrama de um microcontrolador

Figura 1.6 - Arduino

Figura 1.7 - Tabela de especificação do Arduino UNO

Figura 1.8 - ESP32

Figura 1.9 - Tabela de especificações ESP32

Figura 1.10 - Gráfico de variação da temperatura

Figura 1.11 - Sinal digital

Figura 1.12 - Sensor do solo FC-28

Figura 1.13 - Sensor LDR

Figura 1.14 - Sensor de umidade e temperatura DHT11

Figura 1.15 - Bomba d'água

Figura 1.16 - Tipos de distribuição de mensagens suportados pelo protocolo MQTT

Figura 2.1 - Arquitetura do sistema

Figura 2.2 - Cronograma

Figura 2.3 - Desenho 3D do projeto

Figura 3.1 - Projeto finalizado

Figura 3.2 - Estrutura da estufa

Figura 3.3 - Protoboard de 830 furos

Figura 3.4 - Módulo Relé, 2 canais

Figura 1.1 - Primeiros cultivos na terra

Figura 1.2 - Estufa

Figura 1.3 - Uva Carménère

Figura 1.4 - Estufa agrícola modelo premium

Figura 1.5 - Diagrama de um microcontrolador

Figura 1.6 - Arduino

Figura 1.7 - Tabela de especificação do Arduino UNO

Figura 1.8 - ESP32

Figura 1.9 - Tabela de especificações ESP32

Figura 1.10 - Gráfico de variação da temperatura

Figura 1.11 - Sinal digital

Figura 1.12 - Sensor do solo FC-28

Figura 1.13 - Sensor LDR

Figura 1.14 - Sensor de umidade e temperatura DHT11

Figura 1.15 - Bomba d'água

Figura 1.16 - Tipos de distribuição de mensagens suportados pelo protocolo MQTT

Figura 2.1 - Arquitetura do sistema

Figura 2.2 - Cronograma

Figura 2.3 - Desenho 3D do projeto

Figura 3.1 - Projeto finalizado

Figura 3.2 - Estrutura da estufa

Figura 3.3 - Protoboard de 830 furos

Figura 3.4 - Módulo Relé, 2 canais

Figura 3.5 - Fluxograma de funcionamento

Figura 3.6 - Biblioteca Arduino

Figura 3.7 - Declaração dos pinos

Figura 3.8 - Criação de variáveis

Figura 3.9 - *Void setup*

Figura 3.10 - *Void loop*

Figura 3.11 - Leitura das variáveis

Figura 3.12 - Escrita dos valores medidos

Figura 3.13 - Comparações

Figura 3.14 - *Else* Arduino

Figura 3.15 - Aba preferências

Figura 3.16 - Configuração do Arduino IDE

Figura 3.17 - Biblioteca ESP32

Figura 3.18 - Definições iniciais

Figura 3.19 - Nomes dos clientes e definição porta serial

Figura 3.20 - Criação do *void setupWIFI*

Figura 3.21 - Criação do *void setupMQTT*

Figura 3.22 - Criação do *void setup*

Figura 3.23 - Criação do *void loop*

Figura 3.24 - Criação *else*

Figura 3.25 - Telas login e menu

Figura 3.26 - Programação da tela login

Figura 3.27 - Programação da tela menu

Figura 3.28 - Programação aba menu

Figura 3.29 - Tela monitoramento

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	Analógico para Digital
BBC	<i>British Broadcasting Corporation</i>
Cepea	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CNN	<i>Cable News Network</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DAC	Digital para Analógico
FDR	Reflectometria no Domínio da Frequência
GND	<i>Graduated Neutral Density Filter</i>
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
I ² C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
LDR	<i>Light Dependent Resistor</i>
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i>
MQTT	<i>MQ Telemetry Transport</i>
OMC	Organização Mundial do Comercio
PIB	Produto Interno Bruto
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TDR	Reflectometria no Domínio do Tempo
Us	Umidade do Solo
USART	<i>Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter</i>

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
1.1 Histórico sobre a agricultura	10
1.2 A tecnologia e a agricultura	11
1.3 Aplicação de Mercado	11
1.4 Estufas.....	12
1.5 Condições Climáticas	15
1.6 Temperatura.....	16
1.7 Umidade relativa do ar.....	17
1.8 Luminosidade	18
1.9 Umidade do solo.....	20
1.10 Internet das coisas	20
1.11 Microcontroladores	21
1.11.1 Arduino	23
1.11.2 ESP 32	24
1.12 Sensores	27
1.12.1 Sensor analógico.....	27
1.12.2 Sensor digital.....	28
1.12.3 Sensor de humidade do Solo FC-28.....	28
1.12.4 Sensor de luminosidade LDR.....	29
1.12.5 Sensor de temperatura e umidade DHT11	30
1.13 Bomba d'água.....	31
1.14 MQTT.....	32
2 METODOLOGIA	34
2.1 O que é metodologia	34
2.2 Tema-problema e justificativa.....	34
2.3 Descrição do projeto.....	35
2.4 Etapas de desenvolvimento do projeto	36
2.5 Cronograma das etapas	37
2.6 Esboço do protótipo	38
3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	39
3.1 Montagem da estrutura mecânica e eletrônica.....	40

3.2	Programação Arduino.....	42
3.3	Configuração e programação do ESP32.....	42
3.4	Dispositivo Móvel.....	55
3.5	Comunicação.....	59
3.6	Obstáculos e soluções	59
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
	REFERÊNCIAS.....	63

INTRODUÇÃO

A busca por uma melhor condição de vida humana acontece desde os primórdios, de acordo com o passar dos anos e com o avanço tecnológico. Isso vem tornando-se cada vez mais possível, como pode-se observar atualmente com o desenvolvimento da tecnologia. Desenvolvimento esse que tem contribuído para a melhoria não só das indústrias, mas para praticamente todos os aspectos relacionados à vida humana.

Desde o princípio dos tempos sempre houve uma necessidade de otimização de todos os tipos de processos que existem dentro de uma sociedade. Um desses primeiros processos utilizados pela humanidade era baseado na plantação e na colheita de alimentos. Para o desenvolvimento desse processo, os habitantes ancestrais da terra tinham que fazer o que compreendemos ser uma espécie de mapeamento geológico dos locais apropriados para plantar os alimentos que desejavam para a sua alimentação durante um determinado período. De acordo com os relatos históricos, devido a esse motivo entre outros, existiam muitos grupos denominados nômades, que necessitavam de uma constante mudança de área geográfica para usufruir do clima favorável de cada região.

Atualmente não há uma necessidade de demasiadas mudanças regionais para que se ocorra o plantio e a colheita dos alimentos que utilizamos, isso graças ao desenvolvimento que ocorreu na indústria de agronegócio. Visando o avanço desta área que tem uma participação significativa - 26,6% do PIB brasileiro, surgiu a ideia do projeto de um sistema de estufa, ou seja, um projeto de automação que tem como um dos objetivos tornar o ambiente das estufas mais próximo do favorável para o cultivo de determinados produtos agrícolas.

Aliado aos problemas de planejamento do referido projeto, é preciso introduzir um tema que está sendo amplamente discutido em todo o mundo, a sustentabilidade. Este tópico caminha lado a lado com as necessidades que o agronegócio exige para sua sustentabilidade. Por exemplo, para uma boa produtividade é necessário que se regue toda a plantação a curtos espaços de tempo, mas para isto, uma grande

quantidade de água se faz necessária. Aliar este fato ao quesito de sustentabilidade é o desafio proposto para o desenvolvimento da agricultura brasileira.

Somando-se a isto, no Brasil, assim como em outros países de clima tropical e subtropical, as temperaturas elevadas são o desafio da agroindústria, pois afetam a qualidade do produto e, em resposta a esse risco, o cultivo em ambientes protegidos é uma ótima opção. O cultivo protegido, ou seja, em estufas, permite o controle de variáveis climáticas, bem como de pragas e doenças.

O presente projeto tem por finalidade controlar algumas variáveis climáticas como luminosidade e umidade do solo, e monitorar a temperatura e umidade do ar, propiciando um melhor desenvolvimento das plantações, facilitando e agilizando o cultivo e a comercialização, melhorando o produto, a produtividade e, conseqüentemente, a economia do país.

Dessa forma, a monografia foi organizada da seguinte forma:

- **Capítulo 1 – Fundamentação Teórica**: traz a abordagem da teoria utilizada no projeto, apresentando autores que dão sustentação ao desenvolvimento do projeto;
- **Capítulo 2 – Metodologia**: apresenta os métodos e técnicas que direcionam a construção do projeto;
- **Capítulo 3 – Desenvolvimento do Projeto**: descreve o passo a passo do desenvolvimento e construção do projeto, com subdivisões e figuras para melhor compreensão;
- **Considerações Finais**: retoma-se o que foi feito no projeto, descrevendo os objetivos propostos e atingidos. Faz uma conexão entre a teoria e os fatos obtidos durante o desenvolvimento e as possíveis melhorias para estudos futuros.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

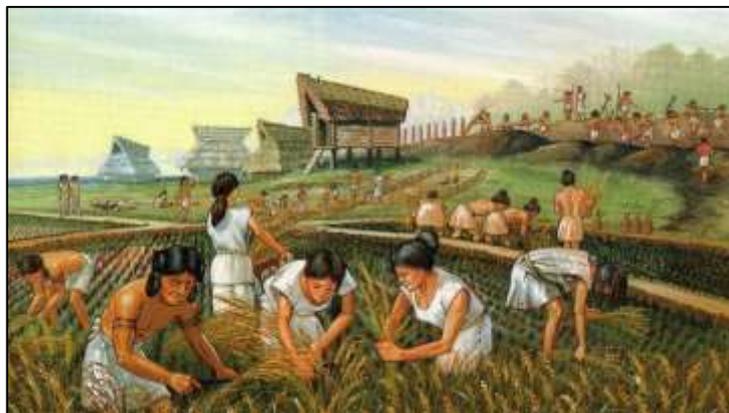
Neste capítulo serão abordadas teorias que dão sustentação ao desenvolvimento do projeto intitulado de Sistema de Automação para Estufa Agrícola.

1.1 Histórico sobre a agricultura

Aries (2020) destaca que a agricultura tem sua origem na pré-história quando os primeiros habitantes perceberam que poderiam se alimentar de cereais desde que o cultivassem. Esse período deu início ao que chamamos de Revolução Neolítica onde o homem passa a cultivar alimentos em um lugar fixo abdicando assim de uma de suas principais características da época de nômade caçador-coletor.

Como resultado desta evolução nascem então os primeiros povoados que futuramente se tornariam grandes cidades. Com o aumento da população e conseqüentemente de suas necessidades, o homem passa a observar com mais detalhes as plantas, aprendendo mais sobre seu cultivo e como desenvolvê-las para fazer o melhor uso delas. Com o passar dos anos as práticas foram melhorando e novas técnicas foram surgindo o que desencadeou no desenvolvimento de novas culturas. Sendo assim, tornava-se necessário a ampliação do tamanho das propriedades e de processos para a conservação de solos conforme ilustra a Figura 1.1:

Figura 1.1 - Primeiros cultivos na terra



Fonte: <https://regininha-atividadesescolares.blogspot.com/2020/12/origem-da-agricultura-e-suas.html>, 2022.

De acordo com Guitarrara (2022) ao longo do tempo a agricultura continuou em expansão trazendo assim a chamada Revolução verde na segunda metade do século XX, liderada pelo Estados Unidos e Europa, o que trouxe um grande desenvolvimento econômico e tecnológico, pois foi a partir desse movimento que se ampliou o uso dos insumos industriais, mecanização agrícola e redução do custo de manejo.

No Brasil desde o seu descobrimento a agricultura se desenvolveu de uma maneira notável, ampliando seu mercado e implantando novas técnicas.

1.2 A tecnologia e a agricultura

Segundo Mazoyer e Roudart (2008) “em 2050, nosso planeta contará com aproximadamente 9 bilhões de seres humanos (entre 8 e 11 bilhões) segundo as últimas estimativas das Nações Unidas publicadas em 2001”. Isso significa que a quantidade de alimentos produzido terá um crescimento exponencial.

Sendo assim, a tecnologia torna-se fundamental para o aumento da produção e melhoria da produtividade na área agrícola, pois ela envolve toda a parte de gestão dos processos ligados aos produtos alimentícios. O avanço obtido e o espaço que a agroindústria ganhou ao longo do tempo, mostra o tamanho da sua importância.

Atualmente o Brasil tem se tornado uma grande potência neste ramo, segundo Carrançã (2021). Destaca-se que o país é o segundo maior exportador de alimentos do mundo, de acordo com a Organização Mundial do Comércio (OMC) - o que implica que se faz necessário um investimento cada vez maior na área.

1.3 Aplicação de Mercado

De acordo com Loureiro (2021) o PIB do agronegócio brasileiro cresceu 9,81% em relação ao primeiro semestre de 2021 comparado ao mesmo período de 2020, segundo dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea), e da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. Os dados são positivos não só para quem trabalha com negócios no campo, mas também para quem investe, pois

nos últimos anos o volume de operações financeiras voltadas para alocação de capital no agronegócio vem aumentando significativamente.

Entretanto, pelo fato do Brasil ser um país em desenvolvimento, ainda enfrentamos alguns problemas relacionados ao cultivo em nosso solo, pois por muitas vezes não há capacitação ou preparo necessários para que se estude e planeje a viabilidade de um projeto agrícola. Aliar uma boa produção a um bom custo-benefício não é uma tarefa fácil, mesmo com os números positivos em relação ao crescimento desta área existe ainda uma falta de investimentos e recursos tanto vindos da parte privada como dos órgãos governamentais.

1.4 Estufas

Segundo Matheus (2019) alguns alimentos são muito sensíveis as variações climáticas o torna inada, mas necessário a aplicação de cultivo protegido esses alimentos. Essa preocupação culminou no desenvolvimento do que chamamos de estufa, ou seja, o cultivo protegido. A ideia de criar um ambiente que proteja as plantações dando-lhes condições mais próximas do ideal para seu crescimento, através deste ambiente como ilustrado na Figura 1.2 deseja-se ter alimentos com alta qualidade e uma produtividade maior.

Figura 1.2 - Estufa



Fonte: <https://agrosmart.com.br/blog/estufa/>, 2019.

De acordo com o *site* Estufa tropical (2022) as dificuldades inerentes à atividade agrícola levam os agricultores a sofrerem grandes perdas nas suas produções, além de terem que lidar com os ataques de pestes e doenças. Quando se realiza o cultivo aberto o produto em campo se torna muito vulnerável à variação do clima e da umidade relativa do ar. O cultivo protegido é especialmente importante em seis situações básicas como:

- Culturas muito sensíveis;
- Produtos com alto valor agregado;
- Regiões com clima rigoroso (muito frio ou muito árido);
- Plantas exóticas não adaptadas ao clima local;
- Teste e seleção genética;
- Produção de mudas.

Um dos grandes exemplos da importância deste tipo de cultivo citado por Matheus (2019) é o caso da Uva Carménère, originada na região de Médoc na França considerada extinta, foi redescoberta no Chile. Em meados da década de 90 um especialista em uvas detectou uma inconsistência na produção de Merlot que é usada para fabricação dos famosos vinhos franceses. Ao analisar o problema percebeu a presença não proposital de Carménère em meio a produção. Depois de ter sido extinta por mais de um século, após o surto de filoxera no Sul da França que devastou de forma generalizada as vinhas, ela foi replantada em um cultivo protegido para que sua genética fosse mantida e, assim, podendo garantir a variedade de sua espécie ao redor do mundo, como ilustrado na Figura 1.3:

Figura 1.3 - Uva Carménère



Fonte: <https://www.divvino.com.br/blog/uva-carmenere/>, 2020.

Segundo o *site* Portal do Agronegócio (2022) o Brasil é destaque internacional no segmento do cultivo protegido. Estufas especialmente projetadas para atender as demandas de cada espécie a ser produzida tem se expandido no território brasileiro. Enfrentando a quantidade de plantio a ser atendida, ainda há muito o que avançar neste setor.

Um dos grandes exemplos da expansão desta técnica em solo brasileiro é a plantação de tomate sustentável em Minas Gerais, de acordo com o *site* Globo Rural (2021) o holandês Arjan Kouwenhoven e a russa Tatjana Kouwenhoven produzem a fruta de forma sustentável utilizando substratos de lã de rocha, que é reciclável e resistente a pragas em um sistema de estufa de vidro. A produção chega em média a dois hectares de tomates apoiados em cabos presos ao teto.

O custo para a produção de uma estufa pode variar de acordo com o plantio desejado, e a tecnologia requerida para o tipo de plantação. Segundo o *site* EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2011) uma estrutura de estufa medindo 6,00 m de largura x 6,00 m de comprimento e 2,20 m de altura, custa em média R\$7 273,92 assim como ilustrado na Figura 1.4:

Figura 1.4 - Estufa Agrícola Modelo Premium



Fonte: <https://www.lojatropicaestufas.com.br/estufas-agricolas/estufa-premium-6x6>, 2022.

Por tanto a estufa além de ter um custo benéfico acessível para o produtor, faz com que aumente a sua produção trazendo a possibilidade de condições mais favoráveis para o seu plantio, podendo desenvolver um alimento mais saudável e mais sustentável.

1.5 Condições Climáticas

As mudanças climáticas afetam diretamente a agricultura, podendo afetar principalmente a produtividade. Estudos estão sendo realizados em diversos países, avaliando o impacto que estas mudanças causam efetivamente sobre a agricultura, visto que elas afetam a disponibilidade de água, dinâmica de pragas e doenças, a fisiologia das plantas, a fertilidade, erosão e salinização dos solos (PRITCHARD & AMTHOR, 2005).

Observando todos esses problemas gerado pelas condições climáticas , pode-se confirmar que haverá perdas de rendimento, acarretando migrações de culturas de uma região para outra.

Com a queda do índice de precipitações e o aumento da temperatura, a produção de alimentos e os serviços ecossistêmicos tendem a serem muito afetados, diminuindo assim seus rendimentos. As perspectivas indicam que se este assunto não for abordado corretamente haverá uma queda ainda maior na produtividade agrícola, devido a deterioração do ambiente de produção (PRITCHARD & AMTHOR, 2005).

Assim como a seca afeta a agricultura, em contrapartida chuvas excessivas e inundações também prejudicam as lavouras, posto que uma quantidade significativa de culturas está localizada em bacias hidrográficas que são sujeitas a inundações. As consequências de uma inundação são severas, podendo causar “afogamento” das plantas por falta de oxigênio ou até mesmo uma varredura de uma cultura inteira pelas correntes de água. É possível que aconteça perdas de reservas alimentares nas áreas submersas, como por exemplo cereais, que podem apodrecer por terem tido um excessivo contato com a água (EMBRAPA, 2011).

1.6 Temperatura

Seginer (1983) apresenta um estudo relativo ao dimensionamento da área considerada para efeito de absorção e reflexão dos fluxos térmicos internos pela camada vegetal (folhas), com experimento modelado para uma cultura de rosas em diversos estágios de crescimento. Este estudo é extremamente importante quando se deseja considerar a influência do calor latente do processo fotossintético no modelamento do balanço de energia, dando mais precisão ao modelo.

Ao abordar a acumulação térmica, principalmente em relação ao fluxo condutivo de calor pelo solo, Gonzales-Real (1996) cita que tal fluxo pode ser considerado como se operasse em regime permanente, visto que as respostas do solo às variações térmicas externas são lentas, mesmo em dias cuja amplitude térmica é relevante. Afirma ainda que, quando não existe sistema de calefação de solo, a influência do fluxo térmico condutivo no solo interno da estufa esgota-se a profundidades da ordem de 0,15 m, o que permite deduzir que as perdas térmicas para o solo são pequenas (da ordem de 10 a 20 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{k}^{-1}$) quando comparadas com os demais fluxos energéticos do sistema. Quanto ao comportamento do fluxo térmico devido a evapotranspiração da cobertura vegetal, aplica a metodologia baseada no coeficiente de Bowen que é um método de perfil amplamente utilizado, com resultados confiáveis para ecossistemas homogêneos relativo à espécie cultivada.

No entanto de acordo com Pieters e Debruyckere (1996) apresenta um completo estudo com relação aos diversos materiais que são utilizados na confecção de superfícies de estufas agrícolas, principalmente quanto as suas propriedades físicas em relação a radiação térmica em ondas curtas e longas. Sob este aspecto, cabe ressaltar que as propriedades citadas na publicação, relativas ao polietileno, são as seguintes: emissividade em ondas longas (0,79); absortividade para ondas curtas diretas (0,04) e difusas (0,13); transmissividade em ondas longas (0,18), curtas diretas (0,86) e difusas (0,71) e refletividade em ondas longas (0,03), curtas diretas (0,10) e difusas (0,16). Essas excelentes propriedades verificadas devem ser perseguidas para o polietileno empregado em estufas no Brasil, pois se aproximam muito das propriedades radiantes encontradas no vidro.

Em um trabalho sobre as propriedades térmicas e ópticas dos materiais plásticos polietilênicos usualmente empregados na plasticultura brasileira, Schneider e Tondello (1998) identificaram que essas coberturas não são capazes de promover o efeito estufa desejado. Boa parte desses materiais analisados apresentam alta transmissividade para a faixa de comprimento de ondas curtas, o que é desejável, mas mantém altos valores de transmissividade para a faixa de ondas longas. Essa constatação explica o baixo rendimento das estufas com cobertura polietilênica, pois não são capazes de reter o calor absorvido durante o dia.

1.7 Umidade relativa do ar

A água é uma fonte vital para a manutenção dos ciclos biológicos, geológicos e químicos, mantendo o equilíbrio dos ecossistemas. Logo, esse recurso natural vem diminuindo, e conseqüentemente, gerando debates, investigações e direitos sobre a sua utilização, por ser uma preocupação de ordem mundial (ECYCLE, 2010).

Os recursos hídricos são um dos principais meios que influenciam em diversas atividades econômicas, como por exemplo, a produção agrícola. Segundo Testezlaf (2017), foram encontradas evidências de campos irrigados no Peru (Vale do Zaña) datados de 5.400 anos atrás. Uma técnica assim tão antiga e tão importante deveria ser sempre estudada e avaliada como instrumento essencial para viabilizar o desenvolvimento socioeconômico e cultural de regiões desfavorecidas, onde a produção agrícola é afetada pela escassez de chuvas e pela falta da disponibilidade hídrica, ou para incrementar a lucratividade de regiões agrícolas tradicionais.

No Brasil, a irrigação teve início entre o fim do século XIX e o início do século XX nas lavouras de arroz do Rio Grande do Sul, tendo se firmado como importante polo de irrigação desde então. Assim, destaca-se que a irrigação está presente em diversos cultivos, beneficiando a distribuição de água em qualquer época do ano (ANA, 2017).

Embora sejam reconhecidos todos os benefícios relacionados à irrigação, ainda há dificuldades de se dimensionar sua importância na quantidade produzida atual e o seu papel na segurança alimentar e nutricional da sociedade brasileira devido à indisponibilidade de dados ou à impossibilidade de desagregação em relação a agricultura de uma forma geral (ANA, 2017).

O avanço do conhecimento em relação aos processos de produção é fundamental para compreender a necessidade da umidade do ar necessária para cada plantio, principalmente no que se refere às interações entre solo, plantas e água. O solo é um sistema complexo, responsável por assegurar as condições adequadas à produção (HARA, 2019).

Em especial, a sua capacidade de armazenar água, de forma que está esteja disponível para as plantas, além de permitir as trocas de gases no ambiente explorado pelas raízes. Isto exige um equilíbrio na distribuição do tamanho de poros, ou seja, impõe a necessidade da qualidade física do solo, relacionada à preservação da sua estrutura (MOREIRA, 2016).

O manejo correto e equilibrado do solo é essencial para que continue a exercer suas funções naturalmente como a unidade relativa do ar por exemplo, contribuindo assim de forma sustentável para o bom funcionamento do ciclo hidrológico (GOMES, 2015).

1.8 Luminosidade

As plantas são organismos complexos que dependem de uma série de fatores externos a elas para se desenvolverem, dentro destes fatores podemos destacar o efeito da luminosidade sobre as plantações.

A luminosidade é um fator abiótico de suma importância quando tratamos do crescimento das plantas. Segundo a professora de Química Carolina Batista “Os fatores bióticos e abióticos representam as relações existentes que permitem o

equilíbrio do ecossistema”. Desta forma, é de suma importância entendermos a influência da luz sobre o principal mecanismo de desenvolvimento de uma planta, a fotossíntese.

O processo de fotossíntese ocorre por meio de uma junção de fatores bióticos e abióticos, o equilíbrio entre eles gera um processo químico interno nas plantas. Por meio desse processo, os seres vivos autótrofos fotossintetizantes capturam energia luminosa e transformam em energia química para ligar átomos e formar moléculas energéticas (SANTOS, 2021).

Por ser um fator abiótico, em geral o ser humano não pode controlar a qualidade e a quantidade de luz natural. Logo, as plantações e os agricultores dependem de dias ensolarados para que ao fim da colheita, a sua produtividade seja positiva. Atrelado a essa necessidade, podemos destacar o efeito das mudanças climáticas sobre a incidência de luminosidade sobre a terra. Neste contexto é importante reforçar que

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), organização criada pelas Nações Unidas, refere-se às mudanças climáticas como a variação do clima a longo prazo analisada estatisticamente segundo fenômenos da atmosfera, como temperatura, chuva e ventos (SOUSA, 2021).

As mudanças climáticas trouxeram para os agricultores um sinal de alerta, com dias mais quentes e com o clima cada vez mais imprevisível e sujeito a extremos. Assim, é preciso associar e criar maneiras diferentes de se cultivar alimentos. Seguindo este cenário surge a necessidade de se trabalhar um método de iluminação artificial, que ofereça mais segurança e produtividade ao produtor.

Isso se tornou possível com a utilização de estufas, onde são gerados ambientes controlados eletronicamente, sendo a iluminação artificial um grande aliado neste método produtivo chamado de “cultivo Indoor” onde são aplicados métodos de iluminação específicos, para cada tipo de plantio.

De acordo com o *site* Hidroponia Brasil (2022), é possível compreender que as plantas utilizam e absorvem a luz através das ondas eletromagnéticas que são emitidas, deste modo foi possível constatar por meio de estudos os comprimentos de

onda que têm uma maior taxa de aproveitamento pelas plantas, sendo que os comprimentos de onda mais absorvidos ocorrem em torno de 450 e 660 nm.

1.9 Umidade do solo

Um dos fatores cruciais para o bom desenvolvimento de uma plantação é o contato constante com a água, tanto para manter uma boa umidade do ar como para a umidade do solo, para o solo isso se dá através da absorção de água pelas raízes das plantas, logo há a necessidade de se manter o solo com um bom nível de umidade. Além disso, podemos citar os compostos e nutrientes que compõe o solo. Estas duas características juntas e em equilíbrio promovem um bom ambiente para o cultivo das mais diversas espécies de plantas (EARTH OBSERVING, 2020).

Visando a produtividade e a redução de gastos, o monitoramento da umidade do solo, pode-se tornar um fator decisivo para o sucesso da agricultura. Quando o agricultor sabe a qualidade de seu solo e tem um constante monitoramento de sua umidade, ele poderá reduzir consideravelmente os seus gastos relativos à água e energia elétrica (BRAGA et al., 2018).

Quando se tem o controle da umidificação do solo é possível que a irrigação seja feita em apenas momentos realmente necessários, logo as despesas com água diminuiriam devido ao racionamento da irrigação. Além disso, podemos levar em consideração que um solo irrigado gera uma planta saudável, com isso podemos presumir que as doenças e pragas serão dificilmente percebidas na plantação, gerando, assim, uma economia quando falamos dos tratamentos “medicinais” para as plantações. Com estas informações e a tecnologia utilizada atualmente é possível alcançar grandes resultados produtivos financeiros.

1.10 Internet das coisas

Segundo Magrani (2018) tendo em vista o crescimento da automação ao longo dos anos, a IoT (*Internet of Things* – Internet das Coisas) vem se desenvolvendo, de modo a integrar processos e facilitar a resolução de problemas. O IoT são objetos físicos interconectados com a internet por meio de sensores pequenos e embutidos, criando um ecossistema de computação onipresente, ou seja, são objetos que contêm pequenos computadores dentro.

Para Sacomano et al. (2018) a internet das coisas se assemelha muito a internet convencional, porém na internet convencional os agentes emissores e receptores da comunicação são os seres humanos, já na IoT emissor e receptor são objetos que utilizam a internet como um canal de comunicação, com isso ela é uma extensão da internet convencional.

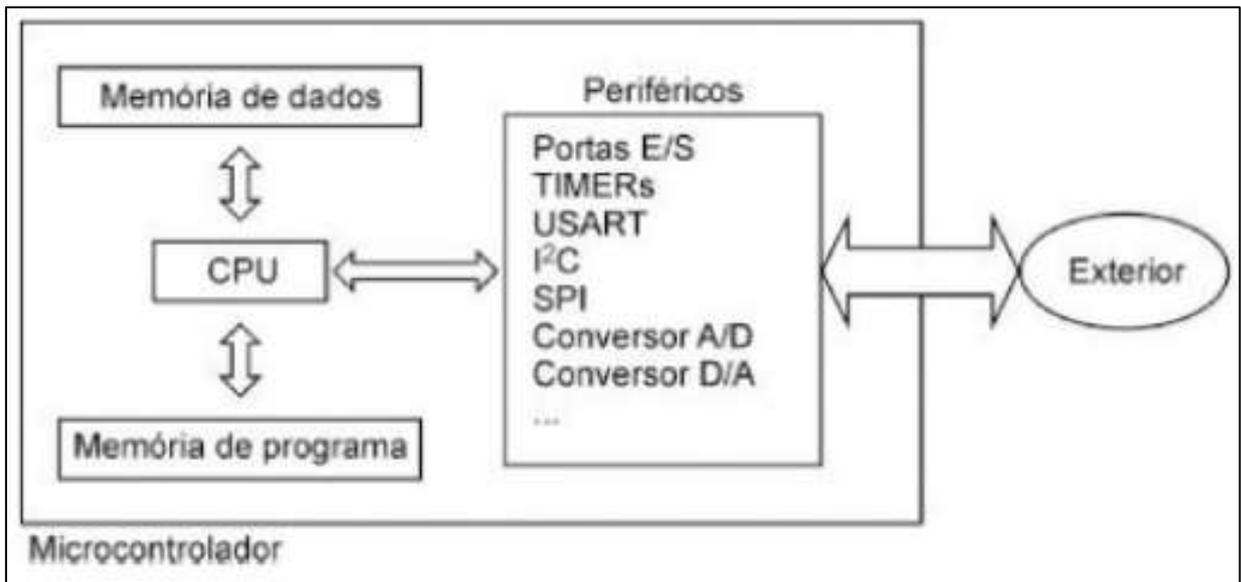
A Internet das coisas é a progressiva automatização de setores inteiros da economia e da vida social com base na comunicação máquina-máquina, logística, agricultura, transporte de pessoas, saúde, produção industrial e muitos outros (MAGRANI, 2018).

De acordo com Moubarak (2016) a internet das coisas cria uma rede de dispositivos que interagem, comunicando-se e cooperando juntos para atingir um objetivo, assim esses dispositivos podem melhorar a vida diária das pessoas.

1.11 Microcontroladores

De acordo com Miyadaira (2009) os microcontroladores são pequenos dispositivos dotados de “inteligência”, basicamente constituídos de CPU (*Central Processing Unit em inglês*, ou Unidade Central de Processamento em português), memória (dados e programas) e periféricos (portas E/S, I²C, SPI, USART etc.), como ilustra a Figura 1.5. Seu pequeno porte e baixo custo, ocorre pelo fato da alta capacidade de integração, em milhões de componentes que são inseridos em uma única pastilha de silício pela técnica de circuitos integrados.

Figura 1.5 - Diagrama de um microcontrolador



Fonte: MIYADAIRA, 2009.

Os microcontroladores são desenvolvidos para atuar sobre a administração de ações e eventos, estão presentes na maioria dos equipamentos digitais, como celulares, MP3 player, impressoras, robótica, instrumentação, entre outros (SANTOS; LARA, 2019).

Segundo Silva (2007), esse dispositivo surgiu em meados da década de 70, criado por uma equipe da Texas Instruments, conforme evoluções que iriam sendo feitas resultou no equipamento que conhecemos atualmente. Os primeiros dispositivos programáveis tinham seus programas escritos com códigos de máquina, que consistiam normalmente em dígitos binários, era uma programação extremamente complexa, implicando assim em um elevado custo, além de muito tempo para o desenvolvimento de uma aplicação (PEREIRA, 2009).

Por terem ligações com os meios externos por meio das suas entradas e saídas os microcontroladores são muito práticos nas execuções de funções complexas, sendo uma ótima opção para desenvolver sistema de controle e monitoramento integrando o com outros dispositivos (SANTOS; LARA, 2019).

1.11.1 Arduino

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica que tem como diferencial sua natureza aberta, ou seja, de *hardware* e *software open source* (código aberto), permitindo que profissionais e alunos sejam criativos com a tecnologia. Ao longo dos anos o Arduino tem sido o cérebro de milhares de projetos, pois o *software* é fácil de usar para iniciantes, porém é flexível o suficiente para usuários avançados (ARDUINO, 2018).

Inicialmente a placa foi desenvolvida para estudantes sem formação em eletrônica e programação. Isso ocorreu, pois o professor Massimo Banzi deparou-se com a dificuldade de ensinar eletrônica e programação para profissionais de outras áreas e a falta de placas eficientes e acessíveis no mercado (ARDUINO, 2018).

De acordo com Monk (2013) o Arduino possui como sua peça principal um microcontrolador de 28 pinos, conforme mostra a Figura 1.6 com entradas e saídas (I/O) produzido pela Atmel. Tanto as entradas como as saídas podem ler dados digitais e analógicos, possibilitando na entrada a conexão de diferentes tipos de sensores, temperatura, entre outros e na saída permitindo que diodos emissores de luz sejam ligados ou desligados diretamente, também pode ser usado para controlar dispositivos de potência elevada, como um motor.

Figura 1.6 - Arduino



Fonte: <https://www.techtudo.com.br/noticias/2013/10/o-que-e-um-arduino-e-o-que-pode-ser-feito-com-ele.ghtml>, 2013.

O sistema de *software* do Arduino é o embarcado, ou seja, ele engloba um sistema microprocessado no qual o dispositivo é completamente dedicado ao sistema que ele controla. Sendo assim ele realiza um conjunto de tarefas predefinidas, porém se dedica a um número reduzido de operações se comparando a um computador de uso geral (RUBIM, 2014).

Na Figura 1.7 são apresentadas as principais características do Arduino UNO:

Figura 1.7 - Tabela de especificações do Arduino UNO

Microcontrolador	Atmel atmega328
Tensão de operação:	5 V
Tensão de alimentação (recomendada)	7 – 12 V
Tensão de alimentação (limite)	6 – 20 V
Entradas e saídas digitais:	14 das quais 6 podem ser PWM
Entradas analógicas	6
Corrente contínua por pino de I/O	40 mA
Corrente contínua para o pino 3.3 V	50 mA
Memória Flash	32 KB (ATmega328) dos quais 0.5 KB são usados pelo bootloader
Memória SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Velocidade do Clock	16 MHz
Dimensões	68,58 mm X 53,34 mm
Peso	50 g

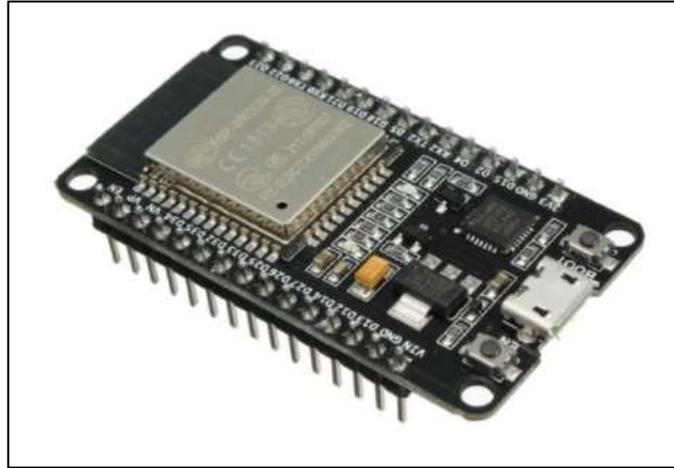
Fonte: Adaptado de <https://www.baudaeletronica.com.br/arduino-uno-r3.html>, 2022

1.11.2 ESP 32

De acordo com o site Espressif (2022), ESP32 é um microcontrolador rico em recursos com Wi-Fi integrado e conectividade Bluetooth para uma ampla gama de aplicativos. Isso facilita o desenvolvimento de projetos envolvendo IoT, uma vez que

estarão constantemente trocando informações com a rede. É possível observar na Figura 1.8 a seguir o modelo físico da placa do microcontrolador:

Figura 1.8 - ESP32



Fonte: <https://www.filipeflop.com/>, 2021.

Possui consumo de energia ultrabaixo e foi projetado para dispositivos móveis, eletrônicos vestíveis e aplicativos de IoT. O ESP32 atinge um consumo de energia ultrabaixo com uma combinação de vários tipos de *software* proprietário. O ESP32 também inclui recursos de última geração, como *clock gating* (fechamento do relógio) refinado, vários modos de energia e dimensionamento dinâmico de energia (ESPRESSIF, 2022).

Com um *design* robusto o ESP32 é capaz de funcionar de forma confiável em ambientes industriais, com uma temperatura de operação que varia de -40°C a $+85^{\circ}\text{C}$. Alimentado por circuitos de calibração avançados, ele pode remover dinamicamente as imperfeições do circuito externo e se adaptar às mudanças nas condições externas (ESPRESSIF, 2022).

O ESP32 é altamente integrado com interruptores de antena embutidos, balun de RF, amplificador de potência, amplificador de recepção de baixo ruído, filtros e módulos de gerenciamento de energia. O ESP32 adiciona funcionalidade e versatilidade inestimáveis às suas aplicações com requisitos mínimos de placa de circuito impresso (ESPRESSIF, 2022).

De acordo com o *site* XPROJETOS (2018), para se programar o ESP32 é possível utilizar várias IDEs, como a do Arduino, *CodeBlocks* (Blocos de Código), *Netbeans*, Lua, entre outras. As portas GPIO da placa são capazes de fornecer até 12 mA, com isso são utilizadas como entradas e saídas digitais. O ESP32 possui também um sensor de temperatura embutido para controlar a temperatura de operação da placa.

Conta também com 10 sensores de toque, que enviam a informação para a placa. O ADC embutido serve para converter grandezas analógicas em digitais, sendo 18 pinos com essa funcionalidade. Traz portas de 2,2 V e 3.3 V, GND e pinos de comunicação TX e RX. Conforme mostra a Figura 1.9.

Figura 1.9 - Tabela de especificações ESP32

Alimentação:	2,2 V ~ 3,3V DC
Temperatura de Operação:	-40°C ~ +85°C
GPIOs (Entradas e Saídas):	34 GPIOs de 3.3 V e 12 mA.
Conversores ADC (Analógico para Digital):	18 ADC com 12-bit de resolução (4096 bits)
Conversores DAC (Digital para Analógico):	2 ADC com 8-bit de resolução (256 bits)
WiFi:	2,4 GHz, 802.11 b/g/n/e/i (802.11n até 150 Mbps)
Bluetooth:	Bluetooth Low Energy v4.2 (BLE)
Temporizadores:	4 Timers de 64-bit.
Interfaces de Módulos:	Cartão SD, UART, SPI, SDIO, I2C, LED PWM, Motor PWM, I2S, I2C, IR
Sensores	- 1 Sensor de temperatura interno; - 1 Sensor de efeito Hall; - 10 Sensores de Toque Capacitivo,

Fonte: Adaptado de <https://xprojetos.net/esp32-especificacao-tecnica/>, 2020.

1.12 Sensores

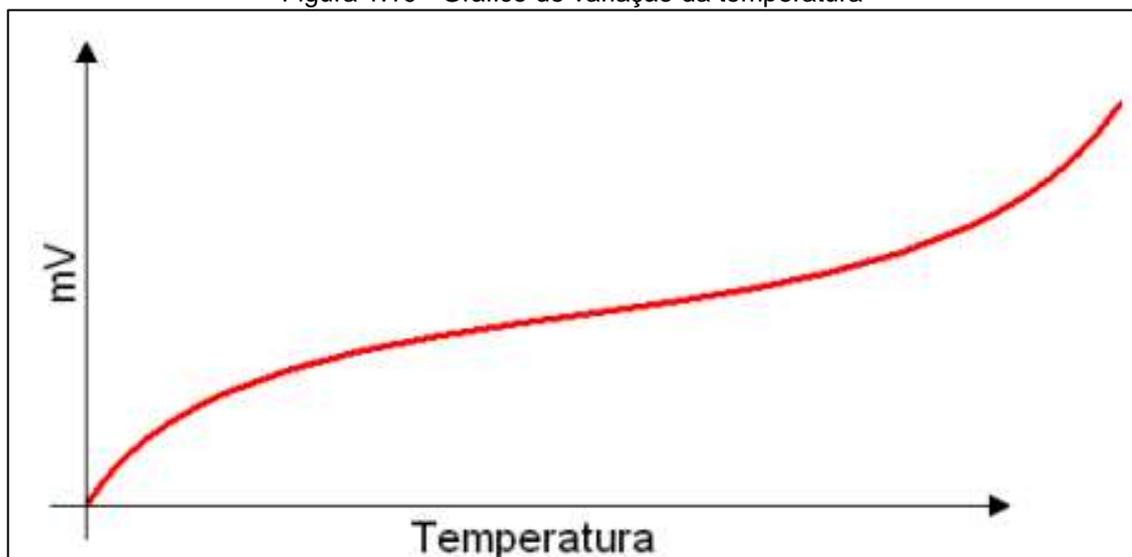
O termo sensor atualmente se tornou muito comum entre as pessoas, independente do grau de conhecimento no ramo da automação, pois os sensores estão presentes em carros, *smartphones* e em outros diversos lugares.

De acordo com Thomazini e Albuquerque (2020) esse termo é utilizado para designar dispositivos sensíveis a alguma forma de energia, que pode ser luminosa, térmica ou cinética. Relaciona informações de uma grandeza que precisa ser medida, como temperatura, umidade, pressão e transformam tais grandezas em sinais elétricos.

1.12.1 Sensor analógico

De acordo com Wendling (2010), os sensores analógicos podem assumir qualquer valor no seu sinal de saída ao longo do tempo. Com isso as variáveis são aferidas por elementos sensíveis com circuitos eletrônicos. A Figura 1.10 ilustra a variação da temperatura de forma analógica.

Figura 1.10 - Gráfico de variação da temperatura

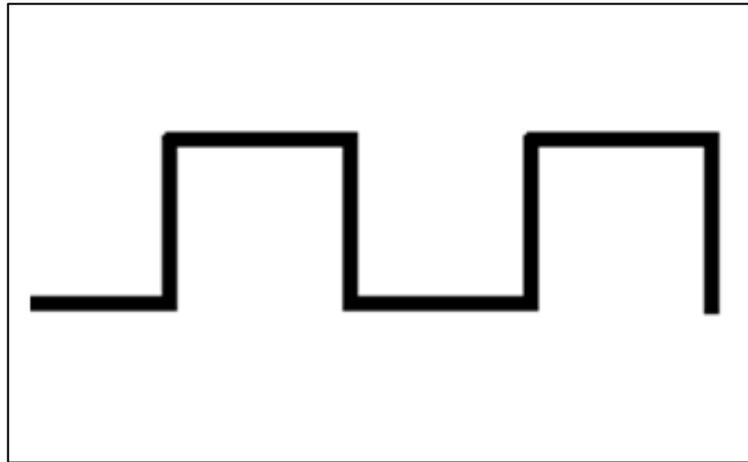


Fonte: <https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4---sensores-v2.0.pdf>, 2010.

1.12.2 Sensor digital

Os sensores digitais podem apenas assumir dois valores no seu sinal de saída, que são interpretados como zero ou um. As grandezas físicas não assumem esses valores, porém os valores são convertidos por um circuito eletrônico (WENDLING, 2010). A Figura 1.11 ilustra a variação do sinal entre zero e um.

Figura 1.11 - Sinal Digital

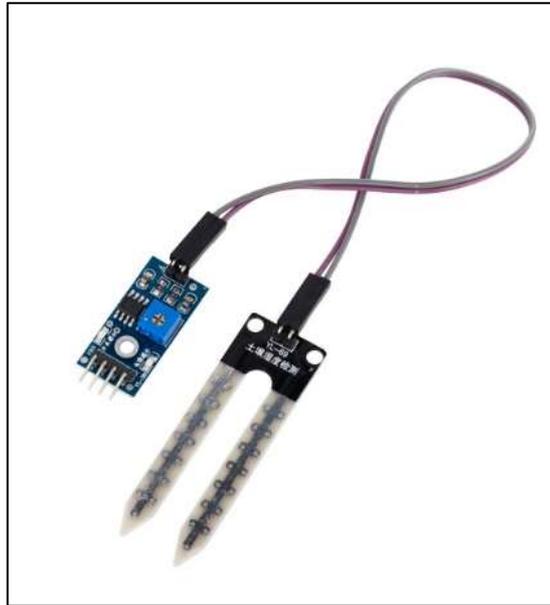


Fonte: Autoria Própria, 2022.

1.12.3 Sensor de humidade do Solo FC-28

O sensor de humidade do solo FC-28, pode ser utilizado para detectar as variações de umidade no solo, podendo ser usado na areia, terra ou diretamente na água com uma alimentação de 3,3 V ou 5 V com um sinal de tensão de saída de 0 V a 4,2 V (MCROBERTS, 2011). Na Figura 1.12 é possível observar a estrutura do sensor:

Figura 1.12 - Sensor do Solo FC-28



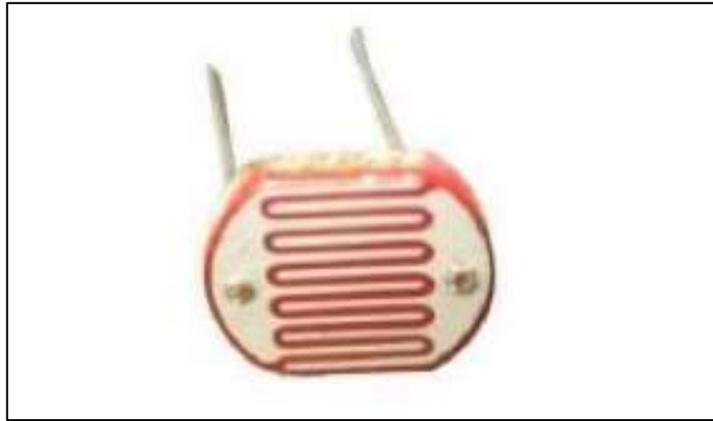
Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-umidade-do-solo-higrometro/>, 2022.

Ele utiliza duas sondas para passar a corrente através do solo e faz leitura de resistência para obter o nível de umidade ideal e pode comunicar com a placa microcontrolada do Arduino.

1.12.4 Sensor de luminosidade LDR

O sensor de luminosidade LDR (*Light Dependent Resistor* - Resistor Dependente de Luz) assim como mostra na Figura 1.13, segundo Mcroberts (2011), é um componente cuja resistência pode variar de acordo com a intensidade da luz, ou seja, quanto maior a intensidade da luz sobre ele, menor a resistência e quando menor for a intensidade da luz maior sua resistência.

Figura 1.13 - Sensor LDR



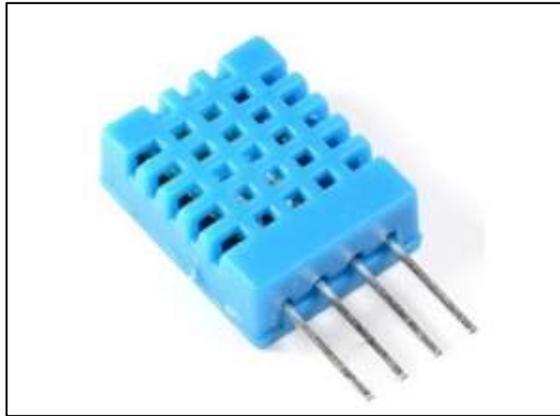
Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-luminosidade-ldr-5mm/>, 2022.

Desta forma o sensor pode ser utilizado em projetos com Arduino e outros microcontroladores.

1.12.5 Sensor de temperatura e umidade DHT11

O sensor de temperatura e umidade DHT11 como ilustrado na Figura 1.14 é um sensor que contém uma saída de sinal digital calibrada da temperatura e humidade, permitindo fazer leituras de temperatura entre 0 °C a 50 °C e umidade entre 20 a 90%. O sensor inclui uma sensação resistiva, ou seja, são sensores de temperatura geralmente obtidos a partir de um metal puro (ou ligeiramente dopado) cuja resistência aumenta com o aumento de temperatura (coeficiente de temperatura positivo) e de componentes húmidos e um dispositivo de medição de temperatura NTC (*Negative Temperature Coefficient* – Coeficiente de Temperatura Negativo), e conectado a um microcontrolador de 8 bits de alto desempenho (FILIFEFLOP, 2022).

Figura 1.14 - Sensor de Umidade e Temperatura DHT11



Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-umidade-e-temperatura-dht11/>, 2022.

A aplicação de uma tecnologia dedicada de coleta de módulos digitais e da tecnologia de detecção de temperatura e humidade, para garantir que o produto tenha alta confiabilidade e excelente estabilidade a longo prazo.

1.13 Bomba d'água

Bomba de água é um equipamento indispensável atualmente para as estufas. De acordo Barbosa (2021) com existem diversos tipos de bombas, que desempenham suas funções de maneira diferente e realizam a função de transferir a água de um lugar para o outro. A bomba de água pode ser utilizada no abastecimento de caixas d'água, sistemas de irrigação, dentre outras aplicações e em casos de irrigação é utilizado também componentes elétricos que medem a vazão da água.

Como podemos observar na Figura 1.15, a Bomba do tipo submersa é capaz de impulsionar até 300 litros de água por hora.

Figura 1.15 - Bomba d'água



Fonte: https://www.goldensun.com.br/MLB-1906449823-bomba-bombinha-submersa-fonte-aquario-bebedouro-hbo-bivolt-_JM, 2022.

Especificações técnicas:

- Modelo HBO-300;
- Potência de 3 W;
- Elevação do líquido até 60 cm;
- Tensão de 110-220 V

1.14 MQTT

O MQTT (*MQ Telemetry Transport* - Transporte de telemetria) foi criado em meados de 1999 por Andy Stanford-Clark (IBM) e Arlen Nipper (*Eurotech*). Trata-se de um protocolo de mensagens baseado na arquitetura *publish/subscribe* (publica/assina), voltado para dispositivos restritos e redes inseguras, com baixa largura de banda e alta latência, além de ser altamente utilizado em aplicações de IoT.

O protocolo MQTT (*MQ Telemetry Transport* - Transporte de telemetria) adota o protocolo TCP e o padrão *Publisher/subscriber* (publicador/assinante), onde todos os dados são enviados para um intermediário, chamado *broker*, que se encarrega de enviar as mensagens aos destinatários corretos. Esta estrutura permite desacoplar o produtor do cliente, assim, apenas o endereço do *broker* precisa ser conhecido,

possibilitando a comunicação de um para um (*one-to-one*), um para muitos (*one-to-many*) ou muitos para muitos (*many-to-many*), como podemos observar na Figura 1.16 (TORRES; ROCHA; SOUZA, 2016).

Figura 1.16 – Tipos de distribuição de mensagem suportados pelo protocolo MQTT



Fonte: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wperformance/article/view/9727/9623>, 2022.

2 METODOLOGIA

Neste capítulo encontra-se a trajetória para o desenvolvimento e construção do projeto intitulado Sistema de Automação para Estufa Agrícola, trata-se de uma pesquisa aplicada que é desenvolvida nas dependências da FATEC São Bernardo do Campo e nas residências dos integrantes do grupo.

2.1 O que é metodologia

De acordo com Severino (2013) metodologia é a preparação metódica e planejada de um trabalho científico que supõe uma sequência de etapas que compreende:

- Tema-problema e justificativa;
- Levantamento bibliográfico;
- Leitura e estudo da bibliografia após seleção;
- Construção do projeto;
- Redação do Texto.

Qualquer pesquisa de cunho científico possui sua base em fundamentos teóricos, com citações e *sites* de autores renomados, fazendo com que a teoria tenha um corpo de conhecimentos renomado (VIANNA, 2001).

A construção da redação do TCC tem como base o Manual de Normalização de Projeto de Trabalho de Graduação da FATEC - SBC (2017) que se encontra embasado nas normas da ABNT.

2.2 Tema-problema e justificativa

O tema-problema surgiu através de pesquisas e conhecimentos adquiridos em aulas. Sabe-se que no Brasil e em outros países de clima tropical e subtropical as temperaturas elevadas são o desafio da agroindústria, pois afetam a qualidade do produto, e em resposta a esse risco o cultivo em ambientes protegidos é uma ótima

opção. O cultivo protegido, ou seja, em estufas, permite o controle de variáveis climáticas, bem como de pragas e doenças.

Diante das explicações dadas o presente projeto intitulado Sistema de automação para Estufa Agrícola tem por finalidade controlar variáveis climáticas, como temperatura, umidade e luminosidade propiciando um melhor desenvolvimento das plantações, facilitando e agilizando o cultivo e a comercialização, melhorando o produto e a economia do país.

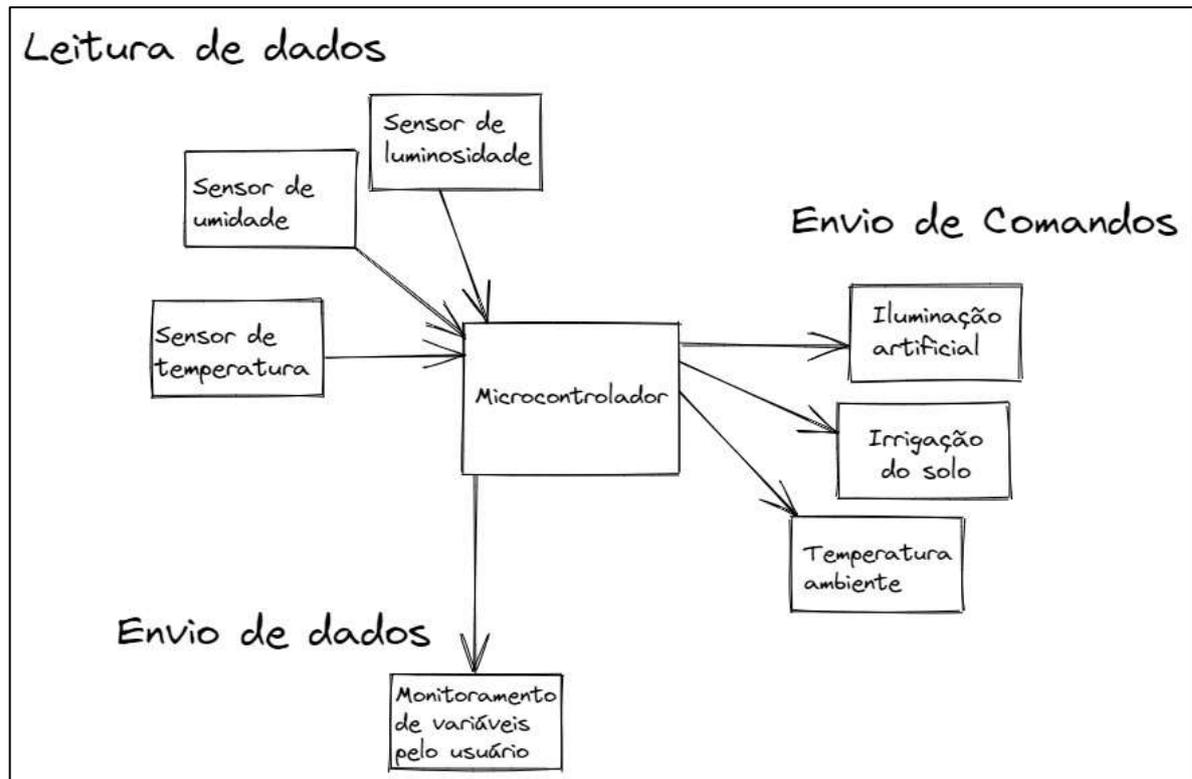
2.3 Descrição do projeto

A ideia do projeto é a elaboração de uma estufa para controlar o ambiente em que as plantações se encontram. No interior desta estufa, o controle será feito por um sistema que integra de *hardware* e *software*.

O sistema propõe-se a controlar a luminosidade do ambiente e a umidade do solo, além de prover ao usuário a possibilidade do monitoramento da temperatura e umidade interna da estufa e da umidade do solo. Com isso, conforme a luminosidade diminui é acionada uma lâmpada que proverá um comprimento de onda de iluminação artificial para que as condições ideais para o plantio se mantenham, atrelado a isso há uma medida constante dos valores de umidade do solo, ou seja, caso o sensor detecte que o solo está seco, ele enviará um sinal ao microcontrolador para que seja acionada uma bomba de água para efetuar a irrigação do solo até que o mesmo volte as condições ideais.

Para o desenvolvimento do projeto foi construída uma arquitetura do sistema, apresentada na Figura 2.1:

Figura 2.1 - Arquitetura do Sistema



Fonte: Autoria Própria, 2022

O controle será efetuado pelo Microcontrolador, que receberá as informações do sistema controlado (umidade do ar e o solo, temperatura, luminosidade) e por comando do *software* de controle especificamente desenvolvido para esta aplicação, enviará sinais de controle para os atuadores, provocando ações de controle de temperatura, irrigação do solo e acionamento de iluminação artificial. O Microcontrolador, auxiliado por um dispositivo de comunicação sem fio, também proverá uma comunicação com um dispositivo móvel para permitir o monitoramento das ações do sistema de controle, por um operador humano.

2.4 Etapas de desenvolvimento do projeto

Após definição do tema e sua respectiva justificativa, são detalhadas as etapas do projeto:

- **Primeira Etapa:** Escolha do orientador para auxiliar no desenvolvimento do projeto e apresentação do tema;

- **Segunda Etapa:** Pesquisa bibliográfica sobre o tema em *sites*, livros artigos e materiais da internet;
- **Terceira Etapa:** Elaboração da fundamentação teórica a partir de estudos e seleção do material;
- **Quarta Etapa:** Pesquisar os equipamentos, dispositivos e materiais necessários para a construção do protótipo. Desenvolvido no 6º semestre;
- **Quinta Etapa:** Montagem do protótipo, testes e resultados, por fim o desenvolvimento das considerações finais do projeto. Desenvolvido no 6º semestre.

2.5 Cronograma das etapas

A seguir é apresentado na Figura 2.2 o cronograma de execução das atividades pertinentes ao projeto:

Figura 2.2 - Cronograma

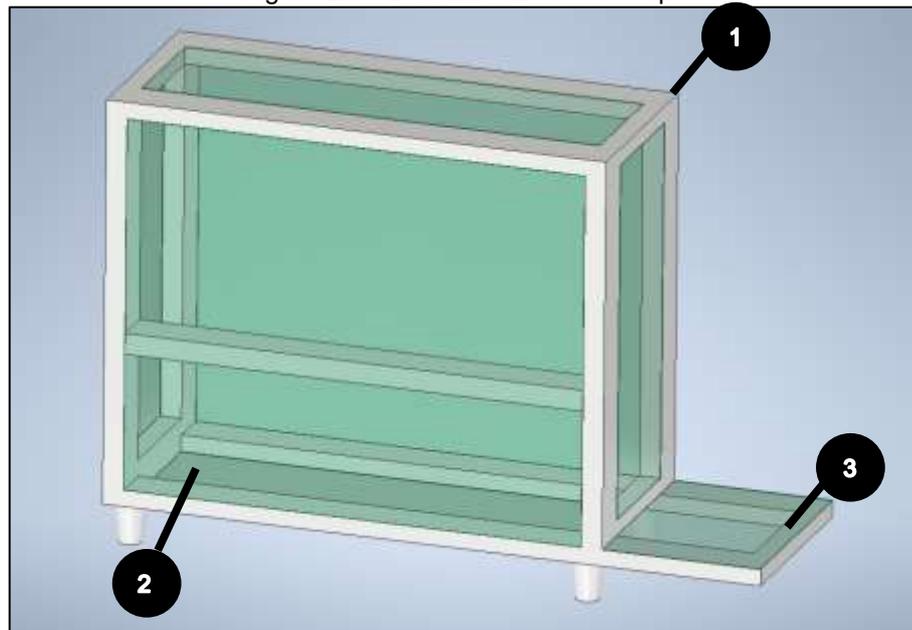
ATIVIDADES	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Definição do Grupo	Programada										
Definição do Tema do projeto	Programada	Programada									
Escolha do Orientador	Programada	Programada									
Pesquisa Bibliográfica		Realizada	Realizada	Realizada	Realizada	Realizada	Realizada	Realizada	Realizada	Realizada	
Desenvolvimento da Monografia		Realizada	Realizada	Realizada	Realizada	Realizada	Realizada	Realizada	Realizada	Realizada	
Apresentação para Banca Examinadora					Realizada						Realizada
Seleção de Material para o protótipo				Realizada	Realizada	Realizada	Realizada	Realizada			
Construção do Projeto					Realizada	Realizada	Realizada	Realizada	Realizada	Realizada	
Testes do Protótipo									Realizada	Realizada	
Legenda	Programada								Realizada		

Fonte: Autoria Própria, 2022.

2.6 Esboço do protótipo

Após muitos estudos, elaborou-se um esboço para ilustrar a forma construtiva do protótipo conforme a Figura 2.3 As dimensões do protótipo serão de 1,1 m de comprimento, por 0,3 m de largura e 0,55 m de altura:

Figura 2.3 - Desenho 3D do Protótipo



Fonte: Autoria Própria, 2022.

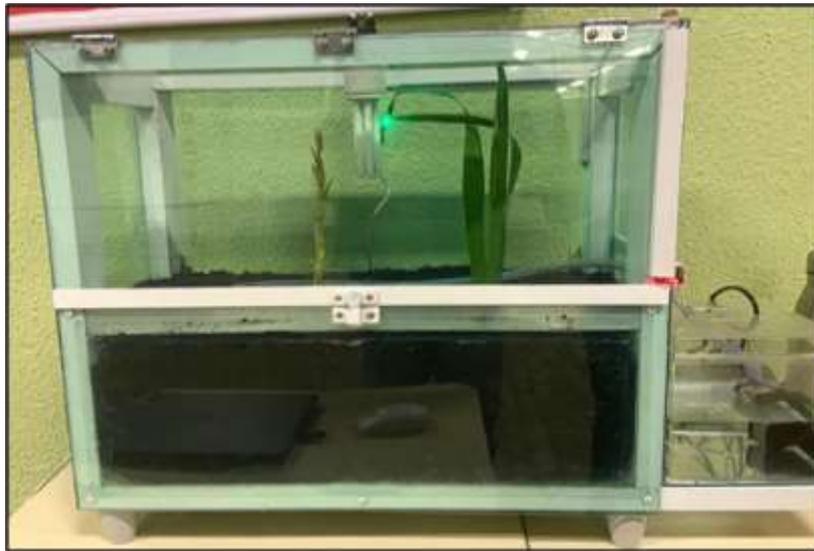
Os principais elementos que compõem o protótipo ilustrado na Figura 2.3 são descritos a seguir:

1. **Estufa:** Estão reunidos todos os sensores para controlar a umidade, temperatura e luminosidade;
2. **Espaços para o plantio:** Espaço onde ficarão as plantas devidamente aterradas;
3. **Espaço para os componentes eletrônicos e reservatório de água:** Espaço onde ficarão tanto os componentes eletrônicos que não necessitam estar dentro da estufa, como o reservatório de água do sistema de irrigação.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Neste capítulo encontra-se passo a passo do desenvolvimento e construção do projeto que se intitula Sistema de Automação para Estufa Agrícola. Para melhor compreensão e visualização do projeto a Figura 3.1 ilustra o mesmo em sua forma finalizada.

Figura 3.1 – Projeto finalizado



Fonte: Autoria Própria, 2022.

O projeto inicia-se com a estrutura da estufa feita de tubos de alumínio, no qual em seu interior ficarão as plantas, o aterramento e alguns sensores. Outros componentes eletrônicos se encontram na área externa a estufa. Os valores obtidos pelos sensores são enviados ao aplicativo possibilitando realizar a supervisão.

O desenvolvimento e construção do projeto estão amparado nos seguintes tópicos:

- Montagem da estrutura mecânica e eletrônica;
- Configuração e programação do ESP32;
- Desenvolvimento do aplicativo móvel;
- Testes de verificação e integração das partes;
- Obstáculos e soluções.

3.1 Montagem da estrutura mecânica e eletrônica

A primeira etapa de desenvolvimento do projeto se deu pela montagem da estrutura da estufa, construída a partir de tubo de alumínio branco, fixadas entre si com rebites e placas de policarbonato totalizando uma estufa de 60 cm de comprimento, 25 cm de largura e 48 cm de altura, o suficiente para que suporte a área da plantação, já a área dos componentes, possui uma largura de 25 cm e um comprimento de 19 cm, além dos componentes nessa área ficará também o reservatório de água que possui capacidade de 3 L. Na Figura 3.2 pode-se observar em detalhes a estrutura da estufa após sua concepção.

Figura 3.2 – Estrutura da estufa



Fonte: Autoria Própria, 2022.

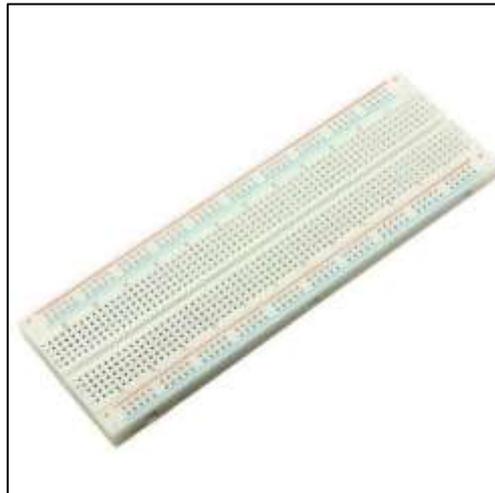
A segunda etapa foi desenvolvida a parte eletrônica do projeto, onde serão abordados todos os componentes utilizados no protótipo, discutindo suas aplicações no projeto. Os componentes do sistema são: um microcontrolador ESP32, resistores, cabos jumper, protoboard, sensores, fios elétricos, bomba, relé e demais componentes necessários.

O microcontrolador ESP32 junto com a placa microcontrolada Arduino constitui a base do projeto, sendo responsável por toda a programação do *software*, desde a

leitura dos sensores até o controle da estufa. A estufa possui também diversos sensores como o LDR que foi instalado no interior da estufa, em local onde pode receber luz solar, o sensor DHT11 foi instalado também no interior da estufa, para monitorar a temperatura e umidade do ar e o último sensor utilizado foi o FC-28 um sensor de umidade do solo do tipo resistivo, que se encontra enterrado.

Foram utilizados também objetos como a *protoboard* que é uma peça de plástico perfurada em que são conectados os componentes eletrônicos, tendo-se por baixo da perfuração pequenas tiras de um condutor metálico, é possível observar a protoboard na Figura 3.3.

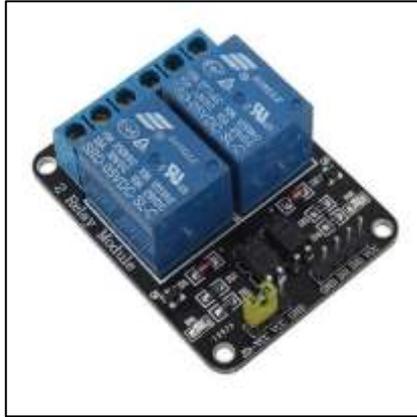
Figura 3.3 – Protoboard de 830 furos



Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/protoboard-830-pontos/>, 2022.

No processo de irrigação o principal componente é a bomba d'água, que é responsável pelo fluxo de água do reservatório até a área de plantio. Para o controle da lâmpada e da irrigação foi utilizado um módulo relé de dois canais como podemos observar na Figura 3.4.

Figura 3.4 – Módulo Relé, 2 canais



Fonte: <https://www.baudaeletronica.com.br/modulo-rele-5v-2-canais.html>, 2022.

3.2 Programação do Arduino

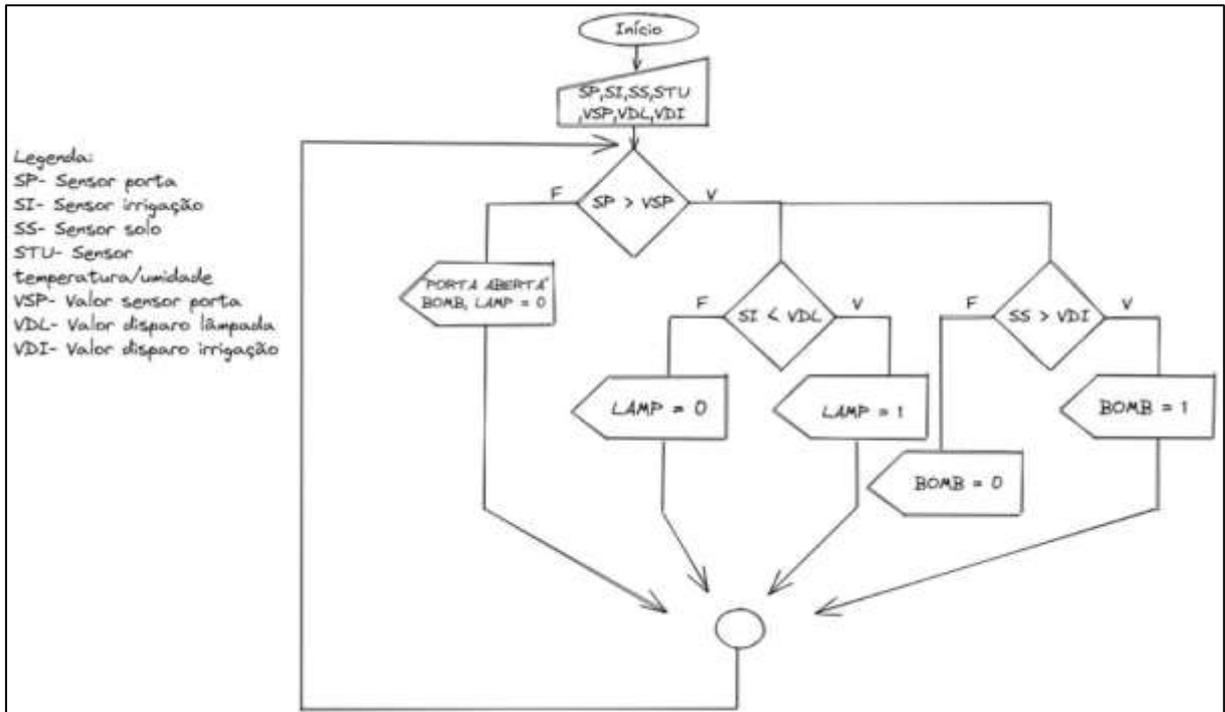
A terceira etapa do desenvolvimento refere-se à configuração e ao desenvolvimento da programação da placa Arduino, utilizando o Arduino IDE.

Para que o sistema da estufa funcione de modo correto, foi necessária uma divisão de tarefas entre dois microcontroladores, onde um deles será responsável pelas medições e acionamentos do projeto, enquanto o outro será designado para a comunicação sem fio e para o envio de dados ao *broker* via protocolo MQTT. Tendo este cenário em mente, iremos mostrar o código da placa Arduino e em seguida o código do ESP32, com seus respectivos descritivos funcionais.

Os códigos de programação que são utilizados dentro da aplicação são baseados na linguagem de programação C++ que é a forma padrão de escrita de linhas de código dentro do Arduino IDE levando em consideração todo o *hardware* que foi apresentado ao decorrer do desenvolvimento e as funcionalidades que deveriam existir dentro do projeto, foi possível criar um código simples e funcional para o funcionamento da estufa.

Na Figura 3.5, é possível observar o fluxograma demonstrando de forma simplificada e fácil de visualizar, o funcionamento da programação feito.

Figura 3.5 – Fluxograma de funcionamento



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Inicialmente foi definido na programação a inclusão de duas bibliotecas, chamadas de “dht.h” e “SoftwareSerial.h”, estes itens são respectivamente responsáveis por incluir funções específicas relacionadas aos processos de medição de temperatura e umidade relativa do ar através do sensor DHT11 e possibilitar o uso de qualquer porta do microcontrolador como um ponto de recepção e transmissão de dados via comunicação serial. Como podemos observar na Figura 3.6.

Figura 3.6 – Bibliotecas Arduino

```

//inclusão de bibliotecas
#include "dht.h"
#include "SoftwareSerial.h"
  
```

Fonte: Autoria Própria, 2022.

Após isso foi feita a definição de pinos dentro das linhas de código, com o intuito de facilitar o entendimento do código, onde foi atribuído a um pino o nome de sua função, ou seja, para o pino do microcontrolador responsável pela leitura do valor emitido pelo sensor de luminosidade foi definido o nome de

“pino_sinal_analogico_sensor_luminosidade”, para que ao utilizá-lo durante a programação, fique claro a função deste item. Na Figura 3.7 é possível observar a declaração dos pinos.

Figura 3.7 – Declaração dos pinos

```
//define os pinos analógicos e digitais e seus respectivos nomes
#define pino_sinal_analogico_sensor_solo A3
#define pino_sinal_analogico_sensor_ambiente A2
#define pino_sinal_analogico_sensor_luminosidade A1
#define pino_sinal_analogico_sensor_porta A0
#define pino_saida_rele_lampada 2
#define pino_saida_rele_bomba 3
```

Fonte: Autoria Própria, 2022.

Em seguida podemos observar na Figura 3.8 que o código é utilizado para a criação de variáveis com o intuito de armazenar os valores lidos pelos sensores, ou estabelecer um valor fixo para a variável, como por exemplo as variáveis de disparo dos relés.

Figura 3.8 – Criação de variáveis

```
//Criação de variáveis para armazenagem de valores
int valor_analogico_sensor_porta;
int valor_analogico_sensor_solo;
int valor_analogico_sensor_ambiente;
int valor_analogico_sensor_luminosidade;
int valor_disparo_iluminacao = 2800;
int valor_disparo_irrigacao = 100;
int valor_seguranca_porta = 900;
dht DHT;
SoftwareSerial portaserial(7,8);
```

Fonte: Autoria Própria, 2022.

Dentro do “*void setup*” como podemos observar na Figura 3.9, que é o *loop* responsável dentro do programa por predefinir alguns tipos de informação, há a definição de pinos de entrada e saída da placa Arduino que foi utilizada, sendo assim, os pinos descritos na imagem como “*input*” (entrada) e “*output*” (saída) são respectivamente os pinos de entrada e saída da placa, vale ressaltar que para nossa aplicação temos a utilização de quatro entradas analógicas e duas saídas digitais,

sendo importante destacar que dentro das linhas de código não há uma especificação sobre os pinos para defini-los como analógicos ou digitais, o que os diferencia é a possibilidade daquele pino receber ou não informações digitais ou analógicos, além disso neste “*setup*” também é definido o início da comunicação serial para o monitoramento de informações via “monitor serial” e da “portaserial” que é utilizada na transmissão de dados do Arduino para o ESP32.

Figura 3.9 – *Void setup*

```
void setup()
{
  delay(2000);
  pinMode(pino_sinal_analogico_sensor_solo, INPUT);
  pinMode(pino_sinal_analogico_sensor_ambiente, INPUT);
  pinMode(pino_sinal_analogico_sensor_luminosidade, INPUT);
  pinMode(pino_sinal_analogico_sensor_porta, INPUT);
  pinMode(pino_saida_rele_lampada, OUTPUT);
  pinMode(pino_saida_rele_bomba, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  portaserial.begin(9600);
  delay(2000);
}
```

Fonte: Autoria Própria, 2022.

Com o *void setup* finalizado há a definição do *void loop* como podemos observar na Figura 3.10, aqui foi criado a lógica por trás do funcionamento da estufa, inicialmente há uma leitura sobre o estado do sensor de porta da estufa, esta leitura funciona como uma espécie de verificação de segurança, onde após a porta estar fechada a estufa entrará em funcionamento, assim sendo, podemos considerar que apenas com o fechamento completo da porta, os processos de leitura das variáveis internas e os acionamentos das saídas serão possíveis.

Figura 3.10 – Void loop

```

void loop()
{
  //Leitura do estado do sensor da porta
  valor_analogico_sensor_porta = analogRead(pino_sinal_analogico_sensor_porta);
  Serial.println(valor_analogico_sensor_porta);
  delay(2000);

  if(valor_analogico_sensor_porta>valor_seguranca_porta)

```

Fonte: Aatoria Própria, 2022.

Após a confirmação da condição inicial, temos o início da leitura das variáveis e a atribuição delas aos valores criados anteriormente, com os valores alocados, eles serão posicionados no monitor serial para que haja um acompanhamento das medidas pelo usuário, como podemos observar na Figura 3.11.

Figura 3.11 – Leitura das variáveis

```

if(valor_analogico_sensor_porta>valor_seguranca_porta)
{
  //Le os valores dos pinos A0, A1 e A2 dos sensores de solo, ambiente e luminosidade
  valor_analogico_sensor_solo = analogRead(pino_sinal_analogico_sensor_solo);
  //valor_analogico_sensor_ambiente = analogRead(pino_sinal_analogico_sensor_ambiente)
  DHT.read11(pino_sinal_analogico_sensor_ambiente);
  //valor_analogico_sensor_luminosidade = analogRead(pino_sinal_analogico_sensor_luminosidade)
  valor_analogico_sensor_luminosidade = analogRead(pino_sinal_analogico_sensor_luminosidade);

  //Mostra o valor das portas analógicas no serial monitor
  Serial.print("Porta analogica A0: ");
  Serial.print(valor_analogico_sensor_solo);
  Serial.println(" Porta analogica A1: ");
  Serial.print("Umidade: ");
  Serial.print(DHT.humidity);
  Serial.print("%");
  Serial.print(" / Temperatura: ");
  Serial.print(DHT.temperature, 0);
  Serial.println("°C");
  Serial.print("Porta analogica A2: ");
  Serial.println(valor_analogico_sensor_luminosidade);
  delay(2000);

```

Fonte: Aatoria Própria, 2022.

Com a medição realizada, o código será responsável por escrever na “portaserial” os valores que foram medidos, neste caso há a necessidade de que a cada nova escrita de valor seja enviado um caractere especial, com o intuito de indicar o fim da mensagem ao receptor. Como podemos observar na Figura 3.12.

Figura 3.12 – Escrita dos valores medidos

```

portaserial.println(valor_analogico_sensor_solo);
portaserial.println(";");

portaserial.print(DHT.humidity);
portaserial.println("%");
portaserial.println(":");

portaserial.print(DHT.temperature, 0);
portaserial.println("*C");
portaserial.println(",");

```

Fonte: Autoria Própria, 2022.

Com as variáveis lidas é possível o início das comparações, como mostra a Figura 3.13 para a ação dos atuadores, os acionamentos são disparados após uma comparação entre o valor medido atualmente e um valor fixo que é parametrizado como uma variável de disparo no início do código.

Figura 3.13 – Comparações

```

//Logica de acionamento dos atuadores (lampada e bomba)
if(valor_analogico_sensor_luminosidade<valor_disparo_iluminacao)
{
  digitalWrite(pino_saida_rele_lampada, HIGH);
}
else
{
  digitalWrite(pino_saida_rele_lampada, LOW);
}

if(valor_analogico_sensor_solo>valor_disparo_irrigacao)
{
  digitalWrite(pino_saida_rele_bomba, HIGH);
}
else
{
  digitalWrite(pino_saida_rele_bomba, LOW);
}

```

Fonte: Autoria Própria, 2022.

Por fim temos uma condição “se não” que está atrelada a comparação inicial do sensor de porta, neste caso estas linhas são responsáveis por informar ao usuário via monitor serial que a porta está aberta e garantir que os acionamentos estão sempre em nível lógico 0, ou seja, desligados enquanto a porta estiver aberta. Como podemos observar na Figura 3.14.

Figura 3.14 – E/se Arduino

```
else
{
  Serial.println("Porta Aberta !!");
  digitalWrite(pino_saida_rele_lampada, LOW);
  digitalWrite(pino_saida_rele_bomba, LOW);
}
```

Fonte: A autoria Própria, 2022.

Após este passo a programação retorna ao início do “void loop”, para refazer toda varredura das linhas de código e executar as funções de acordo com as mudanças que forem acontecendo.

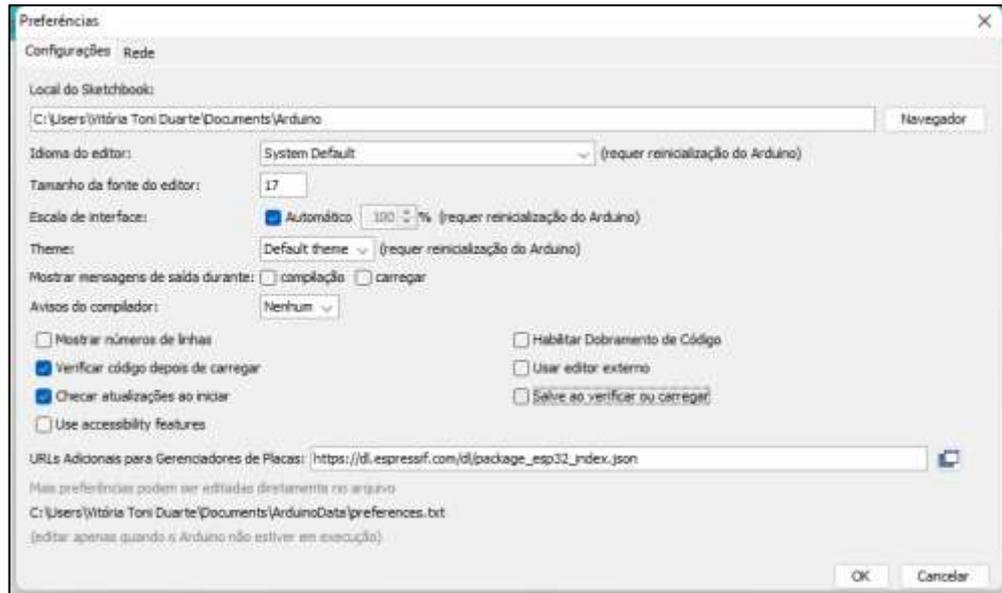
3.3 Configuração e programação do ESP32

Com a necessidade de uma comunicação com a rede de internet para o compartilhamento dos dados coletados pela estufa, foi necessário o uso do microcontrolador ESP32, que será o responsável por coletar e tratar os dados recebidos do ARDUINO via comunicação serial e encaminhá-los via protocolo MQTT para o aplicativo de monitoramento.

Para a programação do ESP32 também foi utilizado a plataforma Arduino IDE, porém antes de começar a programar é necessário configurar a plataforma para utilizar o microcontrolador ESP32, como mostraremos a seguir.

De início é necessário abrir o programa para iniciar a configuração. Com a janela do Arduino IDE aberta, clica-se na aba “arquivo”, e logo após em “preferências”, a tela de preferências é aberta para realizarmos as configurações. Na Figura 3.15 pode-se observar a aba de preferências.

Figura 3.15 – Aba preferências

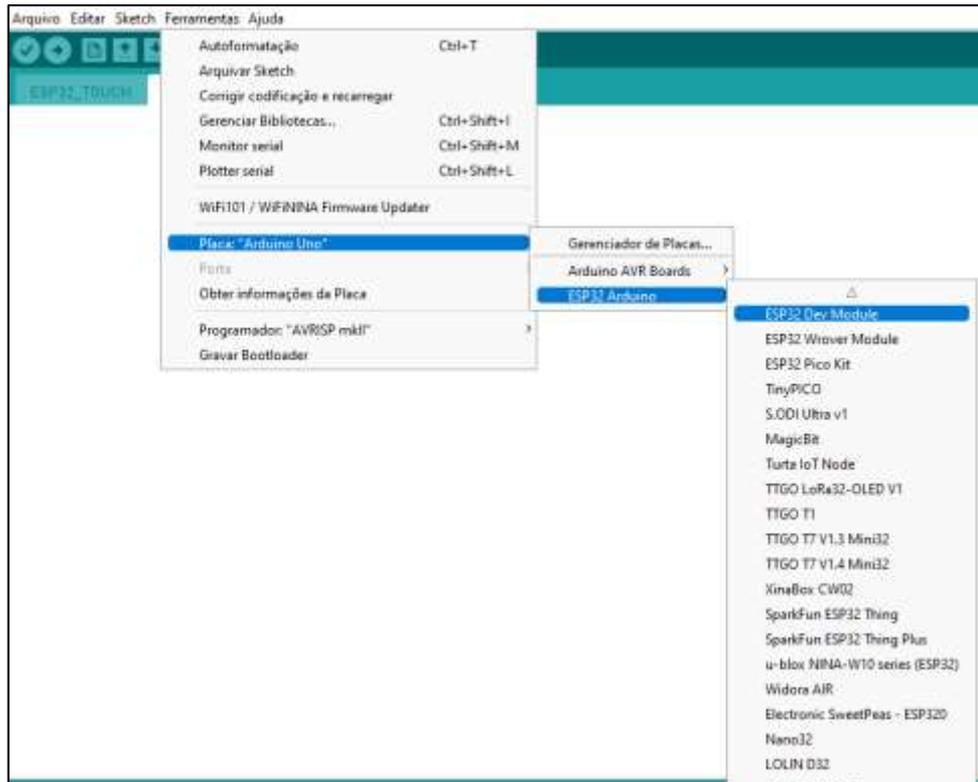


Fonte: Autoria Própria, 2022.

Na parte inferior da aba, há uma de texto descrita como “URLs adicionais para Gerenciadores de Placas”, nessa aba adicionasse o endereço que é disponibilizado pela *Espressif* para que o microcontrolador seja utilizado na plataforma do Arduino, podemos observar o endereço como segue “https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json”.

Em seguida como mostra a Figura 3.16 é selecionado a aba “ferramentas” e depois a aba “Arduino Uno”, as placas que estiverem no seu Arduino serão apresentadas, no caso é possível observar apenas dois tipos de placas o Arduino e o ESP32, selecionaremos então a placa que desejamos que é a ESP32 e aparecerá uma lista de modelos desse microcontrolador e selecionaremos o “ESP32 Dev Module”, com todas as etapas finalizadas e o *software* configurado, inicia-se a programação do microcontrolador.

Figura 3.16 – Configuração do Arduino IDE



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Para este código, inicialmente foi necessário a inclusão de algumas bibliotecas como mostra a Figura 3.17, as bibliotecas “*SoftwareSerial.h*”, “*ESP8266Wifi.h*” e “*PubSubClient.h*”, que são respectivamente responsáveis por habilitar a inclusão de portas seriais adicionais via software, incluir funções e ações relacionadas ao módulo de comunicação sem fio nativo do ESP e habilitar funções de comunicação do protocolo MQTT.

Figura 3.17 – Bibliotecas ESP32

```
//inclusão de bibliotecas
#include "SoftwareSerial.h"
#include "ESP8266WiFi.h"
#include "PubSubClient.h"
```

Fonte: Autoria Própria, 2022.

Em seguida temos as definições iniciais do programa, como podemos observar na Figura 3.18, onde definiremos a qual rede iremos conectar nosso dispositivo e a senha da mesma, além disso configuramos as principais informações do protocolo MQTT, com a definição de um broker, da porta de comunicação e dos tópicos a serem criados.

Figura 3.18 – Definições iniciais

```
//Define as configurações de rede iniciais
#define NET_SSID "HELLO"
#define NET_PASSWORD "Ysm1814#Sno?"

//Define as configurações do MQTT
#define MQTT_ID "TCC-ESTUFA-ESP32"
#define MQTT_BROKER "broker.hivemq.com"
#define MQTT_PORT 1883
#define MQTT_TOPICO_PORTA "fatec_estufa_felipe_porta"
#define MQTT_TOPICO_TEMPERATURA "fatec_estufa_felipe_temperatura"
#define MQTT_TOPICO_UMIDADE "fatec_estufa_felipe_umidade"
#define MQTT_TOPICO_UMIDADE_SOLO "fatec_estufa_felipe_umidade_solo"
```

Fonte: Autoria Própria, 2022.

Após este processo, são definidos os nomes dos clientes para o ESP, tanto de rede quanto MQTT. Além disso temos a definição da porta serial que será gerada via *software* “Minhaserial” e a criação de variáveis do tipo “char” para o armazenamento de informações. Como mostra a Figura 3.19.

Figura 3.19 – Nomes dos clientes e definição porta serial

```
WiFiClient espClient; //Cliente de rede
PubSubClient MQTT(espClient); //Cliente MQTT
SoftwareSerial Minhaserial(D6,D7);
String comando;
char temperatura[10] = "";
char umidade[10] = "";
char umidade_solo[10] = "";
char porta_[10] = "";
```

Fonte: Autoria Própria, 2022.

Em seguida temos a criação do “*void setupWIFI*”, como mostra a Figura 3.20, que será uma rotina de conexão à rede *Wi-fi*, esta sub-rotina será chamada durante o programa para que haja a conexão da rede.

Figura 3.20 – Criação do *void setupWIFI*

```
//Configura a conexão à rede sem fio
void setupWIFI() {

    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED)
        return;

    Serial.println();
    Serial.print("Connecting to ");
    Serial.println(NET_SSID);

    WiFi.begin(NET_SSID, NET_PASSWORD);

    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }

    Serial.println("");
    Serial.println("WiFi conectado");
    Serial.println("IP address: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());
}
```

Fonte: Autoria Própria, 2022.

Com o “*void*” de conexão à rede criado, também se faz necessária a criação de uma outra sub-rotina de conexão, essa sim voltada a conexão MQTT, onde o microcontrolador se conectará ao broker pré-definido, como podemos observar na Figura 3.21.

Figura 3.21 – Criação do *void setupMQTT*

```

//Configura a conexão MQTT
void setupMQTT() {
  MQTT.setServer(MQTT_BROKER, MQTT_PORT); //informa qual broker e porta deve ser conectado
  while (!MQTT.connected())
  {
    Serial.print("**Tentando se conectar ao Broker MQTT: ");
    Serial.println(MQTT_BROKER);
    if (MQTT.connect(MQTT_ID))
    {
      Serial.println("Conectado com sucesso ao broker MQTT!");
    }
    else
    {
      Serial.println("Falha ao reconectar no broker.");
      Serial.println("Havera nova tentativa de conexao em 2s");
      delay(2000);
    }
  }
}

```

Fonte: Autoria Própria, 2022.

Durante o “*void setup*”, como podemos observar na Figura 3.22, teremos o início de todos os comandos a serem executados, aqui será dado início a comunicação serial do monitor serial e da porta “Minhaserial”, além de que os processos de conexão *WIFI* e *MQTT* são convocados para execução.

Figura 3.22 – Criação do *void setup*

```

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Minhaserial.begin(9600);
  setupWIFI();
  setupMQTT();
}

```

Fonte: Autoria Própria, 2022.

Já no “*void loop*”, ou seja, o código que realmente ficará em execução temos a definição de como devemos fazer as leituras dos valores recebidos via comunicação serial, para isso há uma verificação inicial com o comando “*Minhaserial.available()*”, isso nos permite apenas dar prosseguimento na condição, caso a porta serial realmente esteja recebendo informações, como mostra a Figura 3.23. Após este processo temos uma série de comparações onde foi a dotada a seguinte lógica, para

determinar que uma mensagem chegou ao seu fim, o Arduino enviará um caractere especial, sendo assim, estamos criando um “*stop bit*”, ou seja, um bit que determina o final de uma mensagem, dessa forma o microcontrolador ESP saberá exatamente o que fazer com as informações recebidas a depender de seu bit final, com esta informação os dados são convertidos e publicados nos tópicos correspondentes.

Figura 3.23 – Criação do *void loop*

```
void loop(void)
{
  if(Minhaserial.available()){
    MQTT.publish(MQTT_TOPICO_PORTA, "PORTA FECHADA!");
    char recebido = Minhaserial.read(); // LER 1 CARACTER POR VEZ
    comando = comando + recebido; // ADICIONAR NA STRING
    |
    //Comparação de leitura do valor de umidade de solo
    if (recebido == ';') { // CONFERIR SE TERMINOU O COMANDO
      Serial.println("Recebido:");
      Serial.println(comando);
      comando.toCharArray(umidade_solo, 10);
      //sprintf(umidade_solo_str, "%d", comando);
      MQTT.publish(MQTT_TOPICO_UMIDADE_SOLO, umidade_solo);
      //MQTT.publish(MQTT_TOPICO_UMIDADE_SOLO, "umidade_solo_str");
      comando = "";
    }
    else {
      Serial.println("Não terminou ");
    }
  }
}
```

Fonte: Autoria Própria, 2022.

Por fim a condição se não, é responsável pela publicação da informação “Porta aberta” no tópico correspondente, isso acontece pois caso não haja comunicação na porta serial, esta condição representaria que a porta da estufa está aberta, por isso seu funcionamento é interrompido. Sendo assim, o programa retornaria ao “*void loop*”, até que as condições necessárias fossem verdadeiras. Como mostra a Figura 3.24.

Figura 3.24 – Criação *else*

```
else{  
    MQTT.publish(MQTT_TOPICO_PORTA, "PORTA ABERTA!");  
}  
  
}
```

Fonte: A autoria Própria, 2022.

3.4 Dispositivo Móvel

Neste tópico será abordado o desenvolvimento do sistema que utilizamos para monitorar a estufa, a partir de um aplicativo.

Para o desenvolvimento do aplicativo foi utilizado a plataforma MIT App Inventor, uma ferramenta de programação baseada em blocos que permite que qualquer um, comece a programar e construir aplicativos totalmente funcionais para dispositivos Android.

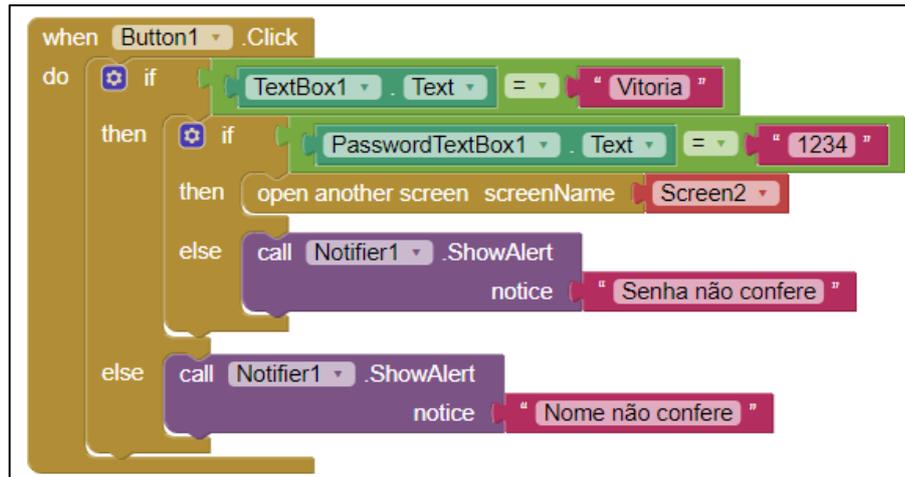
O aplicativo do projeto é composto por 3 telas sendo elas a tela de login, menu e monitoramento. A tela login é mostrada na inicialização do aplicativo, onde o usuário realiza o login, com isso o acesso ao aplicativo é liberado. Em seguida, o usuário é direcionado para a tela de menu em que o usuário terá as opções de sair da aplicação, ou ir para a tela de monitoramento, podemos observar essas duas telas na Figura 3.25.

Figura 3.25 – Telas login e menu



Fonte: Autoria Própria, 2022.

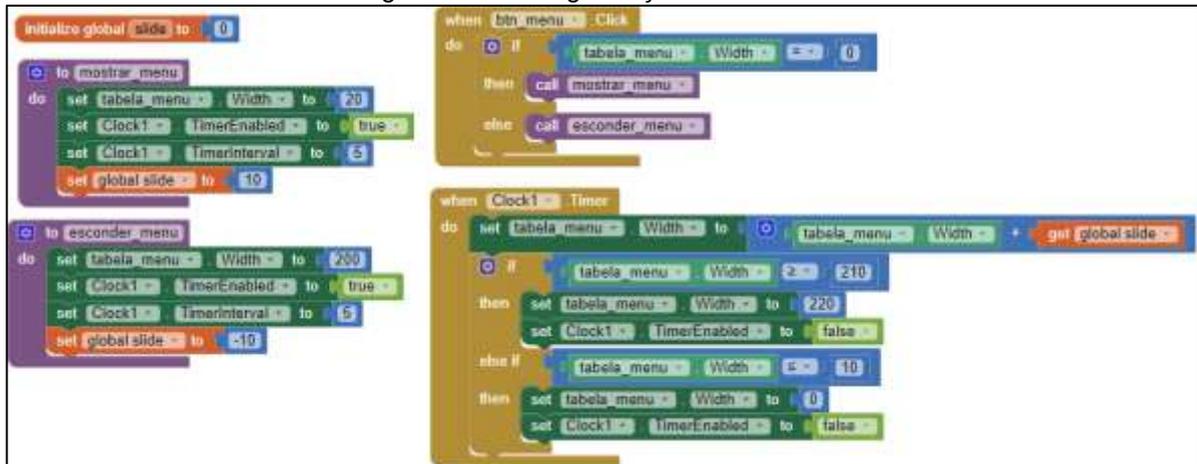
Para a tela de *login* foram criados dois *TextBox* que possibilitam que o usuário coloque seu login e sua senha, isso para que não acessem o aplicativo pessoas desautorizadas que liguem de forma desnecessária a lâmpada e o sistema de irrigação. Na Figura 3.26 é possível observar a programação em blocos da tela de login, foi programado apenas um único usuário denominado Vitoria, porém é possível criar mais caso seja necessário.

Figura 3.26 – Programação da tela *login*

Fonte: Autoria Própria, 2022.

Para a tela de menu seu início é constituído apenas por um desenho de uma estufa e o usuário que necessita ir a uma tela em específico clica no botão de menu, em que abrirá uma aba, contendo as telas que o usuário poderá acessar e a opção de sair do aplicativo. Na Figura 3.27 é possível observar a programação do botão menu, que abre e fecha a aba das telas.

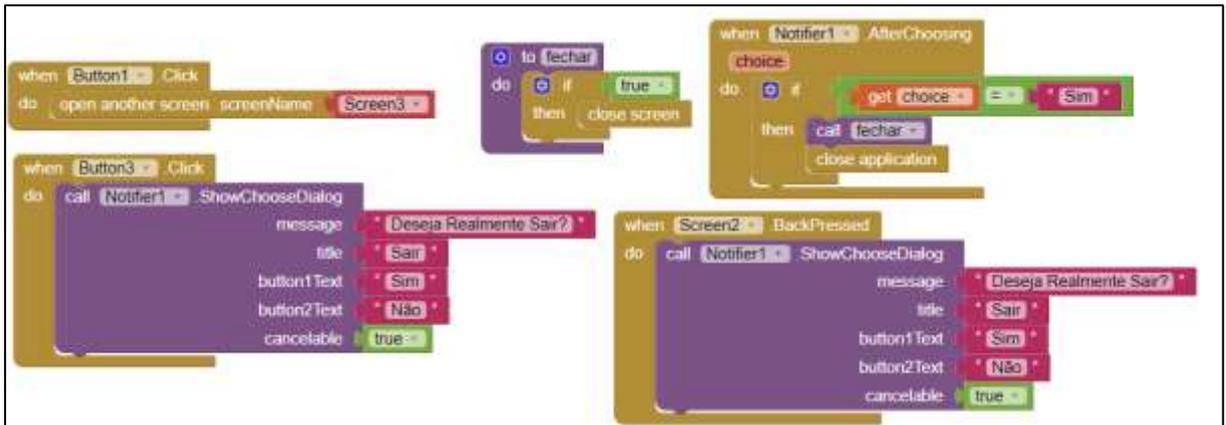
Figura 3.27 – Programação da tela menu



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Na Figura 3.28 mostra a programação dos 2 botões que estão na aba menu, que são eles, os botões de ir para a tela de monitoramento ou sair do aplicativo.

Figura 3.28 – Programação da aba menu



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Na tela de monitoria há uma supervisão em tempo real, dos valores obtidos por cada sensor e um aviso se a porta da estufa está aberta ou fechada. Podemos observar a tela na Figura 3.29.

Figura 3.29 – Tela monitoramento



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Para a tela de monitoramento, ela é constituída por 5 *TextBox*, em que será mostrado os valores recebidos pelos sensores, que são umidade do solo, umidade do ar, temperatura e se a porta está aberta ou fechada.

3.5 Comunicação

Com a programação e o dispositivo móvel concluídos, foi desenvolvido o mecanismo de comunicação entre a estufa e o mundo externo. Na IoT existem várias maneiras de fazer comunicação entre objetos conectados, como o *Device-to-Device*, *Device-to-Cloud*, *Device-to-Gateway* e *Back-End Data Sharing*. Para o projeto será utilizada a comunicação do tipo *Device-to-Cloud* e o protocolo de comunicação de rede MQTT.

A troca de mensagem é feita através do modelo *publish/subscriber*, em que os dados são enviados através de mensagens usando TCP. Os dados ficam armazenados em um broker e existem clientes conectados, o emissor então publica uma mensagem, assim que recebe a mensagem o broker encaminha a mensagem para os clientes conectados e interessados ao assunto.

3.6 Obstáculos e soluções

Durante o desenvolvimento e construção do projeto nos deparamos com alguns obstáculos que foram solucionados por meio de conhecimentos adquiridos por pesquisas, experiências profissionais ou até mesmo consultando professores.

A maior parte dos obstáculos que o grupo se deparou foi na parte mecânica, no início do projeto a equipe havia decidido que faria a estrutura da estufa de madeira, porém a estrutura ficou muito frágil e sem saída de água e isso faria com que as plantas morressem, já que as raízes sufocariam e a madeira acabaria mofando por estar sempre em contato com a água. O grupo então decidiu que o melhor a se fazer era mudar o material da estufa para tubos de alumínio e placas de policarbonato, com isso a estufa ficou bem mais resistente, com saída de água e sem perigo que as raízes sufoquem ou que o material mofe.

Outras dificuldades que foram encontradas, foi decidir como seria o caminho para abrir a porta da estufa, se seria de correr, de puxar e a equipe resolveu utilizar dobradiças, para que a porta fosse facilmente levantada, tivemos dificuldade também em dimensionar a estufa da melhor forma possível, para que coubesse tudo o que era necessário.

Por fim, a última dificuldade encontrada que foi possível solucionar com a ajuda de professores e conhecimentos adquiridos por pesquisas foi a dificuldade do ESP32, em realizar leituras analógicas. Ao conectar o ESP32 no Wi-Fi, os seus pinos são utilizados pelo módulo de rede, com isso não é possível utilizar alguns pinos para leitura analógica, como solução o grupo decidiu utilizar junto com o ESP32 o Arduino, ou seja, a partir da comunicação serial entre o Arduino e o ESP32, o Arduino irá realizar as leituras analógicas e comunicar para o ESP32.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a primeira revolução industrial, iniciou-se um amplo estudo em automatizar processos, esses processos têm aumentado e facilitado a produtividade e a confiabilidade, tendo em vista esse fato o trabalho desenvolvido buscou aumentar a produtividade da agricultura e melhorar o produto.

Este trabalho apresentou um protótipo de uma estufa automatizada utilizando conceitos de IoT, através da leitura de sensores, podendo controlar e monitorar os dados via aplicativo. O projeto intitulado Sistema de automação para estufa agrícola, teve como objetivo controlar variáveis climáticas, como temperatura, umidade e luminosidade, proporcionando um melhor desenvolvimento das plantações, facilitando e agilizando o cultivo e a comercialização, melhorando o produto, a produtividade e, conseqüentemente, a economia do país. Tal objetivo foi satisfatoriamente alcançado, visando que a estufa atua de forma automática controlando a temperatura, luminosidade e umidade.

Com o aumento da utilização de tecnologias em benefício do incremento das atividades humanas e de tudo aquilo que as cercam, houve uma redução da mão de obra para trabalhos repetitivos e frequentes. O protótipo foi pensado para facilitar o controle e monitoramento de estufas remotamente através do aplicativo sem a necessidade de um agente externo, podendo controlar a temperatura do ambiente, umidade do solo. O aplicativo apresentou-se como uma ferramenta útil, para esse fácil monitoramento, uma vez que o funcionamento dele é bem intuitivo e de fácil visualização dos valores.

Dentre as fontes pesquisadas necessárias para a execução do projeto, as que mais agregaram conhecimentos para o seu desenvolvimento, foram os conhecimentos obtidos nos tópicos sobre o MQTT, sensores, ESP32, que juntos foram de suma importância para a concretização do objetivo proposto no projeto.

O trabalho foi uma grande oportunidade de colocar em prática o conhecimento obtido ao longo do curso de tecnologia em automação industrial, empregando

linguagem de programação, protocolo de comunicação, automação e diversos outros conteúdos. Além disso o projeto trouxe para os integrantes do grupo conhecimentos agregados aos obtidos durante a formação do curso, complementando os conhecimentos técnicos e incentivando à pesquisa e desenvolvimento de tecnologia.

Dentre as dificuldades encontradas, menciona-se a dificuldade em conseguir fazer com que o ESP32 realizasse mais leituras analógicas, na escolha do material e nos conhecimentos necessários de agricultura, para entender a melhor forma que a estrutura da estufa deveria ter. Essas dificuldades foram solucionadas com êxito com a ajuda do embasamento bibliográfico e com a ajuda dos docentes.

Propõe-se que trabalhos futuros possam realizar a implementação de um cooler para resfriar de forma eficiente a estufa e a utilização da conexão com um banco de dados, para que seja possível que o usuário consiga observar os dados antigos coletados pelos sensores e assim tratar esses dados gerando gráficos para uma melhor visualização.

REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, 2017.

AGUIRRE, Luis Antonio. **Fundamentos de Instrumentação**. 1 ed. São Paulo: Pearson, 2013.

ARDUINO. **Arduino**. Disponível em: < <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> >. Acesso em: 01/05/2022.

ARIES, Rafaela. **Agricultura no Brasil: história, desenvolvimento e as tendências para o futuro**. myFram, 2020. Disponível em:< <https://www.myfarm.com.br/agricultura/#:~:text=A%20princ%C3%ADpio%2C%20a%20pr%C3%A1tica%20da,as%20primeiras%20formas%20de%20cultivo> >. Acesso em 22 de março de 2022.

BARBOSA, Bianca. **ESTUFA INTELIGENTE DE MORANGO UTILIZANDO ARDUINO**. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Elétrica) - Centro Universitário do Sul de Minas, [S. l.], 2021. Disponível em: <http://192.100.247.84/bitstream/prefix/2197/1/Bianca%20Santos%20Barbosa.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2022.

BATISTA, Carolina. **Fatores Bióticos e Abióticos**, 2020. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/fatores-bioticos-e-abioticos/>. Acesso em: 6 abr. 2022.

BOLICO, Regina. **Origem da agricultura e suas transformações**, Professora Regina Bolico, 2020. Disponível em: < <https://regininha-atividadesescolares.blogspot.com/2020/12/origem-da-agricultura-e-suas.html> >. Acesso em: 23 de março de 2022.

BRAGA, M.B.; GUEDES, I.M.R.; SILVA, J.; LIMA, C.E.P. **Determinação Simplificada da Umidade do Solo Visando o Manejo de Irrigação em Hortaliças**. **Boletim de**

Pesquisa e Desenvolvimento 155. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa Hortaliças, ISSN 1677-2229 Julho, 20p. 2018 Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/180567/1/BPD-155.pdf>. Acesso em: 4 maio 2022.

BRASIL é destaque internacional no segmento de cultivo protegido. Portal do Agronegócio, 2021. Disponível em: < <https://www.portaldoagronegocio.com.br/agricultura/outros/noticias/brasil-e-destaque-internacional-no-segmento-de-cultivo-protegido>>. Acesso em: 20 de março de 2022.

CAMINHOS PARA O FUTURO. LED faz crescer verduras de boa qualidade como nenhuma outra tecnologia., 12 ago. 2014. Disponível em: <https://epocanegocios.globo.com/Caminhos-para-o-futuro/Energia/noticia/2014/08/led-faz-crescer-verduras-de-bo-a-qualidade-como-nenhuma-outra-tecnologia.html>. Acesso em: 6 abr. 2022.

CARRANÇA, Thais. **Em meio à exportação recorde de alimentos, seca e pandemia agravam fome no campo**. BBC NEWS Brasil, 2021. Disponível em :< <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-57296843>>. Acesso em: 28 de março de 2022.

CICLO VIVO, Redação. **Entenda como a iluminação artificial pode ajudar o plantio orgânico**, 20 set. 2016. Disponível em: <https://ciclo.vivo.com.br/planeta/desenvolvimento/entenda-como-a-iluminacao-artificial-pode-ajudar-o-plantio-organico/>. Acesso em: 6 abr. 2022.

DIA DE CAMPO, **Jornal Quem apostou no campo? O que deu certo nos últimos 25 anos de agro**, 21 dez. 2021. Disponível em: <http://diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=21142&secao=Ferramentas%20Gerenciais>. Acesso em: 6 abr. 2022.

EARTH OBSERVING, System. **A Umidade Do Solo E Casos Práticos Do Seu Gerenciamento**, 6 fev. 2020. Disponível em: <https://eos.com/pt/blog/umidade-do->

solo/#:~:text=N%C3%ADveis%20suficientes%20de%20umidade%20do,como%20um%20regulador%20de%20temperatura. Acesso em: 6 abr. 2022.

ECYCLE, Equipe. **Qual a importância da água?** Publicações em 2010 - 2021. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/importancia-da-agua/>. Acesso em: 4 maio 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. (2011). **Mudanças Climáticas Globais e Agricultura**. Embrapa-meio ambiente. São Paulo. Estufa agrícola. **Estufas Tropical**. Disponível em: <<https://www.lojatropicallestufas.com.br/estufas-agricolas>>. Acesso em: 24 de maio de 2022

ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP32**, c2022. Produtos. Disponível em: <<https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>>. Acesso em: 01 de maio de 2022.

FRISINA, V. A.; ESCOBEDO, J. F., 1999. **Balances de Radiação e Energia da Cultura de Alface em Estufa de Polietileno**. Departamento de Ciências Ambientais, UNESP, Botucatu, São Paulo, Brasil. 11 p.

GONZALES-REAL, M. M., 1996. **La Calefaccion de los Invernaderos Balance de Energia Simplificado Aplicado al Cálculo de las Necesidades Energéticas del Invernadero**. Conferências: Departamento de Ingeniería Rural, ETSIA, Madri, Espanha, 19 p.

GOMES, M.A.F. **Importância do solo para a água subterrânea**. Uso Agrícola das Áreas de Afloramento do Aquífero Guarani no Brasil - implicações para a água subterrânea e propostas de gestão com enfoque agroambiental. Opinião do livro, p. 30, 2015.

GRO Ho. **Guia do fazendeiro moderno para iluminação artificial**, 2022. Disponível em: <https://www.hidroponiabrasil.com/post/guia-do-fazendeiro-moderno-para-iluminacao-artificial>. Acesso em: 6 abr. 2022.

GUIAS de Uvas: Carménère, um símbolo dos vinhos chilenos. Divino, 2020. Disponível em: < <https://www.divvino.com.br/blog/uva-carmenere/>>. Acesso em: 30 de março de 2022.

GUITARRARA, Paloma. **Revolução Verde**. Mundo Educação, 2022. Disponível em:<<https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/a-revolucao-verde.htm#:~:text=A%20Revolu%C3%A7%C3%A3o%20Verde%20consistiu%20na,q u%C3%ADmicos%2C%20como%20fertilizantes%20e%20agrot%C3%B3xicos>>. Acesso em: 26 de março de 2022.

GUTIERRES, Monica; NEVES, Eletisanda. **A Importância Do Monitoramento Da Umidade Do Solo Através De Sensores Para Otimizar A Irrigação Nas Culturas**. Centro Científico Conhecer, p. 1-16, 30 mar. 2021. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2021A/a%20importancia.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2022.

HARA, A. T.; GONÇALVES, C.A.; DOMINGUES, J.V.S.; HASHIGUTI, H. T.; REZENDE, R et al. **Estabilidade temporal da variabilidade espacial da umidade do solo obtida no campo e no laboratório**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v.12, n. 6, p. 3069-3077, 2019.

LOUREIRO, Rodrigo. **Agronegócio cresce e ganha espaço no mercado financeiro; saiba como investir**. CNN Brasil, 2021. Disponível em :< <https://www.cnnbrasil.com.br/business/agronegocio-cresce-e-ganha-espaco-no-mercado-financeiro-saiba-como-investir/>>. Acesso em: 28 de março de 2022.

MAGRANI, Eduardo. **A internet das coisas**. 1 ed. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2018.

MATHEUS. **Estufa ou cultivo protegido entenda a diferença.** AgroSmart, 2019. Disponível em: < https://agrosmart.com.br/blog/estufa/#Estufa_ou_casa_de_vegetacao>. Acesso em: 29 de março de 2022.

MAZOYER, Marcel; ROUDART, Laurence. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea.** S.d. São Paulo: Editora UNESP, 2008.

MINISTERIO PARA A COORDENAÇÃO DA ACÇÃO AMBIENTAL (2007) Programa Nacional de Adaptação as mudanças climáticas.

MIYADAIRA, Alberto. **Microcontroladores PIC 18.** 4. ed. rev. e atual. São Paulo: Érica, 2009. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=lang_pt&id=7YqwDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT3&dq=microcontroladores&ots=aF7gckr3Wh&sig=pyAnzcFNYLPwq-LZOh2fhs2y0JU#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 5 maio 2022.

MONK, Simon. **Programação com Arduino: começando com sketches.** Porto Alegre: Bookman, 2013.

MORAIS, Lillia. **Influência Dos Fatores Abióticos Na Composição Química Dos Óleos Essenciais.** Horticultura Brasileira, p. 1-14, 2009. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/577686/1/2009AA051.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2022.

MOREIRA, Wagner Henrique; TORMENA, Cássio Antonio; KARLEN, Douglas L; et al. **Seasonal changes in soil physical properties under long-term no-tillage.** *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 160, p. 53–64, 2016. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198716300186> > DOI: 10.1016/j.still.2016.02.007.

MOUBARAK, Mohamed Hisham. **Internet of Things for Home Automation.** 2016. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia) - Media Engineering and Technology Faculty, German University in Cairo, 2016. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/314508660_Internet_of_Things_for_Home_Automation. Acesso em: 23 abr. 2022.

MCROBERTS, Michael. **Arduino Básico**. Tradução Rafael Zanolli. São Paulo - SP: Editora Novatec, 2011.

MCROBERTS, Michael. **Arduino Básico**. São Paulo - SP: Editora Novatec, 2015.

NORETO, Lorena; FAGUNDES, Regiane; MOREIRA, Gláucia. **Produtividade da abobrinha ornamental em diferentes épocas de plantio em ambiente protegido**, 2009. Disponível em: <https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/326>. Acesso em: 6 abr. 2022.

PEREIRA, Fábio. **PIC Programação em C**. 7. ed. São Paulo: Érica, 2009. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=lang_pt&id=qYuwDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT4&dq=microcontroladores&ots=Jb_ELCCjCN&sig=AWX7LbdTWi4gEQwZpCI79AGq-Ew#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 5 maio 2022.

PIETERS, J. G., DELTOUR, J. M.; DEBRUYCKERE, M. J., 1996. **Condensation and Static Heat Transfer Through Greenhouse Covers During Night**. Madri, Espanha: Ag Eng 96, 13 p.

PRITCHARD, S. G.; AMTHOR, J. S. (2005). **Crops and environmental change: an introduction to effects of global warming, increasing atmospheric CO₂ and O₃ concentrations, and soil salinization on crop physiology and yield**. New York: Food Products Press.

RABOT, E., WIESMEIER, M., SCHLÜTER, S., VOGEL, H.J., 2018. **Soil Structure As An Indicator Of Soil Functions: A Review**. *Geoderma* v.314, p.122–137, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009>

RUBIM, Jackson. **Microcontrolador Arduino no ensino de Física: Proposta e aplicação de uma situação de aprendizagem sobre o tema Luz e Cor**. São Carlos:

[s. n.], 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/7274/DissJRRJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 5 maio 2022.

SACOMANO, José Benedito. et al. **Indústria 4.0**. Conceitos e fundamentos. 1 ed. São Paulo: Blücher, 2018.

SANTOS, Helivania. **Fotossíntese**, 2021. Disponível em: <https://www.biologianet.com/botanica/reacoes-fotossintese.htm#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20fotoss%C3%ADntese%3F,%C3%A1gua%20e%20di%C3%B3xido%20de%20carbono>. Acesso em: 4 maio 2022.

SANTOS, Jean; LARA, Renato. **Sistema De Automatização Residencial De Baixo Custo Controlado Pelo Microcontrolador Esp32 E Monitorado Via Smartphone**. Ponta Grossa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/16960/1/PG_COAUT_2019_1_02.pdf. Acesso em: 5 maio 2022.

SCHNEIDER, P. S.; TONDELLO, G. M., 1998. **Estudo Comparativo de Transmissividade Espectral de Filmes Plásticos Para Plasticultura**. Publicação do Grupo de Estudos Térmicos e Energéticos (GESTE) -UFRGS, Porto Alegre, Brasil.

SEGINER, I. 1983. **On The Night Transpiration of Greenhouse Roses Under Glass or Plastic Cover**. Haifa, Israel: Department of Agricultural Engineering Technion, 12 p.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2013.

FLIPEFLOP, **Sensor de Umidade do Solo**. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-umidade-do-solo-higrometro/>. Acesso em: 24 de maio 2022.

Sensor de Temperatura e Humidade DHT11. **Filipeflop**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-umidade-e-temperatura-dht11/>>. Acesso em: 24 de maio 2022.

Sensor de Luminosidade LDR. **Filipeflop**. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-luminosidade-ldr-5mm/>. Acesso em: 24 de maio 2022.

SILVA, Renato A. **Programando Microcontroladores Pic - Linguagem C**. [S.l.]: Ensino Profissional, 2007. ISBN 8599823043.

SOUSA, Rafaela. **Mudanças Climáticas**, 2021. Disponível em: <https://escolakids.uol.com.br/geografia/mudancas-climaticas.htm#:~:text=O%20Painel%20Intergovernamental%20sobre%20Mudan%C3%A7as,como%20temperatura%2C%20chuva%20e%20ventos>. Acesso em: 4 maio 2022.

SOUSA, V.F.; NUNES, G.M.V.C.; ZONTA, J.B.; ARAUJO, E.C.E. **Tecnologias para a produção de melancia irrigada na Baixada Maranhense**. São Luís: Embrapa Cocais, 2019.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações**. Ed. Revisada. Não publicada. Campinas, SP: Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP 2017.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro. **Sensores industriais: Fundamentos e aplicações**. 9. ed. São Paulo: [s. n.], 2020.

GLOBO RURAL, **TOMATE sustentável é cultivado em estufa de vidro em MG**, 2021. Disponível em: < <https://g1.globo.com/economia/agronegocios/globo-rural/noticia/2021/11/21/tomate-sustentavel-e-cultivado-em-estufas-de-vidro-em-mg.ghtml>>. Acesso em: 20 de março de 2022.

TORRES, Andrei; ROCHA, Atslands; SOUZA, José. Análise de Desempenho de Brokers MQTT em Sistema de Baixo Custo. **Congresso da Sociedade Brasileira de Computação**, p. 2804 - 2815, 4 jul. 2016. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wperformance/article/view/9727/9623>. Acesso em: 24 out. 2022.

VIANNA, Ilca Oliveira de A. **Metodologia do trabalho científico: um enfoque didático da produção científica**. São Paulo: EPU, 2001.

WENDLING, Marcelo. **Sensores**. 2.0. ed. Guaratinguetá, 2010. Disponível em: <https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4---sensores-v2.0.pdf>. Acesso em: 1 maio 2022.

XPROJETOS. **ESP 32 - Especificação Técnica**. Disponível em: <https://xprojetos.net/esp32-especificacao-tecnica/>. Acesso em 05 maio. 2021.