



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
MESTRADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FRANCISCO FÁBIO CHAGAS DE OLIVEIRA

EFEITOS DE DIFERENTES COBERTURAS PLÁSTICAS NA AMBIÊNCIA DE
ESTUFAS AGRÍCOLAS

FORTALEZA

2023

FRANCISCO FÁBIO CHAGAS DE OLIVEIRA

EFEITOS DE DIFERENTES COBERTURAS PLÁSTICAS NA AMBIÊNCIA DE
ESTUFAS AGRÍCOLAS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Adunias dos Santos Teixeira

Coorientador: Dr. Odílio Coimbra da Rocha Neto

FORTALEZA

2023

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

- O47e Oliveira, Francisco Fábio Chagas de.
Efeitos de diferentes coberturas plásticas na ambiência de estufas agrícolas / Francisco Fábio Chagas de Oliveira. – 2024.
99 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2024.
Orientação: Prof. Dr. Adunias dos Santos Teixeira.
Coorientação: Prof. Dr. Odílio Coimbra da Rocha Neto.
1. Cultivo protegido. 2. Meteorologia agrícola. 3. Internet das coisas. 4. Ambiência agrícola. I. Título.
CDD 630
-

FRANCISCO FÁBIO CHAGAS DE OLIVEIRA

EFEITOS DE DIFERENTES COBERTURAS PLÁSTICAS NA AMBIÊNCIA DE
ESTUFAS AGRÍCOLAS

Defesa de Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovada em 27/11/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof.: Dr. Adunias dos Santos Teixeira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Coorientador.: Dr. Odílio Coimbra da Rocha Neto
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)

Prof.: Dr. Alan Bernard Oliveira de Sousa
Instituição: Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.: Dr. Fábio Rodrigues de Miranda
Instituição: –Embrapa Agroindústria Tropical

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Brasil (CAPES). Agradecimentos ao Programa Cientista-chefe em Agricultura (Convênio 14/2022 SDE/ADECE/FUNCAP e Processo 08126425/2020/FUNCAP) pela concessão de bolsas de inovação e pelo suporte financeiro para a realização da pesquisa. À medida que concluo este trabalho, expressei profunda gratidão a todas as pessoas e instituições que tornaram esta dissertação possível.

Agradeço ao meu orientador/professor, Adunias dos Santos Teixeira, e ao coorientador, Dr. Odílio Coimbra da Rocha Neto, pela orientação, incentivo e paciência ao longo deste processo. Suas valiosas orientações foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço também aos membros da banca, Prof. Dr. Alan Bernard Oliveira de Sousa e Prof. Dr. Fábio Rodrigues de Miranda, por dedicarem seu tempo e conhecimento na avaliação desta dissertação. Suas contribuições foram extremamente valiosas.

A minha esposa Thaiz Mendes e aos amigos e colegas que estiveram ao meu lado, Gustavo Liberato, Guilherme Santos, Felipe Herminio, Sharon Gomes, Gilbenes Rosal, Marcio Régis, Gleyciane Lins, Nicholas e Alex Leonel, agradeço a amizade, apoio moral e colaboração ao longo desta jornada acadêmica. Não poderia deixar de expressar minha gratidão à Universidade Federal do Ceará (UFC) pela oportunidade de estudar e pesquisar neste ambiente acadêmico.

Este trabalho reflete não apenas meu esforço, mas também o apoio generoso de todos que mencionei. Sem a contribuição de cada um de vocês, esta dissertação não teria se tornado realidade. Obrigado por fazerem parte desta jornada e por compartilharem comigo este momento significativo.

RESUMO

Entre os fatores que contribuem para o conforto térmico ideal das plantas cultivadas em ambiente protegido, as coberturas translúcidas desempenham um papel fundamental. Nesse contexto, esta pesquisa teve como objetivo investigar a influência de três tipos diferentes de filmes plásticos (Difusor, Transparente e Leitoso) instalados em três estufas agrícolas na região de Fortaleza, CE, sobre as condições de temperatura e umidade relativa, visando fornecer recomendações para otimizar o desempenho das estufas. Para isso, o experimento foi conduzido em três estufas agrícolas localizadas na área experimental do Laboratório de Hidráulica e Irrigação do Departamento de Engenharia Agrícola da UFC, Campus do Pici, em Fortaleza, Ceará, Brasil. Cada estufa foi equipada com um tipo de filme plástico diferente, sendo eles: leitoso, transparente e difusor. Para avaliar o ambiente interno, foram instaladas 10 estações de monitoramento, sendo nove no interior das estufas e uma no ambiente externo. As estações centrais continham quatro sensores de umidade relativa do ar e temperatura (sensor SHT 31), cada um instalado nas seguintes alturas: 1, 2, 3 e 4 metros. Enquanto as estações laterais apresentavam três sensores, não contendo então o sensor na posição de 4 metros. O experimento foi realizado de março a julho de 2023, com coleta de dados a cada 5 minutos, resultando em 12 leituras por hora que foram posteriormente tratadas com regressão linear. Ao analisar o comportamento da temperatura nos tratamentos e subtratamentos da estufa com filme difusor, não foi observada diferença estatística nas temperaturas a 4 metros de altura (T4) com valor de $p < 0.055$. No entanto, a umidade a 4 metros apresentou grau de significância de 1%, diferindo das demais estações de coleta com um valor de 0.006. A temperatura e umidade a 2 metros apresentaram diferença a nível de 5%. No caso do filme transparente, todas as estações de coleta diferiram a um nível de significância de 1%, mostrando maior variação da temperatura e umidade no ambiente interno. O filme leitoso apresentou maiores variações de temperatura e UR nas nove Estações de coleta de dados. No período das 12 horas, o filme Difusor diferiu a um nível de 5% em relação ao filme transparente e a um nível de 1% em relação ao filme leitoso. Nas madrugadas, as coberturas apresentaram variações na temperatura e na umidade, entretanto, a cobertura com o filme difusor foi a que apresentou menores temperaturas durante todo o experimento e manteve menores variações na UR do ar.

Palavras-chave: cultivo protegido; meteorologia agrícola; internet das coisas; ambiência agrícola.

ABSTRACT

Among the factors contributing to the optimal thermal comfort of cultivated plants in a protected environment, translucent coverings play a fundamental role. In this context, this research aimed to investigate the influence of three different types of plastic films (Diffuse, Transparent, and Milky) installed in three agricultural greenhouses in the Fortaleza region, CE, on temperature and relative humidity conditions, with the goal of providing recommendations to optimize greenhouse performance. The experiment was conducted in three agricultural greenhouses located in the experimental area of the Hydraulic and Irrigation Laboratory of the Department of Agricultural Engineering at UFC, Campus do Pici, in Fortaleza, Ceará, Brazil. Each greenhouse was equipped with a different type of plastic film: milky, transparent, and diffuse. To assess the internal environment, 10 monitoring stations were installed, nine inside the greenhouses and one outside. The central stations contained four air relative humidity and temperature sensors (SHT 31 sensor), each installed at heights of 1, 2, 3, and 4 meters. The side stations had three sensors, excluding the sensor at the 4-meter position. The experiment was carried out from March to July 2023, with data collection every 5 minutes, resulting in 12 readings per hour, subsequently treated with linear regression. Analyzing the temperature behavior in the treatments and sub-treatments of the greenhouse with the diffuse film, no statistical difference was observed in temperatures at 4 meters height (T4) with a value of $p < 0.055$. However, humidity at 4 meters showed a significance level of 1%, differing from the other collection stations with a value of 0.006. Temperature and humidity at 2 meters showed a 5% difference. In the case of the transparent film, all collection stations differed at a significance level of 1%, showing greater temperature and humidity variations in the internal environment. The milky film exhibited higher temperature and RH variations in the nine data collection stations. During the 12-hour period, the Diffuse film differed at a 5% level compared to the Transparent film and at a 1% level compared to the Milky film. During the nights, the coverings showed temperature and humidity variations; however, the covering with the diffuse film had the lowest temperatures throughout the experiment and maintained lower variations in air relative humidity.

Keywords: protected cultivation; agricultural meteorology; internet of things; agricultural environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Variação da temperatura do ar exterior e interior em estufas cobertas com diferentes materiais de cobertura (12–13, 19–20 e 26–27 de outubro de 2019)	16
Figura 2 -	Área de localização dos três módulos de estufas	26
Figura 3	Estação de coletas de dados externa com quatro sensores instalados nas alturas de 1, 2, 3 e 4 metros de alturas.....	27
Figura 4 -	Distribuição espacial das Estações de Coletas de dados nas alturas de 3 e 4 m no ambiente internos das estufas.....	28
Figura 5 -	Protótipo para a proteção dos sensores utilizados nas Estações de Coletas	28
Figura 6 -	Processo de impressão dos protótipos dos abrigos dos sensores.....	29
Figura 7 -	Ruídos provocados pelo ambiente.....	32
Figura 8	Ligações resistores de pull-up.....	33
Figura 9 -	Protótipos das placas para coletas dos dados de Temperatura e Umidade....	33
Figura 10	Caixa protetora utilizada para proteção da placa de circuitos.....	34
Figura 11 -	Sensor de Umidade e Temperatura I2C de Precisão SHT-31.....	35
Figura 12	Estufa utilizada como base para a montagem dos módulos independentes	37
Figura 13 -	Processo de separação dos módulos para a fixação dos arcos dos três módulos.....	37
Figura 14 -	Separação dos três módulos com a estrutura montada.....	38
Figura 15 -	Montagem e fixação das três coberturas nas três estufas.....	39
Figura 16 -	Cobertura Difusora, Transparente e Leitosa instaladas nas três estufas independentes.....	39
Figura 17 -	Distribuição e fixação das estações de coletas de dados na Estufa com Filme Transparente.....	40
Figura 18 -	Distribuição interna das nove Estações de coletas de dados nas três Estufas analisadas.....	40
Figura 19 -	Croqui de distribuição dos coletores de dados para as três coberturas (Difusor. Transparente e Leitoso), respectivamente.....	41
Figura 20 -	Fixação das caixas de proteção com os componentes eletrônicos em cada Estação de coletas.....	42

Figura 21 - Primeira coleta com o Filme Difusor para a primeira estufa analisada.....	43
Figura 22 - Segunda coleta com o Filme Transparente para a segunda estufa analisada	44
Figura 23 - Terceira coleta com o Filme Leitoso para a terceira estufa analisada.....	44
Figura 24 - Instalações das Estações de Coletas (Estufa 1) e fixação dos cabos de alimentação dos sensores.....	45
Figura 25 - Distribuição das Estações de coletas de dados simultaneamente para os filmes Difusor, Transparente e Leitoso.....	45
Figura 26 - Estufa 1 distribuição dos Tratamento e Subtratamento (T2-U2)	47
Figura 27 - Estufa 1 distribuição dos Tratamento e Subtratamento (T4-U4)	47
Figura 28 - Dispersão da Temperatura (A) e UR do ar (B) para a Estufa 1 Interna.	51
Figura 29 - BoxPlot para os dados da Estufa 1 Interna.....	51
Figura 30 - Umidade Interna a 2 m e a 4 m para a Estação Central 5 com o filme Difusor.....	57
Figura 31 - Temperatura Interna a 2 e 4 m para a Estação Central 5 com o filme Difusor.....	58
Figura 32 - Temperatura de 2 e 4 m Externa e Interna.....	59
Figura 33 - Mapa do efeito da Temperatura (A) e Umidade (B) no filme Difusor na altura de 1, 2, 3 e 4 m nas nove estações analisadas no horário das 12 horas.....	59
Figura 34 - Comparações entre a estação de coleta (Esta.1 Temp. 2m e Esta.6 Temp.2m)	64
Figura 35 - Comparações entre a estação de coleta (Esta.1 Umd. 2m e Esta.6 Umd.2m)	65
Figura 36 - Comparações entre a estação de coleta (Esta.1 Temp. 3m e Esta.6 Temp.3m)	65
Figura 37 - Efeito da Umidade Relativa do Ar entre o filme Transparente e o Ambiente Externo.....	66
Figura 38 - Efeito da Temperatura entre o filme Transparente e o Ambiente Externo.....	67
Figura 39 - Mapa do efeito da Temperatura (A) e Umidade (B) no filme Transparente na altura de 1, 2, 3 e 4 m nas nove estações analisadas no horário das 12 horas.....	67

Figura 40 - Mapa do efeito da Temperatura (A) e Umidade (B) no filme Leitoso na altura de 1, 2, 3 e 4 m nas nove estações analisadas no horário das 12 horas.....	72
Figura 41 - BoxPlot da Temperatura a 2 m para as coberturas Difusor, Transparente e Leitoso (Estufa 1, Estufa 2 e Estufa 3) respectivamente...	74
Figura 42 - BoxPlot da Umidade a 2 m para as coberturas Difusora (Estufa1), Transparente (Estufa 2) e leitosa (Estufa 3)	76
Figura 43 - Variação da temperatura interna a 2 m de altura em estufas cobertas com filme difusor e filme transparente.....	82
Figura 44 - Umidade Relativa do ar Interna do Filme Difusor e Filme Transparente.....	83
Figura 45 - Variação da temperatura interna ao longo do dia, a 2 m de altura, em estufas cobertas com filme difusor e filme leitoso.....	84
Figura 46 - Umidade relativa do ar Interna do Filme Difusor e Filme Leitoso.....	85
Figura 47 - Variação da temperatura interna ao longo do dia, a 2 m de altura, em estufas cobertas com filme transparente e filme leitoso.....	86
Figura 48 - Variação da umidade interna ao longo do dia, a 2 m de altura, em estufas cobertas com filme transparente e filme leitoso.....	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Teste de Normalidade para a Temperatura a 2 m e a 4 m para o filme Difusor.....	50
Tabela 2 -	Teste de Normalidade para Umidade a U2 e a U4 para o filme Difusor.....	50
Tabela3 -	ANOVA (Não-Paramétricos) paras as horas de 3h, 9h, 12h, 15h e 21h da Estufa 1.....	52
Tabela 4 -	ANOVA (Não-Paramétricos) paras as horas de 3h, 9h, 12h, 15h e 21h da Estufa 2.....	53
Tabela 5 -	ANOVA (Não-Paramétricos) paras as horas de 3h, 9h, 12h, 15h e 21h da Estufa 3.....	53
Tabela 6 -	ANOVA (Não-Paramétricos) análise comparativo entre as Estações do filme Difusor (Estações 5)	56
Tabela 7 -	Comparações múltiplas entre os Tratamentos da Umidade a 4m para o filme Difusor.....	56
Tabela 8 -	ANOVA na Estações de coleta de dados do filme Transparente (Estufa 02) nas alturas de T2 (Temp. 2m) e U2 (Umid. 2m) e T4 (Temp. 4m) U4 (Umid. 4).....	61
Tabela 9 -	Comparações múltiplas Dwass-Steel-Critchlow-Fligner entre a cobertura transparente alturas de 2 m.....	61
Tabela 10 -	Comparações múltiplas Dwass-Steel-Critchlow-Fligner- Filme Transparente alturas de 2m.....	62
Tabela 11 -	Comparações múltiplas da temperatura entre as nove estações de coleta de dados para a cobertura transparente.....	63
Tabela 12 -	Comparações múltiplas da umidade entre as nove estações de coleta de dados para a cobertura transparente.....	64
Tabela 13 -	ANOVA (Não-Paramétricos) para a Estufa 3 (Filme Leitoso)	69
Tabela 14 -	Comparações múltiplas da Temperatura no filme Leitoso.....	69
Tabela 15 -	Comparações múltiplas da Umidade no Subtratamento a 2 metros para o filme leitoso.....	70

Tabela 16 -	Comparações múltiplas entre as Temperaturas no Subtratamento 3 e 4 metros para o filme Leitoso.....	71
Tabela 17 -	Comparações múltiplas da Umidade no Subtratamento a 4 metros para o filme Leitoso.....	71
Tabela 18 -	Teste de Normalidade para a Temperatura a 2 m para o filme difusor, transparente e leitoso.....	74
Tabela 19 -	Teste de Normalidade para a Umidade a 2 m para as coberturas Difusora, Transparente e Leitosa.....	75
Tabela 20 -	ANOVA (Não-Paramétricos) entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a temperatura e umidade a 2 metros (T2 e U2), nos horários da 0h, 3h, 9h 12h, 15h e 21h.....	76
Tabela 21 -	Comparações múltiplas entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a temperatura a 2 metros às 0:00:00 horas (0h) da madrugada.....	77
Tabela 22 -	Comparações múltiplas entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a umidade relativa do ar a 2 metros às 0:00:00 horas (0h) da madrugada.....	77
Tabela 23 -	Comparações múltiplas entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a temperatura a 2 metros às 3:00:00 horas (3h) da madrugada.....	78
Tabela 24 -	Comparações múltiplas entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a umidade relativa do ar a 2 metros às 3:00:00 horas (3h) da madrugada.....	78
Tabela 25 -	Comparações múltiplas entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a temperatura a 2 metros às 9:00:00 horas (9h) da manhã.....	79
Tabela 26 -	Comparações múltiplas entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a umidade relativa do ar a 2 metros às 9:00:00 horas (9h) da manhã.....	79
Tabela 27 -	Comparações múltiplas entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a temperatura a 2 metros às 12:00:00 horas (12h)	79

Tabela 28 -	Comparações múltiplas entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a umidade relativa do ar a 2 metros às 12:00:00 horas (12h)	80
Tabela 29 -	Comparações múltiplas entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a temperatura a 2 metros às 15:00:00 horas (15h)	80
Tabela 30 -	Comparações múltiplas entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a umidade relativa do ar a 2 metros às 15:00:00 horas (15h)	81
Tabela 31 -	Comparações múltiplas entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a temperatura a 2 metros às 21:00:00 horas (21h) da manhã.....	81
Tabela 32 -	Comparações múltiplas entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a umidade relativa do ar a 2 metros às 21:00:00 horas (21h)	82

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Objetivos.....	12
1.2	Objetivo geral.....	12
1.2.1	<i>Objetivos específicos.....</i>	12
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1	Importância do cultivo protegido no controle climático.....	13
2.2	Cultivo Protegido.....	14
2.2.1	<i>Modelos e categorias de coberturas mais utilizados.....</i>	14
2.2.2	<i>Características e Modelos de coberturas plásticas.....</i>	17
2.3	Microclima.....	19
2.4	Internet das Coisas (IoT).....	23
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1	Área de Estudo.....	26
3.2	Desenvolvimento das estações de coleta de dados.....	26
3.3	Confecção dos abrigos.....	28
3.4	Características dos sensores.....	29
3.5	Protótipo eletrônico utilizado nas Estações de Coletas.....	30
3.6	Componentes da Placa de Circuito.....	33
3.7	Material Avaliado.....	35
3.7.1	<i>Filme Difusor M36 Clean.....</i>	35
3.7.2	<i>Filme Leitoso GINEGAR Importado 120 Micras.....</i>	35
3.7.3	<i>Filmes Extra Longa Vida Transparente.....</i>	36
3.7.4	<i>Telado.....</i>	36
3.8	Área Experimental.....	36
3.9	Instalações das Coberturas.....	38
3.10	Distribuição Espacial das Estações de Coletas.....	40
3.11	Período de Coletas dos dados.....	42
3.12	Análise preliminar dos dados coletados.....	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4.1	Teste de Normalidade.....	50
4.2	Teste de Análise de Variação – Não Paramétrica (ANOVA).....	52
4.3	Análise de Variância Entre Estações de Coleta de Dados.....	55
4.3.1	<i>Estações de Coletas de Dados Central Instalados na Estufa coberta com filme difusor.....</i>	55
4.3.2	<i>Estações de Coletas de Dados Central Instalados na estufa coberta com filme transparente.....</i>	60
4.3.3	<i>Estações de Coletas de Dados Central Instalados na estufa coberta com filme leitoso.....</i>	68
4.4	Análise Simultânea entre os Tratamentos EST1-Difusor, EST2-Transparente e EST3-Leitoso.....	73
4.4.1	<i>Análise descritiva para as três estufas simultâneas.....</i>	73
5	CONCLUSÃO.....	88

REFERÊNCIAS.....	89
-------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, devido à sua vasta área territorial, possui uma diversidade climática significativa. Nesse contexto, o uso de ambientes protegidos emerge como uma técnica relevante para aprimorar a produção agrícola. Esses ambientes permitem o controle de fatores climáticos essenciais, como temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e ventos (REBOUÇAS et al., 2015), tornando-se fundamentais para impulsionar tanto o volume quanto a qualidade dos produtos cultivados.

Visando estudar essas adequações, os primeiros trabalhos com filmes plásticos para a construção de estufas se deram por volta da década de 50, nos Estados Unidos da América (EUA) e em alguns países da Europa. Tornando-se referências no cultivo protegido, por volta de 1960 e 1970, ocorreu a expansão da área ocupada por ambientes controlados, especialmente em regiões como Japão, China, Espanha, Itália, França, Turquia, Grécia e Israel (JUNIOR e HORA, 2018).

Para implementação desses ambientes protegidos, é crucial que o produtor esteja atento aos tipos de materiais utilizados. A escolha dos filmes plásticos, por exemplo, deve considerar as particularidades da região em que serão aplicados. Em locais com altas temperaturas ou baixa luminosidade, algumas coberturas plásticas podem ser restritas, pois possuem respostas distintas de transmissão de luz no ambiente, para Andrade et al. (2011) trabalhando com filme difusor de luz (FTD) observaram uma menor radiação na estufa analisada em comparação com o polietileno convencional (PE).

Esse filtro de radiação interfere diretamente no cultivo, principalmente no desenvolvimento das plantas ao longo de seu ciclo vegetativo. Katsoulas et al., (2020) reforça que, dependendo da localização, as coberturas podem variar de região para região. Locais com baixa umidade relativa do ar e um alto nível de insolação necessitam de material que filtre melhor a radiação ultravioleta (UV).

Para Jamil et al. (2022), o avanço das tecnologias permite o monitoramento e a verificação seguros das práticas agrícolas com base em decisões fundamentadas, garantindo maior eficiência e resultados positivos no campo. Subahi e Bouazza (2020) desenvolveram um sistema baseado em internet das coisas (IoT) para controlar e monitorar a temperatura no interior de estufas agrícolas e novas tecnologias, como sensores, nebulizadores e atuadores, estão sendo introduzidas SHAMSHIRI (2018).

Com base no exposto, este estudo parte da seguinte hipótese: Há uma correlação estatisticamente significativa entre a escolha do tipo de filme plástico (Difusor, Transparente e Leitoso) em estufas agrícolas na região de Fortaleza, CE, e as variações no microclima, incluindo temperatura e umidade relativa.

1.1 OBJETIVOS

1.2 Objetivo geral

Investigar a influência de três tipos diferentes de filmes plásticos (Difusor, Transparente e Leitoso) instalados em três estufas agrícolas na região de Fortaleza, CE, sobre as condições de temperatura e umidade relativa, visando fornecer recomendações para otimizar o desempenho das estufas.

1.2.1 Objetivos específicos

- Identificar e analisar as variáveis microclimáticas relevantes, como temperatura, umidade relativa e correlacionar seus efeitos específicos em cada tipo de cobertura plástica (Difusor, Transparente e Leitoso).
- Avaliar o desempenho e a eficácia de cada tipo de cobertura plástica em termos de controle de temperatura e umidade relativa nas estufas agrícolas em Fortaleza, CE.
- Fornecer recomendações práticas e embasadas em dados para a escolha da cobertura plástica mais adequada às condições climáticas de Fortaleza, visando melhorar a eficiência e a produtividade das estufas agrícolas na região.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância do cultivo protegido no controle climático.

A grande vantagem do cultivo em ambientes protegidos está em proporcionar condições climáticas adequadas à produção, que num ambiente convencional seria impraticável. Portanto, estudar como tais ambientes podem ser otimizados para favorecer a máxima produtividade, pode ser decisivo no sucesso de atividades agrícolas.

Visando tais condições uma alternativa eficiente para reduzir os impactos das mudanças climáticas na agricultura é o cultivo em casas de vegetação. Isso ocorre porque boa parte dessas alterações climáticas ocorre de forma localizada, afetando diretamente o cultivo de plantas ao ar livre (BADJI et al. 2022 e HE XIN et al. 2021).

Nestes ambientes protegidos os materiais empregados para o seu revestimento são voltados inicialmente para a proteção dos cultivos, com a finalidade de reduzir a incidência direta dos raios solares e as geadas sobre as folhas, visando o bem-estar térmico da área cultivada.

Nos últimos anos, um papel que vem ganhando destaque é o controle da qualidade da luz que chega até as culturas. Para Statuto et al. (2019) os revestimentos podem afetar significativamente a radiação dentro do ambiente protegido de diferentes maneiras, favorecendo principalmente para as faixas de onda de Radiação Potencialmente Ativa (RPA) (entre 400 e 700 nm) e limitando a energia que se propaga nos comprimentos de onda no infravermelho (acima de 700 nm) que aquecem o ambiente desnecessariamente.

Dessa forma, é essencial monitorar e controlar o ambiente agrícola para a obtenção de melhores resultados no modo de se fazer agricultura (REBOUÇAS et al. 2014). Para Shamshiri et al. (2020) locais com característica de clima tropical têm utilizado diferentes categorias de cobertura plásticas e controladores climáticos, que visa alcançar o crescimento ideal dos cultivos e proteger as plantas das alterações meteorológicas, tais como: ventos, granizos e principalmente o controle de pragas pelo excesso de umidade. Os autores ainda acrescentam que os sensores para o monitoramento de ambiente protegido que utilizam fio vêm sendo substituído por controladores *wireless*, do tipo *IoT* (*internet of things*) para a avaliação climática.

Essas variações climáticas durante o dia influenciam o desenvolvimento das culturas de diferentes formas, tanto as elevadas temperaturas como as baixas, podendo provocar perdas severas de produção e baixa qualidade dos produtos, ocasionadas por essas variações (OLIVEIRA et al. 2023; CALZADILLA et al. 2014).

2.2 Cultivo Protegido

A seguir serão abordados pontos importantes com relação a alguns modelos de estufas agrícola, tipos e características de coberturas plásticas, e suas influências sobre o microclima interno.

Quanto à construção do ambiente protegido pode-se afirmar serem três as partes, são elas: I) sua estrutura; II) o material de cobertura; e o III) cortinamento. A estrutura pode ser composta por ferros ou madeiras, enquanto a cobertura pode se tratar de materiais translúcidos (PVC ou vidro). O interior destes ambientes pode ser composto por refrigeração, sistemas de irrigação (ou fertirrigação) e sistemas que de injeção de CO² (PURQUERIO e TIVELLI, 2006).

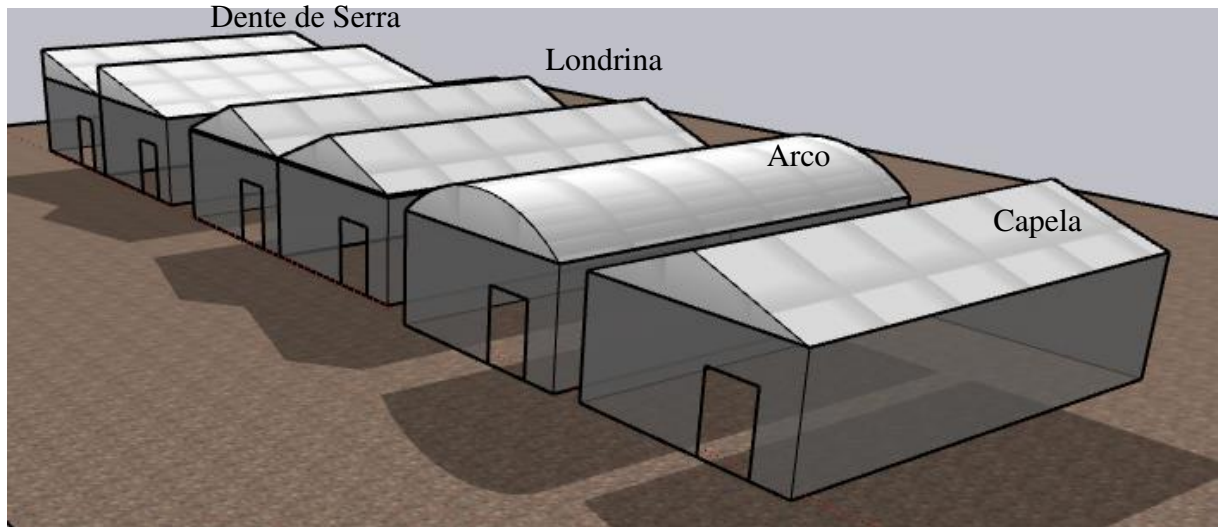
Já o seu cortinamento pode ser revestido por tela antiafídeo com a finalidade de controlar a entrada de pragas e doenças para o interior, ou dependendo da região, apresentar apenas a cobertura para a proteção contra a passagem de luz e geadas.

2.2.1 Modelos e categorias de coberturas mais utilizados.

Segundo Campagnol (2015) e Reis (2005) existem quatro categorias de estufas mais usadas no Brasil (Figura 01), onde cada estrutura tem suas particularidades como eficiência, conforto térmico e resistência.

O vidro foi um dos primeiros materiais utilizados em coberturas de ambientes protegidos, por apresentar boas características de transmissão da radiação solar (NOVAIS et al. 2014 e BURIOL et al. 1995). No entanto, de acordo com Campagnol (2015) existem algumas limitações quanto à sua aquisição em função de seu alto custo e manuseio.

Figura 1: Quatro modelos de estufas agrícolas mais utilizadas no Brasil.



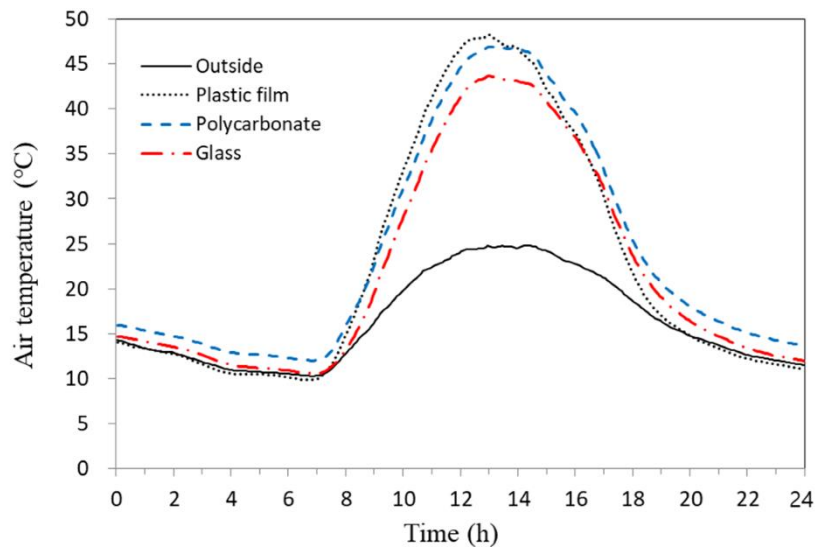
Fonte: Autor (2023)

Quanto à escolha dos materiais de cobertura deve ser considerado a cultura que será implantada no ambiente protegido, pois cada espécie pode apresentar especificidades quanto ao seu microclima ideal. Além disso, cada filme tem suas particularidades, seja quanto a sua durabilidade ou resistência às variações climáticas.

Para Robson et al. (2022) e Ting e Giacomelli, (1987) as propriedades dos materiais ou do vidro são características importantes, assim como suas espessuras e durabilidade. Os autores ainda acrescentam que essas considerações têm relação quanto a transparência dos materiais utilizados e a retenção do calor no ambiente protegido.

Kim et al. (2022) trabalhando com cobertura plástica de Policarbonato (PC) e o vidro, observaram que a estufa coberta com plástico apresentou maior amplitude térmica em comparação ao vidro, como mostra a figura a seguir.

Figura 1: Variação da temperatura do ar exterior e interior em estufas cobertas com diferentes materiais de cobertura (12–13, 19–20 e 26–27 de outubro de 2019).



Fonte: Kim et al., (2022)

Já materiais difusores, como o vidro e o plástico, espalham a luz no interior do ambiente, permitindo uma distribuição da luz no sentido vertical e horizontal, garantindo uma distribuição mais uniforme e fornecendo uma absorção uniforme da radiação nas folhas e no dossel das culturas, ajudando a reduzir as altas temperaturas associadas a radiação direta (SHIN et al. 2021; BURGESS et al. 2015 e LI, et al. 2015).

Quanto às categorias de materiais mais empregados segundo a empresa Lonax (2021) temos:

2.2.1.1 Polietileno

Quanto ao seu uso, o polietileno fornece inúmeros benefícios, sendo o material mais utilizado em estufas agrícolas, por apresentar baixo custo e fácil manuseio. Apresentando uma alta durabilidade, é indicado principalmente para quem quer investir pouco. Sua vida útil varia de um a dois anos, considerado o mais seguro para quem está iniciando.

Os tipos mais empregados no mercado são o utilitário e o industrial. O primeiro é usado em estufas que agregam pouco valor na aquisição. Já o segundo é recomendado em maior escala para estufas maiores e produções de grande escala. Sua principal característica é a

facilidade entre as trocas gasosas, característica essencial quanto a escolha dos filmes de estufas.

2.2.1.2 Copolímero

O copolímero apresenta uma maior durabilidade quando comparamos com o polietileno, podendo chegar a até três anos antes de começar a se fragilizar-se. No entanto, não é indicado para regiões onde existem grandes alterações de temperatura, uma vez que um dos fatores que mais degradam suas estruturas é a alternância entre aquecimento e congelamento.

2.2.1.3 Policloreto de vinila (PVC)

O PVC é uma das coberturas plásticas que apresentam maior custo no mercado. No entanto sua durabilidade pode chegar a até cinco anos. Uma de suas características é a melhoria térmica, uma vez que, as lonas de PVC retêm o calor por maior tempo, sendo uma alternativa para lugares com noites frias, mantendo a temperatura interna por um longo período.

2.2.1.4 Policarbonato

O policarbonato é considerado uma alternativa para substituir o vidro, mas com melhor custo-benefício. Sua durabilidade pode chegar a 10 anos, apresentando vantagens em comparação ao vidro quanto à sua leveza. É uma ótima opção para lugares que apresentem ventos fortes e tempestades, por apresentar alta resistência, sendo praticamente inquebrável, transmitindo luz para o interior e protegendo as plantas de raios UV.

2.2.2 Características e Modelos de coberturas plásticas

No mercado podemos destacar uma grande variabilidade de materiais plásticos, desde os plásticos difusores de luz, até materiais atuando como repelentes de poeira. Os principais materiais utilizados no Brasil são o polietileno de baixa densidade (PEBD), o polietileno de alta densidade (PEAD) e o etileno vinil acetato (EVA) (BARBOSA et al. 2017).

Existem diferentes trabalhos relacionando essas categorias de coberturas de abrigos protegidos, dentre esses podemos citar o trabalho feito por Baxevanou et al. (2018), que utilizaram em seus experimentos quatro coberturas plásticas filme: Coextrudado de três camadas (3L), filme de etileno vinil acetato (E.V.A.), filme de polietileno térmico (T.P.E.) e fluorescente à base de cloreto de polivinila rosa (V.P.V.C.). A cobertura plástica que apresentou melhores valores para a radiação fotossinteticamente ativa para o cultivo do tomate foi o Etileno Vinil Acetato (E.V.A).

Segundo Campagnol et al., (2015), os filmes mais utilizados no cultivo protegido são do tipo PEBD, por apresentar uma boa transparência à radiação solar, sendo muito permeável à radiação térmica. Os autores ainda acrescentam que quanto à espessura, existe interferência apenas na sua resistência, não existindo influência na sua transparência. As suas espessuras podem variar entre 100 e 200 micrômetros (μm), sendo destacado que seu material necessita de um aditivo contra a radiação ultravioleta (Anti-UV), aumentando assim sua resistência do material à degradação provocada pela radiação solar.

Podem ainda ser destacados como uma alternativa os painéis rígidos, os mais comuns o polimetacrilato de metila (P.M.M.A.) ou acrílico, o policarbonato (P.C.), o policloreto de vinila (P.V.C.) e o poliéster reforçado com fibra de vidro (F.R.P.), os quais podem ser encontrados nas formas de painéis corrugados ou de chapas estruturais de parede dupla (FARIA JUNIOR e HORA, 2018; BARBOSA et al. 2017).

Comparando com outros materiais encontrados no mercado, Faria Junior e Hora (2018) defendem que os filmes plásticos são os materiais mais empregados na cobertura de abrigos para os cultivos protegidos, liderado por policloreto de vinilo (P.V.C.), o polietileno de baixo densidade (P.E.B.D.), e o polietileno-co-acetato de vinila ou copolímero de E.V.A. Os autores ainda acrescentam que quanto à utilização do P.V.C., este apresenta moderada transmissividade, que é a relação entre a radiação incidente e a transmitida, em torno de 90%. Para a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) apresenta valores de 400 a 700 nm, e de 10 a 15% para as radiações de ondas longas.

O P.E.B.D. apresenta valores variando de 85 a 90% de transparência à radiação solar de ondas curtas, sendo também muito transparente às ondas longas, com valores de transmissividade de 60 a 80%. Em termos óticos, os copolímeros de E.V.A. têm transparência em torno de 90% à radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.) e entre 18 e 27% às radiações

de ondas longas, sendo considerados mais resistentes às radiações ultravioletas que o P.E.B.D. (FARIA JUNIOR e HORA (2018)

Já Balocco et al. (2018) trabalharam com duas categorias de filmes de PEBD novo e antigo (usado há mais de cinco anos) visando avaliar as faixas espectrais de cada cobertura. Os autores observaram valores de radiação solar e de radiação térmica de 71,5% e 52% respectivamente, para o filme novo. Já os dados para o filme antigo foram de 71 e 35% de radiação solar e de radiação térmica, obtendo uma dedução na radiação térmica, respectivamente.

Al Mahdouri et al. (2013) analisaram em suas pesquisas as propriedades ópticas espectrais de diferentes coberturas tais como: Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), Poliolefina (PO), Policloreto de Vinil (PVC) e Vidro de Sílica Fundida. No qual as coberturas com PEBD e PVC apresentaram menores valores térmicos.

Quanto ao efeito da poeira e do branqueamento nas propriedades de transmitância das coberturas de estufas do tipo PEBD, Mashonjowa et al. (2010) observaram que o efeito da poeira reduziu todas as bandas de ondas do plástico. Os coeficientes de transmissão para PAR foram reduzidos pelo clareamento da cobertura os valores de redução de radiação solar e térmica variaram de 0,75 para 0,53; 0,74 a 0,55 e 0,45 a 0,43, respectivamente.

2.3 Microclima

Por se tratar de um ambiente controlável, as estufas agrícolas possibilitam diversas modificações microclimáticas, favorecendo o controle do microclima no seu interior (SINGH *et al.* 2022). As coberturas plásticas apresentam estruturas que controlam a passagem da radiação solar, alterando as características das culturas, limitando a taxa de absorção da luz e consequentemente alterando fatores fenológicos (KIM et al. 2022).

O monitoramento dessas variáveis climáticas é um fator fundamental para melhorar a produtividade das culturas, reduzindo a incerteza na produção e aumentando os lucros agrícolas. Na ausência do monitoramento microclimático, a qualidade e o rendimento da produção variam muito devido à interceptação da radiação solar pelos filmes (MANOHARAN, 2020).

Regiões que apresenta grandes variações ou temperaturas extremamente baixas não são propícias ao crescimento de algumas culturas (DA SILVA et al. 2021). Já regiões que

apresentem temperaturas muito altas e de clima muito seco quando trabalhado com estrutura plástica revestindo toda a cobertura, acarreta acúmulos de massa de ar quente no seu interior, elevando a temperatura exigindo mais trocas gasosas, necessitando de climatizadores ou nebulizadores para o controle da temperatura no interior. Essa elevação da temperatura interna irá exigir mais das culturas, podendo acarretar o murchamento das folhas, limitando o processo fotossintético (BORJAS VENTURA et al. 2019).

O sol emite um fluxo de energia denominada radiação solar, essa radiação apresenta uma densidade de fluxo com cerca de 6,0 a 107,0 Wm², na forma eletromagnética e ao atingir a atmosfera, essa radiação se propaga até atingir a superfície da terra (MODEST et al. 2021).

Os materiais utilizados nos revestimentos das estufas agrícolas têm a finalidade de filtrar parte do comprimento de onda que chega ao interior do ambiente. Para Statuto, et al. (2019) os revestimentos podem reduzir significativamente a radiação de diferentes maneiras, principalmente para as faixas de onda de radiação potencialmente ativa (RPA) entre (400–700 nm). Rebouças (2015) define que as categorias de estufas têm relação com as variáveis temperatura e radiação solar. Por isso, é essencial o conhecimento de tais variáveis climáticas antes da escolha dos materiais empregados.

Quando um feixe de luz atinge uma superfície qualquer a sua energia passa por três processos físicos bem definidos, onde uma parte é refletida para outras direções, outra é absorvida pelo material sendo transformada em energia de calor, essa energia de calor pode ser convertida em calor latente ou calor sensível e uma terceira é transmitida (YAMASOE e CORRÊA, 2016).

Caso este material seja uma estufa agrícola, parte da energia transmitida incide diretamente no interior do ambiente onde estão as culturas, gerando uma competição pela energia luminosa entre plantas, solos e materiais no interior do ambiente (REBOUÇAS et al. 2015).

Nesse contexto, a luz é um importante aliado para o crescimento e desenvolvimento das plantas, vale ressaltar sua importância não só para a produção de fotossíntese, mas para o desenvolvimento de outros receptores, entretanto para o melhor desenvolvimento das plantas são necessárias condições adequadas de iluminação e de processos adaptativos, tais como: morfológicos e fisiológicos, processos esses específicos de cada cultura (CARON et al. 2014).

A radiação solar é a principal energia que interfere nos processos meteorológicos alterando as condições do tempo, como; temperatura, umidade, pressão e o vento (DA SILVA

et al., 2021). A energia radiante é responsável pelo processo de fotossíntese das culturas e pela sua perda de água pelo processo de transpiração (SIMON e ALMEIDA, 2014; TAIZ et al. 2021).

Com esse efeito, a penetração da luz apresenta variações, dependendo do material que está sendo empregado no filme plástico, esses materiais são projetados para selecionarem vários comprimentos de ondas espectrais da radiação solar, como: radiação ultravioleta (UV), energia fotossinteticamente ativa, dentre outras ou transformar a luz em difusa (PAPAIIOANNOU e KATSOULAS 2022; SHAHAK et al. 2008). Vale também destacar que a ausência total de UV acarreta a redução total ou parcial dos compostos secundários das plantas, tais como: compostos fenológicos, flavonoides e carotenoides (KATSOULAS et al. 2020).

Quanto ao efeito do material empregado sobre a radiação solar, boa parte dessa radiação não é penetrada nas estufas, sendo que uma parte é absorvida e transformada em energia de calor, enquanto outra parte é refletida. Esses efeitos dependem do material que está sendo utilizado, de sua composição química, de sua espessura e o tempo que o material está exposto à radiação e aos efeitos climáticos.

Caron, et al. (2014), avaliando o efeito da radiação fotossinteticamente ativa, constataram acúmulo de fitomassa seca para a radiação fotossinteticamente ativa, existindo um aumento em todo o ciclo, produzido pela energia radiante interceptada pelas culturas.

Já materiais mais antigos, tendem a limitar a passagem de luz, dificultando a absorção pelas plantas e aumentando seu ciclo vegetativo. Papaioannou e Katsoulas (2022) defendem que materiais de cobertura utilizados em ambiente agrícola que apresentem bloqueadores da radiação ultravioleta (UV) levam à diminuição no uso de defensivos no cultivo agrícola, e que essa redução é um dos principais objetivos da atualidade.

Essas tecnologias empregadas nas estufas não só reduzem a intensidade da radiação, mas tem também o objetivo de selecionar, ou seja, permitir a passagem de certas gamas espectrais. O vidro absorve entre 8 e 10% da radiação solar total, permitindo a passagem de ondas entre 320 nm e cerca de 2800 nm, desde que o material apresente boa qualidade. Entretanto quando esses materiais estão antigos a passagem de UV é interrompida totalmente (SEEMANN et al. 1979).

As altas temperaturas influenciam o cultivo de vegetais, pois acarretam alterações principalmente na coloração, odor, sabor e características nutricionais (TUDELA, et al. 2018),

podendo ocorrer perda de qualidade e redução nos preços dos produtos gerados (BISBIS, et al., 2018).

Hemming et al. (2020) avaliaram as taxas de fotossíntese na cultura do tomate com temperaturas variando entre 18° C e 24° C e observaram não existir influência na produção de carboidratos. Entretanto, o acima de 24° C observaram-se uma redução da disponibilidade de carboidratos para o crescimento das culturas.

Uma alternativa para regiões que apresentem meses mais quentes com temperaturas elevadas é a utilização de algum método de ventilação. Esse processo se dá pela remoção da carga de energia térmica excedente durante os períodos mais quentes, aumentando ainda o teor de dióxido de carbono no interior da estrutura (CO₂) (GHANI et al. 2019).

As variações de temperaturas internas dos ambientes protegidos têm relação com o balanço energético e dependem da radiação incidente, das condições externas e da movimentação do ar. Durante o dia, a cobertura, a estrutura e o solo absorvem partes dessa radiação de ondas curtas e como consequência há um aumento de temperatura interna (CALVETE et al. 2008). Já nos períodos noturnos as temperaturas internas se aproximam das encontradas fora do abrigo (FARIA JUNIOR e HORA, 2018).

Os fatores meteorológicos como já comentados são condições que alteram o ambiente agrícola, quanto ao controle e o monitoramento se torna essencial para a vivência em ambiente controlado. Dentre esses fatores destacam-se a umidade e a temperatura do ar, pois podem interferir de forma benéfica ou maléfica no desenvolvimento das plantas (DOURADO et al. 2014; SANTOS et al. 2010). Portanto, monitorar e controlar o ambiente agrícola é essencial para melhores resultados (REBOUÇAS et al. 2014).

A umidade relativa do ar (UR) está relacionada à quantidade de moléculas de água no ar e em um ambiente protegido está relacionada à transpiração das culturas, de modo que os processos de fotossíntese e trocas gasosas podem interferir no estresse das culturas (KUMAR et al., 2022).

Quando o valor da UR do ambiente ultrapassa 90%, ocorre o fechamento dos estômatos e a transpiração é reduzida tendo como consequência direta a redução da absorção de nutrientes. Além disso pode ocorrer um aumento do desenvolvimento de doenças e pragas pelo excesso de umidade (TERUEL, 2010). Trabalhos feitos por Chowdhury et al. (2021) constataram o efeito negativo do aumento da temperatura e da umidade do ar sobre o desenvolvimento da couve.

No entanto, quando a umidade do ar é muito baixa, há maior esforço nas plantas para manter seus estômatos abertos, aumentando o consumo de água e em alguns casos provocando o murchamento das folhas. Estudos realizados por Filho et al. (2021) mostraram que a umidade relativa do ar tem relação inversa em relação aos níveis de luminosidade, enquanto a temperatura tem resposta positiva com o aumento da luminosidade nas estufas.

Algumas doenças e patógenos fúngicos se espalham rapidamente quando se trabalha em ambiente protegido com alta umidade, dificultando o controle. Algumas dessas doenças estão associadas às altas temperaturas e umidade (SHAMSHIRI et al. 2018).

A UR tem um papel fundamental quando se estuda produtividade das culturas, pois a taxa de respiração no nível foliar depende da UR e essa variável pode influenciar no balanço hídrico das culturas, limitando a transpiração, acarretando o fechamento dos estômatos e reduzindo a assimilação de nutrientes (FERRANTE e MARIANI, 2018).

2.4 Internet das Coisas (IoT)

As oscilações da temperatura durante o dia influenciam o desenvolvimento das culturas de diferentes formas, tanto as elevadas temperaturas como as baixas, podendo provocar perdas severas de produção e baixa qualidade dos produtos, ocasionadas por essas variações (Rocha, 2022; Demartelaere et al. 2020; Dias, 2018). Quando se trabalha com o cultivo convencional, essas alterações climáticas tornam-se mais difíceis de serem controladas ou amenizadas.

Tais fatores microclimáticos, quando não monitorados dentro de um ambiente agrícola, podem reduzir significativamente a produção, principalmente a temperatura, a umidade relativa do ar e a radiação, sendo que esses fatores são primordiais para o bom desenvolvimento dos cultivos (SINGH et al. 2018).

A internet das coisas vem sendo empregada na agricultura de precisão, principalmente no monitoramento das culturas e da produtividade (BASSOI et al. 2014). Para Jamil et al. (2022), a IoT na agricultura de precisão tem relação na busca por tecnologias voltadas a sustentabilidade, lucratividade e a saúde das culturas, conseguindo monitorar e verificar com segurança aplicações baseadas em decisões.

Alguns desses avanços têm auxiliado na tomada de decisão, principalmente os controladores e atuadores que conseguem fornecer dados e interpretar situações. Para Filho et

al. (2021) a informática e os componentes eletrônicos vêm evoluindo rapidamente na última década, especialmente, quando se trata de ambiente agrícola.

Para Li, et al. (2021) quando o monitoramento inteligente é utilizado pode-se prever condições extremas no ambiente protegido, resultando em melhores controles e redução de pragas e doenças causadas por insetos, reduzindo o uso de defensivos e fertilizantes, controlando melhor e melhorando a qualidade dos produtos produzidos.

Para isso, continua a desenvolver-se a investigação sobre a monitorização diária do ambiente agrícola. Já para Levintal et al. (2021) há uma procura crescente por tecnologias e software de código livre associados ao monitoramento dos níveis de CO₂ na atmosfera, destacando que para a agricultura o uso dessas tecnologias ainda é escasso.

Estudos realizados por Shamshiri et al. (2020) constataram que locais com característica de clima tropicais têm utilizado diferentes categorias de cobertura e controladores climáticos visando alcançar o crescimento ideal dos cultivos e proteger as plantas das alterações meteorológicas, tais como: ventos, granizos e principalmente, o controle de pragas e doenças pelo excesso de umidade. O autor ainda acrescenta que os sensores para o monitoramento de ambiente protegido que utilizam fio vêm sendo substituído por controladores do tipo IoT para o controle climático.

Tuzel et al. (2017), trabalhando com microclima em estufa e usando sensores IoT, observou a importância dos controladores climáticos para estimar a produtividade das culturas, permitindo ainda a dedução de retornos e investimentos econômicos. Acrescentando ainda que para controlar bem a temperatura interna são necessárias técnicas viáveis aliadas aos conhecimentos particulares das culturas implementadas.

Para Filho et al. (2021), e Hackenhaar et al. (2015) a informática e os componentes eletrônicos avançam com o passar dos anos, principalmente quando se trata de ambiente agrícola, boa parte dessas tecnologias conta com o uso de atuadores e microcontroladores que realizam rotinas programadas por sensores que interpretam e analisam dados, auxiliando nas tomadas de decisões (TEIXEIRA et al. 2017).

Além disso, tecnologias consideradas comuns como Zigbee, Bluetooth e Wi-fi têm sido exploradas para a transmissão de redes de dados, projetadas para se comunicarem com servidores que auxiliam nas tomadas de decisões (KOCHHAR e KUMAR, 2019).

Com o avanço destas tecnologias, surgiram também novas plataformas de sensores que facilitam seu uso, muitas dessas tecnologias se comunicam usando sinais de rede que

controlam o interior e se comunicam com outros controladores ambientais. Os fundamentos dos sistemas de controle são baseados em hardware e software com conexões a outros componentes, fazendo parte de uma rede de sinais lógicos e digitais (EVANS et al. 2013).

O uso de sensores capazes de monitorar o ambiente protegido, em especial a temperatura, umidade e a radiação fotossinteticamente ativa, torna-se fundamental, pois tais parâmetros estão interligados, acarretando uma redução de produtividade, necessitando de monitoramento em tempo real. Segundo Shamshiri et al. (2020), Guzman et al. (2018) e Ojha et al. (2015), a utilização de sensores com fio para o monitoramento das lavouras em campo aberto e em casa de vegetação vem sendo substituída pelo monitoramento em tempo real, em que os dados são coletados e armazenados em uma plataforma de dados em nuvem.

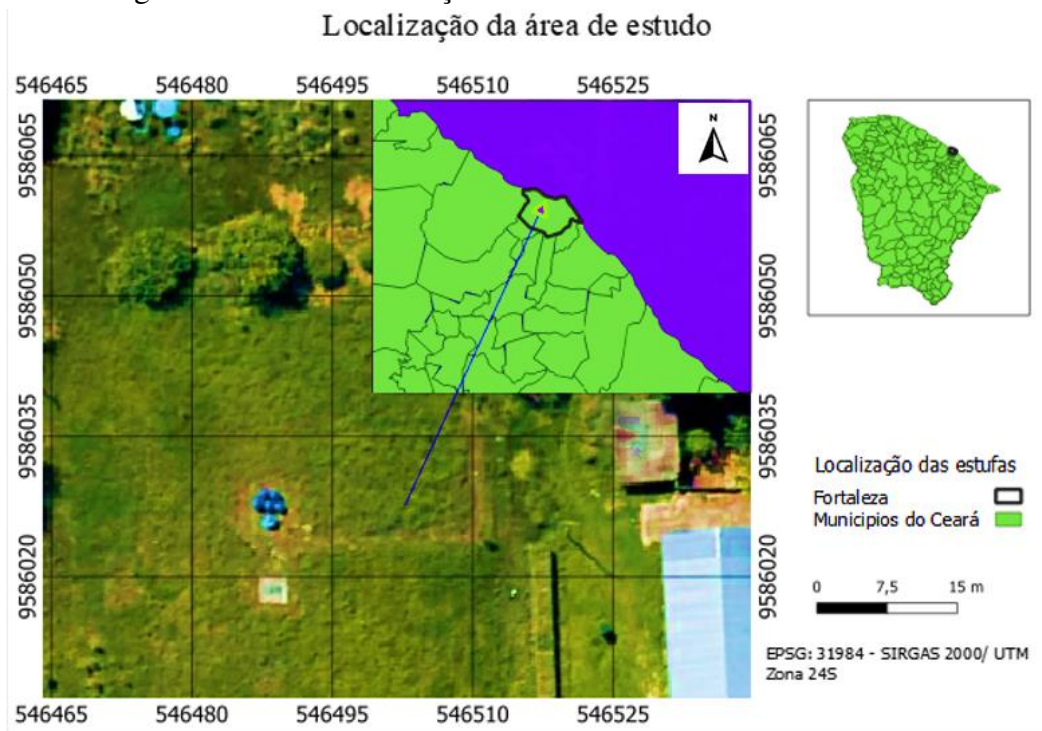
Para os autores Soussi, et al. (2022) e Ojha et al. (2015), o uso de redes de sensores sem fio impulsionou novas visões quanto à pesquisa focada na agricultura, em que nos últimos anos vem sendo amplamente utilizado em diversas aplicações agrícolas. Para os autores, a agricultura moderna vem exigindo uma maior quantidade de produção de alimentos. Entretanto, esse aumento também acarreta aumento de áreas agrícolas, necessitando de alternativas para o monitoramento e tomadas de decisões inteligentes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

O trabalho foi realizado na área experimental do Laboratório de Hidráulica e Irrigação do Departamento de Engenharia Agrícola da UFC, Campus do Pici, Fortaleza/CE. A área está localizada nas coordenadas geográficas $3^{\circ}45'S$ e $38^{\circ}33'W$, 19 m acima do nível do mar, e o clima local é classificado como Aw de acordo com Köppen (1918), conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2: Área de localização dos três módulos de estufas



Fonte: Autor (2023)

3.2 Desenvolvimento das estações de coleta de dados

A montagem das estações de coleta de dados foi realizada no Laboratório de Eletrônica e Mecânica Agrícola (LEMA). Foram construídas 10 estações utilizando tubos de PVC de 32 mm de diâmetro para a instalação dos sensores (Figura 3). Essas estações foram

posicionadas tanto no ambiente externo quanto no interno, com o objetivo de registrar as variações climáticas ao longo dos dias.

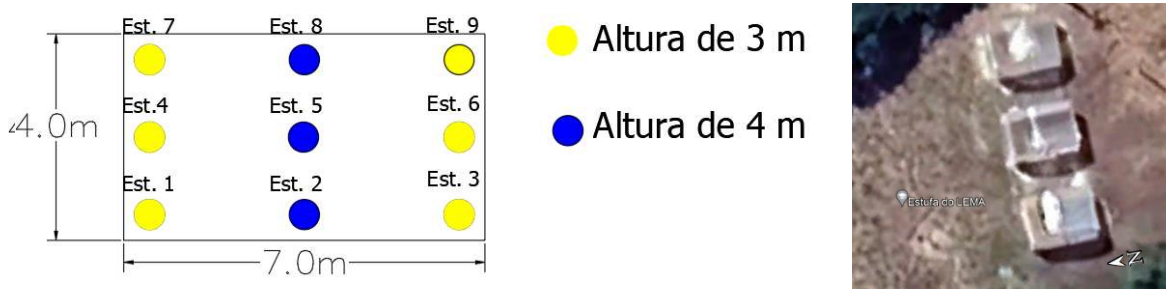
Figura 3: Estação de coletas de dados externa com quatro sensores instalados nas alturas de 1, 2, 3 e 4 metros de alturas.



Fonte: Autor (2023)

As estações de coletas de dados centrais possuíam quatro sensores de temperatura e umidade relativa do ar, posicionados nas alturas de 1, 2, 3 e 4 metros. No centro das estufas, foram colocadas três estações de coleta com altura de 4 metros. Já as hastes laterais, por apresentarem alturas menores de 3 metros de pé direito, possuem sensores posicionados a alturas de 1, 2 e 3 metros, estando equipadas com três sensores (Figura 4). A alimentação elétrica e os cabos para transmissão dos dados foram acomodados no interior dos tubos de P.V.C.

Figura 4: Distribuição espacial das Estações de Coletas de dados nas alturas de 3 e 4 m no ambiente internos das estufas.



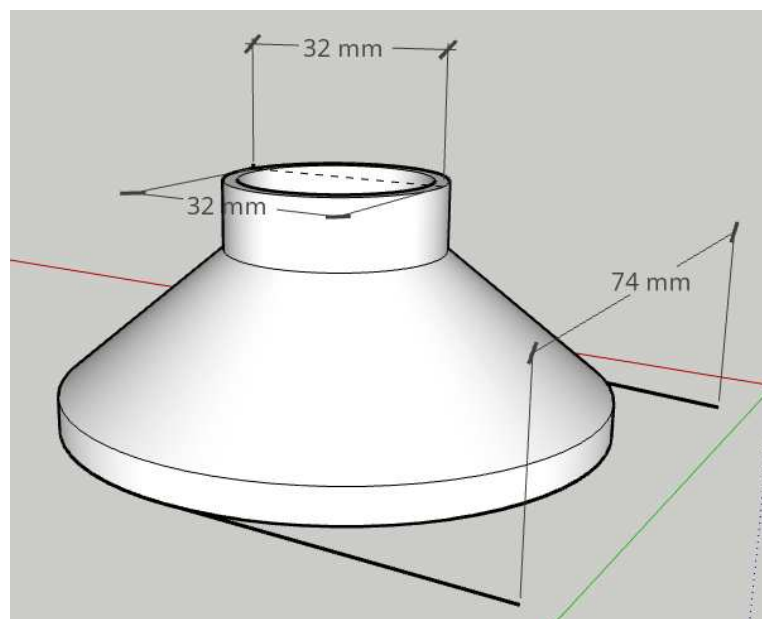
Fonte:
Autor
(2023)

3.2.1 Confeção dos abrigos

A utilização de sensores para medir temperatura e umidade, conforme recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2008), exigiu a implementação de abrigos projetados para proteger esses sensores contra a exposição direta à radiação solar. Conseqüentemente, foram construídos abrigos com a finalidade de evitar a incidência direta da radiação solar nos sensores, tanto no sensor de referência quanto nos sensores internos.

O processo de criação das proteções dos sensores foi realizado com o auxílio do programa CAD 3D, na versão estudantil, como ilustrado na Figura 5. Posteriormente, o projeto foi convertido para o formato STL e importado para a impressora 3D Ender 3. As dimensões das proteções foram de 32 mm para a parte superior e a parte inferior foi de 74 mm, como ilustra a figura 5.

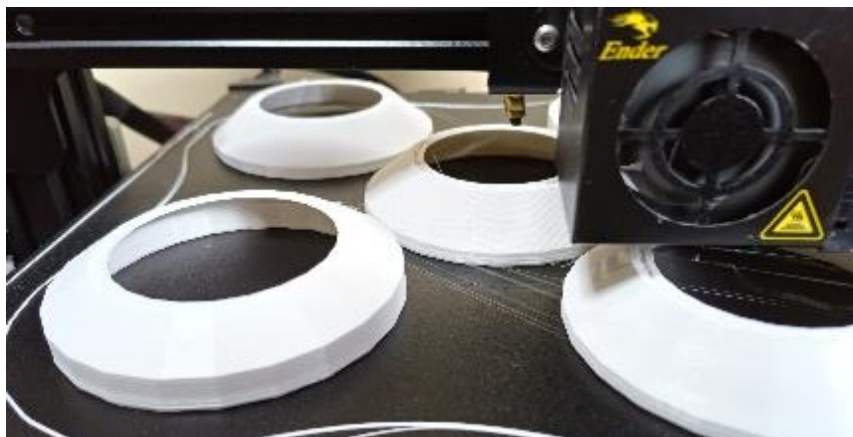
Figura 5: Protótipo para a proteção dos sensores utilizados nas Estações de Coletas



Fonte: Autor (2023)

Para os abrigos dos sensores, utilizaram-se os mesmos programas já mencionados e, em relação à densidade do preenchimento, utilizou-se 40%, conforme mostra a figura 6. Para os ajustes de impressão, utilizou-se o software livre *Ultimaker Cura* e foram ajustadas as configurações de impressão quanto ao tipo de filamento utilizado. O modelo de filamento usado foi o PLA NATURAL PROMO e PLA COR BRANCA Figura 6.

Figura 6: Processo de impressão dos protótipos dos abrigos dos sensores



Fonte: Autor (2023)

3.2.2 Características dos sensores

Para o monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar, utilizou-se o modelo de sensor SHT31 fabricado pela empresa Sensirion. Esse modelo apresenta um tipo de comunicação I2C, com uma tecnologia que utiliza a condensação de ponta dupla (ponto de orvalho) e configurações de comunicação digital, o que significa que os valores de temperatura e umidade já são processados internamente.

A comunicação I2C (Inter-Integrated-Circuit) é um tipo de protocolo de comunicação síncrono que é utilizado para a intercomunicação de vários dispositivos (SPARKFUN, 2023; DE OLIVEIRA, 2017). Esse tipo de comunicação é considerado bidirecional, pois permite a comunicação entre microcontroladores ou entre dispositivos “mestres” e entre vários dispositivos “escravos” utilizando apenas duas linhas de comunicação: uma é a linha de dados - SDA (Serial Data Line) e a outra e a linha de Clock – SCL (Serial Clock Line).

Essa comunicação entre vários outros dispositivos é a principal vantagem entre a comunicação I2C dos demais protocolos como UART e SPI (DE OLIVEIRA, 2017). Tais comunicações seriais necessitam de mais fios entre as comunicações. Além disso, a comunicação I2C permite diferentes velocidades, permitindo que diferentes dispositivos se comuniquem entre si sem perdas de eficiência. O protocolo suporta um mecanismo que utiliza um tipo de endereçamento, facilitando a comunicação entre o “mestre” e o “escravo” (TOPGADGET, 2023).

O sensor apresenta precisão de umidade relativa do ar de aproximadamente 2% para mais ou para menos. Sua faixa operacional varia de 0 a 100%, e seu tempo de resposta para a umidade é de 8 segundos, segundo a fabricante Sensirion (2023). Já os valores de temperatura apresentam uma precisão de 0,3% para mais ou para menos, e suas faixas operacionais estão entre -40 a 125 °C, com tempo de resposta superior a 2 segundos. Ambos apresentam certificado de calibração fornecido pela fabricante Sensirion.

Suas faixas de tensão variam entre 2,15 e 5,5 V, e a corrente média fornecida é de 1,7 μ A. Uma de suas vantagens é que o sensor apresenta baixo consumo de energia, além de ser bem compacto, sendo amplamente utilizado em diversos trabalhos acadêmicos, como por exemplo, “Projeto e implantação de um sistema prático de monitoramento baseado em IoT para cultivos protegidos” (HERNÁNDEZ-M. et al., 2022), dentre outros relacionados ao monitoramento da temperatura e umidade.

O sensor SHT31 apresenta vantagens quando submetido a condições ambientais adversas, como altas temperaturas ou baixas umidades, sua base é revestida por uma membrana impermeável o que o torna uma opção vantajosa quando se trabalha em condições que apresentem poeiras ou líquidos, permitindo seu uso em ambientes úmidos ou com presença de poeira.

3.2.3 Protótipo eletrônico utilizado nas Estações de Coletas

Com o objetivo de coletar dados, utilizou-se a linguagem de programação C++ por meio da IDE Arduino incorporada ao microcontrolador ESP32. Para a comunicação com os sensores SHT31, empregou-se um microcontrolador modelo ESP32 (Espressif Systems), que ficou encarregado da coleta e envio dos dados.

Para a escrita dos códigos, empregaram-se bibliotecas próprias da IDE Arduino, além de outras que foram reescritas a fim de facilitar a comunicação e reduzir tanto as linhas de código quanto o tempo de leitura.

No que diz respeito à confecção das placas eletrônicas, após a aquisição dos sensores, deu-se início à montagem dos primeiros protótipos utilizando protoboards para fixação. Após os testes, deu-se início à construção e montagem dos circuitos das primeiras placas coletoras.

Cada placa foi composta por um ESP32, responsável pela coleta de dados, processamento de códigos e envio dos dados para a nuvem, um cartão de memória micro SD, um módulo SdCard, encarregado pelo armazenamento dos dados, e um multiplexador, responsável pela comunicação entre as torres e o envio dos dados para o ESP32.

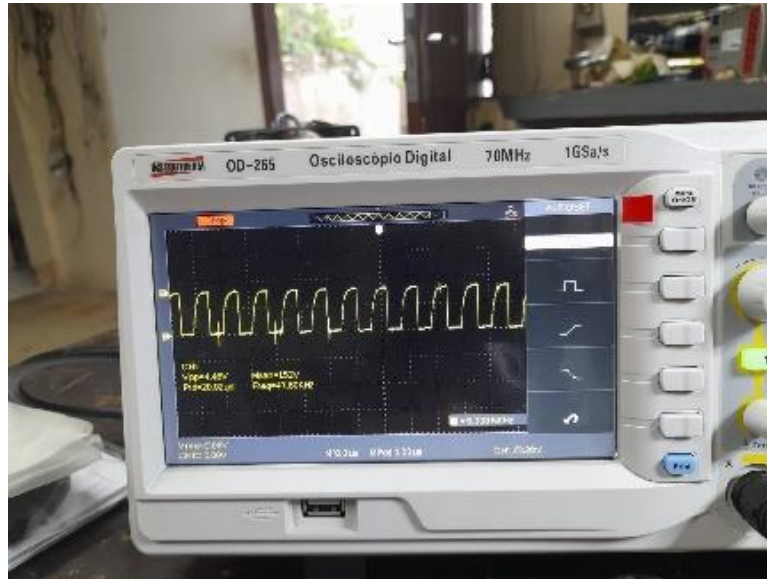
Após o desenvolvimento e a montagem das placas, utilizou-se a linguagem de programação em Javascript, em conjunto com uma planilha online do Google (Google Sheets). Com a programação concluída, o microcontrolador foi encarregado de enviar os dados para essa planilha, na qual todos os dados coletados foram armazenados e salvos na nuvem.

Para a comunicação e o envio dos dados dos sensores, utilizou-se o cabo Audioflex Datalink AFT PT 2X22 AWG, que é responsável pelo envio de dados para o multiplexador e pela alimentação de 5 V dos sensores. Esse modelo de cabo apresenta vantagens em relação aos demais, uma vez que possui blindagem que proporciona bloqueio de ruídos e interferências eletromagnéticas externas.

Com o objetivo de mitigar os efeitos dos ruídos provenientes do ambiente, adotou-se uma estratégia que envolveu a utilização de resistores conectados de 2,2 k ao Vcc, os quais foram ligados aos pinos SDA e SCL dos sensores.

A Figura 7 destaca de maneira visual as interferências ocasionadas pelo ambiente, acompanhadas das oscilações que impactavam os dados coletados. A resposta a essa questão foi a incorporação de resistores pull-up, uma abordagem eficaz para estabilizar os sinais e garantir leituras mais precisas e consistentes.

Figura 7: Ruídos provocados pelo ambiente



Fonte: Autor (2023)

Essa estratégia, conhecida como pull-up, desempenha um papel fundamental na manutenção da estabilidade nas interações entre os sensores e os dispositivos, mesmo quando não há transmissão de dados em curso. Quando um dispositivo escravo se acopla ao barramento, ocorre a drenagem das linhas SDA ou SCL até o nível GND, indicando a transmissão de informações.

Após a conclusão da transmissão, o dispositivo escravo libera a linha e entra em um modo pull-up, garantindo que a linha retorne ao nível de tensão conhecido. A ausência dessas conexões de resistores resultaria em uma situação em que as linhas SDA e SCL permaneceriam flutuantes entre os níveis de tensão e o potencial de terra. Isso levaria à instabilidade da comunicação I2C, abrindo espaço para erros nas leituras e duplicações de dados.

A implementação desses resistores tem como vantagem adicional a atenuação das oscilações e dos ruídos, proporcionando uma comunicação mais robusta e confiável entre os componentes envolvidos.

A Figura 8 fornece uma representação visual detalhada do processo de conexão realizado por meio dos resistores pull-up, demonstrando como essa solução efetiva contribui para a estabilidade das leituras e a qualidade geral do sistema.

Figura 8: Ligações resistores de pull-up



Fonte: Autor (2023)

3.2.4 Componentes da Placa de Circuito

O desenvolvimento das placas e circuitos ocorreu conforme mostrado na figura 9, na qual se encontram um ESP32, um multiplexador, um SdCard e uma bateria. Em seguida, foram realizadas as ligações em cada pino de saída e entrada.

Figura 9: Protótipos das placas para coletas dos dados de Temperatura e Umidade



Fonte: Autor (2023)

Para receber os dados gerados pelos sensores, foi utilizada uma caixa plástica de tamanho "G" com dimensões de 36,0 x 27,0 cm, conforme ilustrado na Figura 10. A caixa de comandos abrigou os componentes necessários para o recebimento dos dados.

O interior da caixa será equipado com os seguintes elementos:

1. **ESP32**: Responsável pela programação, conexão Wi-Fi e Bluetooth. Sua principal função foi receber os dados dos sensores e enviá-los para o cartão SD e se comunicar com a planilha do Google Sheets.
2. **Módulo RTC**: Módulo de Relógio de Tempo Real, que auxilia na marcação precisa dos horários de coleta de dados.
3. **Módulo SDcard**: Usado para armazenar os dados coletados de forma organizada e eficiente em um cartão de memória do tipo SDcard.
4. **Multiplexador T29548A I2C 1 a 8 Canais**: Essencial para ampliar o sinal de recebimento proveniente do ESP32. Ele otimiza a capacidade de receber informações dos sensores.

No ambiente externo ficou acomodado bateria 12V: Fonte de energia necessária para o funcionamento dos componentes internos da caixa. Placa solar: Responsável por captar energia solar e carregar a bateria, garantindo a operação contínua mesmo em locais sem acesso à energia elétrica.

Essa configuração permitiu que os dados coletados pelos sensores fossem devidamente recebidos, armazenados e processados, assegurando um sistema de monitoramento eficaz e confiável.

Adicionalmente, foram tomadas medidas para proteger os componentes eletrônicos contra o contato direto com a água. A figura 10 ilustra a caixa de proteção utilizada para armazenamento dos componentes eletrônicos utilizados nas estações de coletas.

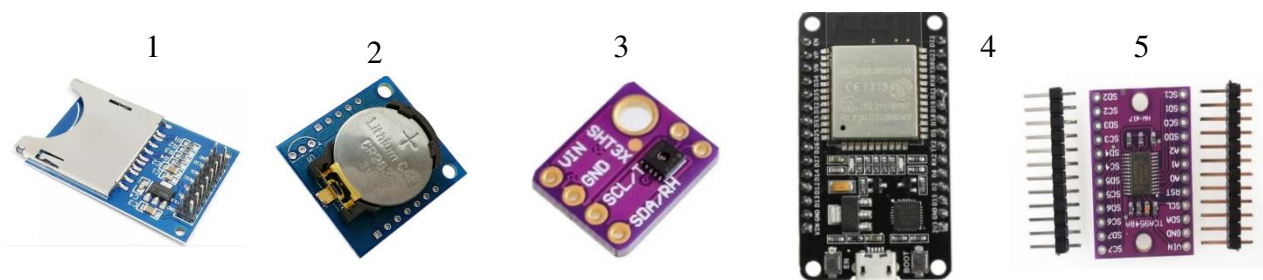
Figura 10: Caixa protetora utilizada para proteção da placa de circuitos



Fonte: Autor (2023)

A figura 11 ilustra os componentes que foram utilizados para a placa de circuito (PCB).

Figura 11: Sensor de Umidade e Temperatura I2C de Precisão SHT-31.



Fonte: Autor (2023)

SENDO: 1 – Módulo SDC; 2 – Módulo RTC; 3 – Sensor SHT31; 4 – ESP32 WROOM-32 DEVKIT V1; 5 – Multiplexador T29548A I2C.

3.3 Materiais Avaliados

As coberturas plásticas utilizadas neste trabalho foram: Difusor, Leitoso e Transparente do tipo PEBD. De acordo com as empresas especializadas na venda de filmes plásticos para ambientes protegidos Tropical Estufa e Paperplast (2023), é fundamental selecionar os filmes plásticos com base nas características da cultura e do clima da região. A seguir, serão discutidas as particularidades de cada filme utilizado no experimento, assim como suas vantagens e desvantagens.

Filme Difusor M36 Clean:

Os filmes difusores possuem propriedades térmicas que proporcionam uma distribuição uniforme da luz em um ambiente protegido, convertendo a radiação solar direta em luz difusa, apresentando 150 micras, material de polipropileno virgem com 70% de luz difusa e transmissividade de 85%.

Filme Leitoso GINEGAR Importado 120 Micras.

Os filmes leitosos têm por característica a limitação da luz para seu interior, controlando a radiação luminosa fornecendo mais sombras, indicado para culturas que não suportam uma quantidade excessiva de radiação luminosa apresentando 120 micras, material de polipropileno virgem, gerando sombra clara, apresenta (anti-UV). Para Katsoulas et al., (2020) quando um material plástico absorve a radiação ultravioleta, essa categoria de material é denominada anti-UV.

Filmes Extra Longa Vida Transparente.

Os filmes plásticos transparentes têm a finalidade de fornecer uma passagem maior de luz, apresenta 150 micras, material de polipropileno virgem que permite a passagem de 100% UV.

Telado

O modelo de tela utilizada na lateral das estufas foi a tela antiafídeo com a característica de 50 mesh – *lahuman*. Essa tela tem como finalidade limitar a passagem de insetos, ao mesmo tempo em que permite a circulação do ar interno. Essa escolha visa proteger as plantas das pragas, garantindo um ambiente adequado para o crescimento e desenvolvimento saudável das culturas nas estufas.

3.4 Área Experimental.

O experimento envolveu a construção de três módulos de estufas independentes, cada um com uma altura fixa de 3 metros de pé-direito e um raio de arco de 1,5 metros, totalizando 4,5 metros de altura.

Em seguida, realizou-se a fixação das barras centrais usando concreto com traço 1:2:3 de cimento, areia e brita, respectivamente conforme ilustrado na Figura 12. As barras do pé-direito foram fixadas com parafusos sextavados de 5/16 x 2 polegadas.

As Figuras 12 e 13 ilustram os modelos de estufas que serviram de base para a fixação das coberturas, sendo esses modelos com dimensões de 7 x 4 metros e uma altura de 3 metros de pé-direito.

Figura 12: Estufa utilizada como base para a montagem dos módulos independentes



Fonte: Autor (2023)

Após a conclusão da montagem de toda a estrutura, conforme mostrado na Figura 12 e Figura 13 iniciou-se a instalação dos filmes plásticos nos módulos. Para separar os módulos, foram utilizadas barras de metalons com dimensões de 60 x 40 x 2 mm, que foram soldadas e serradas para atingirem 7 metros de largura e 4 metros de comprimento (Figura 13).

Figura 13: Processo de separação dos módulos para a fixação dos arcos dos três módulos



Fonte: Autor (2023)

O primeiro módulo recebeu o filme difusor, que possui dimensões de 14 metros por 4 metros, totalizando uma área de 28 m². O segundo módulo foi coberto com um filme transparente, enquanto o terceiro módulo recebeu o filme leitoso, ambos com as mesmas dimensões como ilustra a figura 14.

Figura 14: Separação dos três módulos com a estrutura montada.



Fonte: Autor (2023)

3.5 Instalações das Coberturas

Para a fixação dos filmes, foram utilizados perfis simples para as laterais e perfis duplos para o arco, juntamente com molas de fixação. Na etapa mostrada na figura 15, o perfil duplo é responsável por receber parte do filme da cobertura (do arco) e parte do filme lateral, o que justifica a sua importância nesse contexto.

Para garantir um ajuste adequado e evitar possíveis vazamentos ou danos aos filmes plásticos durante o uso da estufa, utilizou-se molas fixadoras nos perfis duplos. A Figura 15 ilustra as etapas de fixação dos plásticos, e para isso, foram empregadas molas fixadoras especialmente projetadas para estufas agrícolas.

Figura 15: Montagem e fixação das três coberturas nas três estufas.



Fonte: Autor (2023)

Com a instalação completa dos módulos como mostra a figura 16, iniciou-se a montagem das estações de coletoras dentro e fora do ambiente. A distribuição das estações seguiu uma distribuição lógica como é mostrado na figura 16 e 17.

Figura 16: Cobertura Difusora, Transparente e Leitosa instaladas nas três estufas independentes.



Fonte: Autor (2023)

A figura 17 ilustra a distribuição espacial das Estações de coletas de dados no interior dos ambientes protegidos. Cada cobertura apresentou as mesmas distribuições espacial contendo nove estações de coleta.

Figura 17: Distribuição e fixação das estações de coletas de dados na Estufa com Filme Transparente

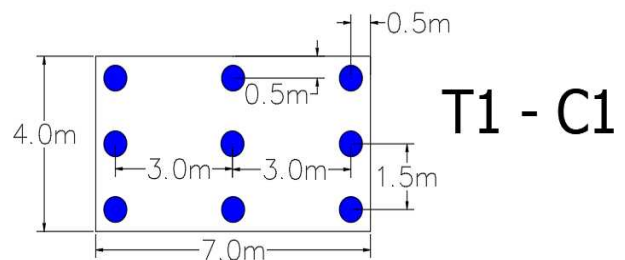
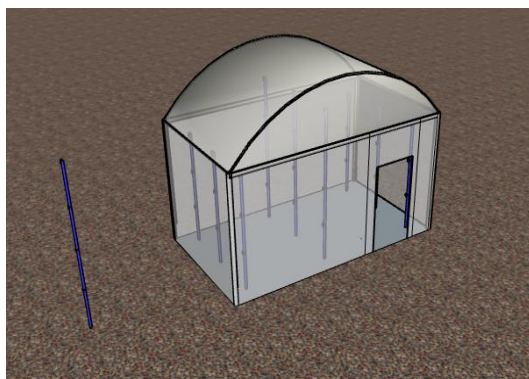


Fonte: Autor (2023)

3.6 Distribuição Espacial das Estações de Coletas

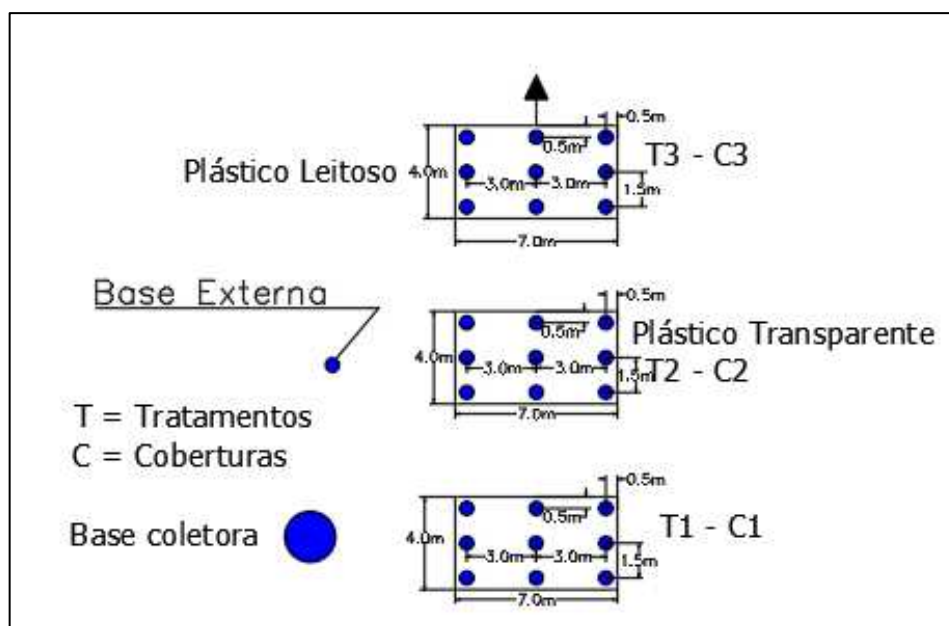
As distribuições espaciais das estações de coleta de dados foram realizadas conforme ilustrado na Figura 18. As estações foram posicionadas no ambiente interno, com um espaçamento padrão de 0,5 m de distância em relação às laterais e 3 m de distância entre as estações, como é mostrado na Figura 19.

Figura 18: Distribuição interna das nove Estações de coletas de dados nas três Estufas analisadas



Fonte: Autor (2023)

Figura 19: Croqui de distribuição dos coletores de dados para as três coberturas (Difusor, Transparente e Leitoso), respectivamente.



Fonte: Autor (2023)

A disposição das estações de coleta de dados seguiu um planejamento por etapas. A primeira etapa, denominada Tratamento T1 - C1 (estufa 1 – Filme Difusor), com isso, cada um dos tratamentos teve uma duração de 12 dias e seguiu uma organização conforme as Figuras 18 e 19.

As três estações de coleta centrais foram equipadas com quatro sensores de temperatura e umidade relativa do ar, enquanto as seis estações de coleta laterais possuíam três sensores cada, totalizando 4 m (Estações de coleta central) e 3 m (Estações de coleta lateral), respectivamente. Além disso, para quantificar as variações microclimáticas, uma estação de coleta foi instalada no ambiente externo, com o objetivo de obter informações sobre as variações ao longo do experimento. Essa estação de coleta adicional contribuiu para uma análise mais abrangente dos dados coletados.

Para facilitar a instalação, foram construídas bases de concreto que auxiliam na fixação das estações de coletas nos locais correspondentes. Adicionalmente, foram fixadas tábuas de madeira a uma altura de 2,5 m para sustentar as estações, como ilustra a figura 20.

Figura 20: Fixação das caixas de proteção com os componentes eletrônicos em cada Estação de coletas



Fonte: Autor (2023)

3.7 Período de Coletas dos dados

O experimento foi dividido em quatro fases de coletas. As três primeiras fases envolveram coletas separadas, e a última fase abrangeu a coleta de todos os dados microclimáticos das três estufas simultaneamente.

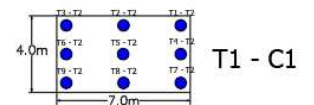
A primeira coleta foi realizada na Estufa 01, utilizando o filme plástico Difusor, conforme ilustrado na Figura 21. Ela teve início em 4 de março de 2023 e se estendeu até 14 de maio do mesmo ano.

Figura 21: Primeira coleta com o Filme Difusor para a primeira estufa analisada



T = Tratamentos 1
C = Coberturas Difusor

Base coletora ●



Fonte: Autor (2023)

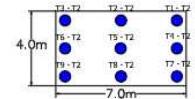
As coletas foram mantidas em campo por um longo período devido aos problemas de comunicação que surgiram durante o experimento, principalmente em relação à conexão com o provedor de internet e problemas de comunicação entre as Estações de coletas. Após completar um intervalo sem alterações nas coletas de no mínimo 12 dias, foram retiradas as nove Estações de coleta e implementadas na Estufa 2, como mostrado na Figura 22.

A segunda coleta foi realizada na Estufa 02, Figura 22, utilizando o filme plástico Transparente, e iniciou-se em 16 de maio, permanecendo em campo até 28 de maio. No total, foram coletados 12 dias.

Figura 22: Segunda coleta com o Filme Transparente para a segunda estufa analisada



T = Tratamentos 2
C = Coberturas Trans.



T2 - C2

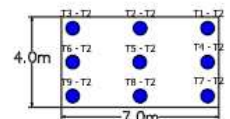
Fonte: Autor (2023)

A terceira análise teve início em 29 de maio de 2023 e foi concluída em 16 de junho. Para fins de análise, foram considerados intervalos de 12 dias mais completos. A Figura 23 ilustra as estações instaladas na Estufa 3, que utilizou o filme plástico Leitoso.

Figura 23: Terceira coleta com o Filme Leitoso para a terceira estufa analisada



T = Tratamentos 3
C = Coberturas Leitoso



T3 - C3

Fonte: Autor (2023)

A Figura 24 ilustra a instalação das estações de coleta. Em cada estufa, foi instalada uma malha de sensores contendo 30 sensores distribuídos em seu interior.

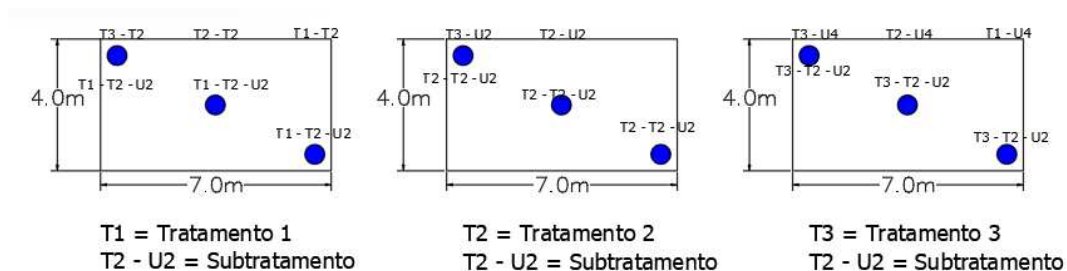
Figura 24: Instalações das Estações de Coletas (Estufa 1) e fixação dos cabos de alimentação dos sensores



Fonte: Autor (2023)

A quarta etapa de coleta de dados teve início em 11 de junho e se estendeu até 27 de julho. Após a conclusão da coleta de dados de temperatura e umidade, foram considerados apenas os intervalos de dias comuns para as três estufas, desde que não houvesse falta de dados ou erros nas leituras. Dessa forma, foram mantidos 12 dias de coletas para as análises estatísticas. Em cada estufa, foram instaladas três Estações de coleta de dados, como mostrado no esboço da Figura 25.

Figura 25: Distribuição das Estações de coletas de dados simultaneamente para os filmes Difusor, Transparente e Leitoso



Fonte: Autor (2023)

Para a análise estatística das estufas simultâneas, utilizou-se como referência a estação central (Difusor, Temp. 2m e Umid.2m; Transparente, Temp. 2m e Umd.2m e Leitoso, Temp.2m e Umd.2m), como é ilustrado na figura 24 e 25. Onde T2 e U2 representam os dados de temperatura e umidade nas alturas de 2 m. Isso permitiu a análise do comportamento de cada cobertura plástica nas alturas de 2 m simultaneamente, como será discutido posteriormente.

3.8 Análise Estatística dos dados coletados

Nesta etapa, realizaram-se três análises independentes. A primeira análise avaliou as variações climáticas em cada cobertura separadamente (Difusor, Leitoso e Transparente), usando a Estação coletora central nos intervalos de 12 dias como tratamento e nas alturas de 2 e 4 m como Subtratamentos.

A segunda análise envolveu as nove Estações coletoras nas alturas de 2 e 4 m para cada cobertura. Enquanto a terceira análise comparou as coberturas plásticas Difusor, Transparente e Leitoso a uma altura de 2 metros simultaneamente.

Para avaliar as variações de temperatura e umidade relativa do ar em cada tipo de cobertura, analisamos o comportamento climático nos horários de 3, 9, 12, 15 e 21 horas. Cada uma dessas análises foi realizada independentemente.

Os tratamentos consistiram em nove estações de coleta de dados, com subtratamentos representando diferentes alturas entre os sensores. Nas análises, aplicou-se os seguintes arranjos fatoriais:

1. Na primeira análise, foi utilizado um arranjo fatorial 4x12 representando a Estação Central, correspondendo a temperatura e umidade (T2 e U2 bem como T4 e U4) nas alturas de 2 e 4 metros nos doze dias analisados.

2. Na segunda análise, adotou-se um arranjo fatorial 4x9, representando as nove Estações para a temperatura e umidade (T2 e U2 bem como T4 e U4) nas alturas de 2 e 4 metros.

3. Na terceira análise, considerou-se a alturas: 2 metros (T2 e U2) seguindo um arranjo fatorial 2x3, representando as três coberturas para a temperatura e umidade na altura de 2m, como ilustrado nas Figuras 26 e 27.

Com base nessas análises, foi possível determinar qual tipo de cobertura plástica apresentou as menores variações térmicas no ambiente interno em relação aos 12 dias analisados, bem como as variações termais dentro do ambiente interno nas diferentes alturas,

como também as variações entre as diferentes coberturas plásticas em relação a Estação de coleta central.

A Figura 26 ilustra a distribuição espacial das estações coletoras dentro do ambiente interno. Cada tipo de filme plástico (Tratamento) incluiu nove estações. Para a análise separada de cada tipo de cobertura ao longo dos 12 dias de pesquisa, as nove estações foram tratadas como variáveis de tratamento, bem como as alturas de 2 e 4 m como subtratamentos (T2 e U2, assim como T4 e U4).

Figura 26: Estufa 1 distribuição dos Tratamento e Subtratamento (T2-U2)

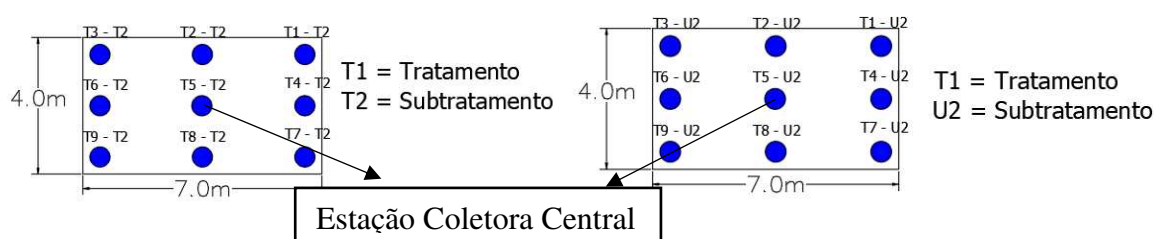
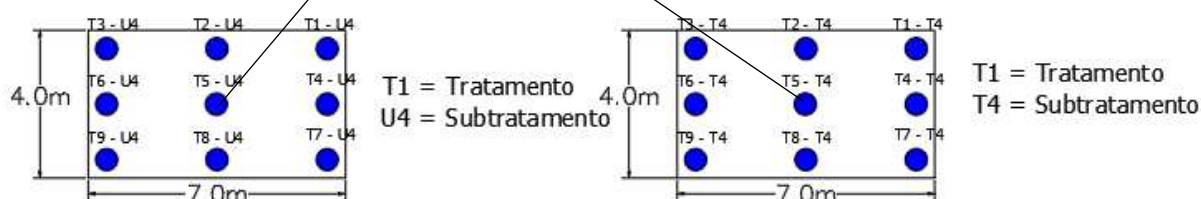


Figura 27: Estufa 1 distribuição dos Tratamento e Subtratamento (T4-U4)



Fonte: Autor (2023)

Para a análise estatística, foram considerados dois níveis de altura para os sensores, 2 e 4 m e três tipos de plásticos de cobertura. Com o intuito de realizar uma análise estatística abrangente, as medições de temperatura e umidade relativa do ar foram coletadas em intervalos acada 5 minutos durante o dia e a noite, no intervalo de 12 dias.

Foram realizadas análises nos seguintes horários: 3h da madrugada, 9h da manhã, 12h do meio-dia, 15h da tarde e 21h da noite, essas repetições foram utilizadas para determinar as variações termicas entre coberturas plásticas.

Cada uma dessas coletas foi tratada como uma repetição do experimento ao longo dos 12 dias, o que resultou na formação de um conjunto de dados representativo e significativo. O objetivo dessa análise inicial foi explorar as variações ao longo do dia e possibilitar uma compreensão mais abrangente dos padrões observados.

O teste estatístico utilizado foi a Análise de Variância (ANOVA) não paramétrica, conhecida como teste de Kruskal-Wallis, para a comparação entre as amostras é uma abordagem apropriada quando se deseja avaliar se há diferenças significativas entre três ou mais grupos em relação a uma variável de interesse. Esse teste é uma alternativa robusta à ANOVA paramétrica, adequada para dados não normais ou ordinais (MARÔCO, 2018).

As hipóteses envolvidas no teste de Kruskal-Wallis são expressas da seguinte forma (Equação 1 e 2):

Hipótese Nula - H0:

$$- H0: F1(y) = F2(y) = \dots = Fk(y) \quad (1)$$

Isso implica que as amostras não diferem estatisticamente entre si, ou seja, todas as k amostras provêm da mesma distribuição subjacente.

Hipótese Alternativa - H1:

$$- H1: F1(y) \neq F2(y) \neq \dots \neq Fk(y) \quad (2)$$

Nesse caso, a hipótese nula (H0) declara que todas as k amostras vêm da mesma distribuição, enquanto a hipótese alternativa (H1) sugere que pelo menos uma das amostras difere estatisticamente das demais.

O resultado obtido do valor-p no teste de Kruskal-Wallis determina se a hipótese nula pode ser rejeitada. Um valor-p menor que 0,05 (5%) de nível de significância indica que há evidências estatísticas significativas contra a hipótese nula, sugerindo que pelo menos um grupo é estatisticamente diferente dos demais em relação à variável de interesse.

Para melhor compreensão dos dados, foi realizado um tratamento dos valores de temperatura e umidade relativa do ar para todos os dados coletados. Utilizou-se equações lineares para calcular o coeficiente de determinação (R^2) e, assim, conduzir a análise estatística. Isso permitiu a identificação de padrões mais claros entre os dados coletados.

Para verificar a normalidade das amostras, utilizou-se o teste estatístico de Shapiro-Wilk. Este teste avalia a hipótese nula de normalidade nos dados gerados. O valor de normalidade é representado por W. Quanto mais próximo de 1, melhor a distribuição se aproxima da normalidade; quanto menor, menos os dados seguem uma distribuição normal. Dado que os dados não apresentaram uma distribuição normal, foi necessário realizar um ajuste nos dados, gerando equações lineares e utilizando os valores de R^2 .

Para gerar as equações, utilizou-se as variáveis dependentes representadas como (y) e as variáveis independentes representadas como (x). As variáveis (y) correspondem aos dados

coletados internamente, enquanto os valores (x) correspondem aos dados externos para cada tratamento e subtratamento nas suas respectivas alturas de 2 e 4 metros. Com base nos valores de R^2 , foi gerada a estatística não paramétrica utilizando o teste de Kruskal-Wallis.

As análises comparativas foram realizadas empregando o teste de Kruskal-Wallis, um método estatístico não paramétrico utilizado para comparar a distribuição de três ou mais grupos. Esse teste é baseado no valor estatístico de teste H , que é comparado a uma distribuição qui-quadrado com nível de significância $p < 0,05$, indicando variação estatisticamente significativa entre as medianas.

Para identificar quais grupos apresentaram diferenças significativas, foi utilizado o teste de comparação múltipla, por meio do teste DSCF. Esse método é especialmente adequado para comparar medianas de diversos grupos, analisando todos os pares de grupos e apresentando um valor de p . Uma das vantagens desse método é sua independência em relação à suposição de normalidade dos dados.

Utilizou-se o programa estatístico JAMOVI gratuito versão 2.4.11, para gerar os gráficos foram utilizado o programa Visual Stude Code e o Python versão 3.12.0 como linguagem de programação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Teste de Normalidade

Os resultados do teste de Normalidade de Shapiro-Wilk estão apresentados na Tabela 1 abaixo. Nesses resultados, observou-se que os dados de temperatura e umidade relativa do ar nas estufas 1, 2 e 3, nas alturas de 2 e 4 m analisadas, não seguem uma distribuição normal.

Tabela 1: Teste de Normalidade para a Temperatura a 2 m e a 4 m para o filme Difusor.

T2 - T4	Mediana	Desvio-padrão	Shapiro-Wilk	
			W	p
T2	27.4	6.42	0.842	<.001
T4	27.3	6.78	0.843	<.001

Fonte: Autor (2023)

A relação do desvio padrão como ilustrado na Tabela 1 em relação às alturas teve valores aproximados, o que indica que os dados variaram pouco em relação à mediana.

Quando os dados não seguem uma distribuição normal, como indicado nas Tabelas 1 e 2, torna-se necessário considerar a utilização de outros métodos, como métodos não paramétricos ou a aplicação de transformações nos dados para melhorar a distribuição entre as amostras. A fim de melhorar a distribuição dos dados, foi empregado o coeficiente de determinação (R^2) das equações lineares para fins estatísticos.

Os valores de temperatura a 2 metros de altura (T2) quanto as de temperatura a 4 metros de altura (T4) não apresentam simetria (Figura 28). Resultados iguais foram observados na Tabela 2 no teste de normalidade para a Umidade Relativa do Ar a 2 metros e a 4 metros.

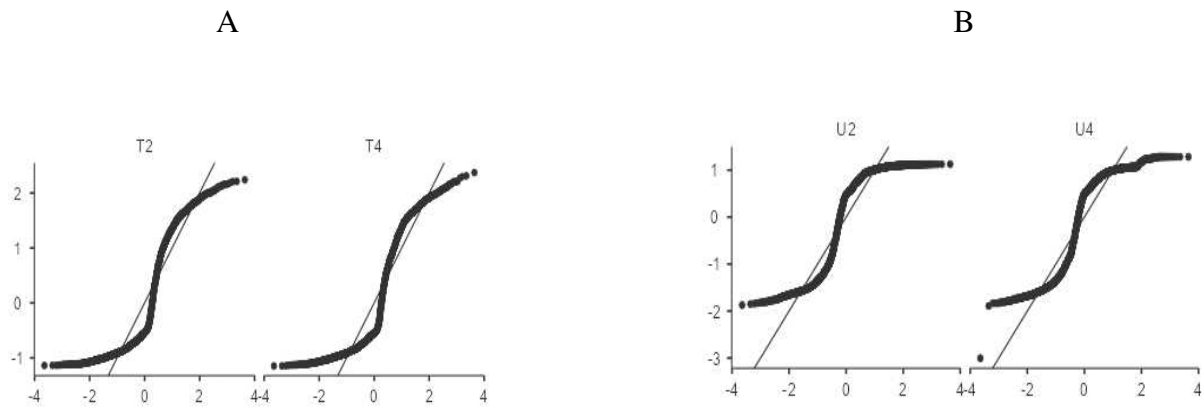
Tabela 2: Teste de Normalidade para Umidade a U2 e a U4 para o filme Difusor

U2 - U4	Mediana	Desvio-padrão	Shapiro-Wilk	
			W	p
U2	85,7	21,8	0.848	<.001
U4	83,3	21,2	0.856	<.001

Fonte: Autor (2023)

A figura 28 ilustra o gráfico Q-Q (quantil-quantil). Quanto mais os dados se afastam da linha de distribuição, isso indica que os valores observados não seguem uma distribuição normal.

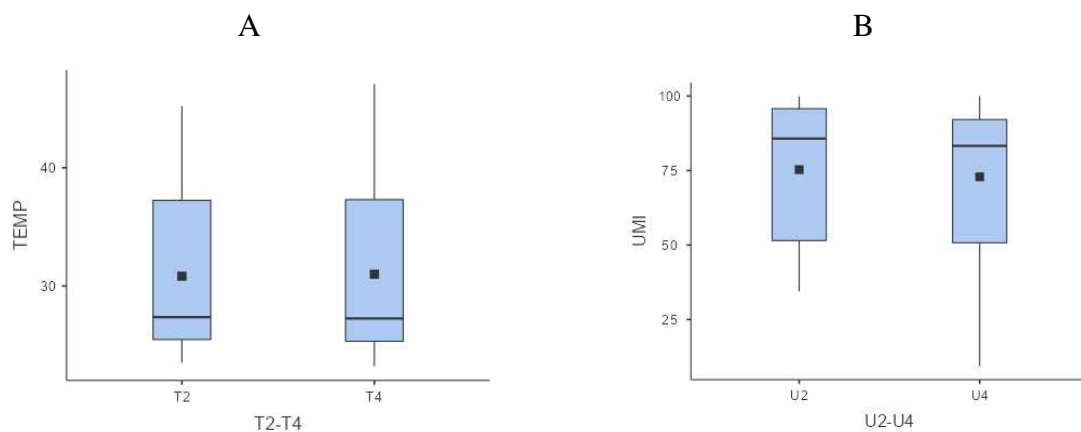
Figura 28: Dispersão da Temperatura (A) e UR do ar (B) para a Estufa 1 Interna.



Fonte: Autor (2023)

A análise dos gráficos de BoxPlot (Figura 29) revela uma distribuição notável entre os dados de Temperatura (Figura 29 A e 29 B) em que os valores máximos ultrapassam 35°C, considerando uma maior variabilidade nos extremos Superiores.

Figura 29: BoxPlot para os dados da Estufa 1 Interna.



Fonte:
Autor
(2023)

Entretanto, os valores da mediana estão mais concentrados em torno de 25°C, enquanto a média situou-se em torno de 32°C. Já valores no extremo mínimo apresentaram uma menor dispersão.

Por outro lado, os dados de umidade a 2 e 4 m (Gráfico B) exibem um padrão distinto. Os valores nos extremos superiores apresentam menores variações, enquanto os valores nos extremos mínimos apresentaram maiores variações entre 50 % e 22 % de umidade relativa do ar (UR). A mediana concentra-se a 85 % da UR, já a média em torno de 75%.

4.1.1 Teste de Análise de Variação – Não Paramétrica (ANOVA)

A Tabela 3 ilustra a análise de variâncias para a estufa 01 com o filme plástico Difusor para os Tratamentos (12 dias) nos dias analisados. Foram examinados 12 dias, nos quais as repetições ocorreram a cada 3 horas, ou seja, às 3h, 9h, 12h, 15h e 21h, em todas as três estufas. Foram utilizadas as torres centrais como subtratamentos nas alturas Est.5 (Estação de coleta 5) Temp.2m, Est.5 Umd.2m e Est.5 Temp.4m, Est.5 Umd.4 m e os 12 dias como Tratamentos.

Tabela3: ANOVA (não-paramétrica) para as horas de 3h, 9h, 12h, 15h e 21h da Estufa 1.

3h					9h				
Kruskal-Wallis					Kruskal-Wallis				
	χ^2	gl	p	ϵ^2		χ^2	gl	p	ϵ^2
T2-3	11.0		11 0.443	1.00	T2-9H	11.0		11 0.443	1.00
U2-3H	11.0		11 0.443	1.00	U2-9H	11.0		11 0.443	1.00
T4-3H	11.0		11 0.443	1.00	T4-9H	11.0		11 0.443	1.00
U4-3H	11.0		11 0.443	1.00	U4-9H	11.0		11 0.443	1.00

12h					15h				
Kruskal-Wallis					Kruskal-Wallis				
χ^2	gl	p	ϵ^2		χ^2	gl	p	ϵ^2	
T2-12H	11.0		11 0.443	1.00	T2-15H	11.0		11 0.443	1.00
U2-12H	11.0		11 0.443	1.00	U2-15H	11.0		11 0.443	1.00
T4-12H	11.0		11 0.443	1.00	T4-15H	11.0		11 0.443	1.00
U4-12H	11.0		11 0.443	1.00	U4-15H	11.0		11 0.443	1.00

21h				
Kruskal-Wallis				
	χ^2	gl	p	ϵ^2
T2-21H	11.0		11 0.443	1.00
U2-21H	11.0		11 0.443	1.00
T4-21H	11.0		11 0.443	1.00
U4-21H	11.0		11 0.443	1.00

Gl- grau de liberdade; p-valor; ϵ^2 - eta ao quadrado

Fonte: Autor (2023)

As análises de variâncias apresentadas na Tabela 3 não apresentaram variações ao longo dos tratamentos para a Estufa 01, resultados semelhantes foram encontrados para as demais estufas 02 (Transparente) e 03 (Leitoso), apresentados nas Tabela 4 e Tabela 5 respectivamente. Esses resultados indicam que, ao longo dos tratamentos, as coberturas não apresentaram variações estatísticas de temperatura e UR ao longo das repetições.

Tabela 4: ANOVA (não-paramétrica) para as horas de 3h, 9h, 12h, 15h e 21h da Estufa 2.

3h					9h				
Kruskal-Wallis					Kruskal-Wallis				
	χ^2	gl	p	ϵ^2		χ^2	gl	p	ϵ^2
T2-3	11.0		11 0.443	1.00	T2-9H	11.0		11 0.443	1.00
U2-3H	11.0		11 0.443	1.00	U2-9H	11.0		11 0.443	1.00
T4-3H	11.0		11 0.443	1.00	T4-9H	11.0		11 0.443	1.00
U4-3H	11.0		11 0.443	1.00	U4-9H	11.0		11 0.443	1.00

12h					15h				
Kruskal-Wallis					Kruskal-Wallis				
χ^2	gl	p	ϵ^2		χ^2	gl	p	ϵ^2	
T2-12H	11.0		11 0.443	1.00	T2-15H	11.0		11 0.443	1.00
U2-12H	11.0		11 0.443	1.00	U2-15H	11.0		11 0.443	1.00
T4-12H	11.0		11 0.443	1.00	T4-15H	11.0		11 0.443	1.00
U4-12H	11.0		11 0.443	1.00	U4-15H	11.0		11 0.443	1.00

21h				
Kruskal-Wallis				
	χ^2	gl	p	ϵ^2
T2-21H	11.0		11 0.443	1.00
U2-21H	11.0		11 0.443	1.00
T4-21H	11.0		11 0.443	1.00
U4-21H	11.0		11 0.443	1.00

Gl- grau de liberdade; p-valor; ϵ^2 - eta ao quadrado

Fonte: Autor (2023)

Tabela 5: ANOVA (não-paramétrica) para as horas de 3h, 9h, 12h, 15h e 21h da Estufa 3.

3h					9h				
Kruskal-Wallis					Kruskal-Wallis				
	χ^2	gl	p	ϵ^2		χ^2	gl	p	ϵ^2
T2-3	11.0		11 0.443	1.00	T2-9H	11.0		11 0.443	1.00
U2-3H	11.0		11 0.443	1.00	U2-9H	11.0		11 0.443	1.00
T4-3H	11.0		11 0.443	1.00	T4-9H	11.0		11 0.443	1.00
U4-3H	11.0		11 0.443	1.00	U4-9H	11.0		11 0.443	1.00

12h				
Kruskal-Wallis				
χ^2	gl	p	ϵ^2	
T2-12H	11.0		11 0.443	1.00
U2-12H	11.0		11 0.443	1.00
T4-12H	11.0		11 0.443	1.00
U4-12H	11.0		11 0.443	1.00

15h				
Kruskal-Wallis				
χ^2	gl	p	ϵ^2	
T2-15H	11.0		11 0.443	1.00
U2-15H	11.0		11 0.443	1.00
T4-15H	11.0		11 0.443	1.00
U4-15H	11.0		11 0.443	1.00

21h				
Kruskal-Wallis				
χ^2	gl	p	ϵ^2	
T2-21H	11.0		11 0.443	1.00
U2-21H	11.0		11 0.443	1.00
T4-21H	11.0		11 0.443	1.00
U4-21H	11.0		11 0.443	1.00

Gl- grau de liberdade; p-valor; ϵ^2 - eta ao quadrado

Fonte: Autor (2023)

As coberturas com o filme difusor, transparente e leitoso não apresentaram grandes variações de temperatura e umidade relativa do ar nos intervalos de dias analisados. Como mostrou as análises de variâncias (Tabelas 3, 4 e 5), fator esse importante quanto às variações climáticas para os cultivos em casa de vegetação, visto que as altas variações de temperatura ao longo dos dias interferem diretamente o desenvolvimento das culturas (KHAMMAYOM, et al. 2022 e KERBAUY, 2013).

Pode-se destacar que o fato de que as estufas não apresentavam cultivos em seu interior, nem materiais que pudessem interferir na distribuição e no armazenamento de calor durante esses dias, foi fundamental para os valores de temperatura e umidade relativa do ar não apresentarem grandes variações ao longo do experimento.

A presença da tela antiafídeo pode ter influenciado a troca de calor do ambiente externo com o interno, mantendo as variações microclimáticas menores durante a pesquisa, existindo menor influência do ambiente externo em relação ao interno (DUARTE et al. 2011 e FATNASSI et al. 2006).

No trabalho realizado por Silva et al. (2021), que avaliou o comportamento de diferentes coberturas plásticas, incluindo o filme transparente (PEBD), os autores constataram que durante as mudanças de estação, as variáveis microclimáticas temperatura e umidade relativa do ar não apresentaram variações significativas entre a primavera e o verão.

É importante observar que a presença de plantas ou outros elementos dentro das estufas pode ter um impacto significativo na variação da temperatura ao longo do tempo. Por

exemplo, fatores como o material do PVC, o solo, o sistema de irrigação e a própria cultura (XU et al., 2022; MARUCCI, 2013) podem desempenhar papéis cruciais nessa dinâmica.

Segundo Xu, Ke et al. (2022), ao avaliar a distribuição espacial da temperatura no interior de uma estufa agrícola, também constataram que a temperatura oscila de 1 a 2°C na mesma altura. Essa característica de oscilações de temperatura mais lentas, pode ser mais adequada para culturas que exigem uma estabilidade térmica maior, como algumas variedades de plantas sensíveis ao estresse térmico como tomate cereja (ZOU et al., 2023) reduzindo negativamente seu desenvolvimento (TONHATI et al., 2020)

4.2 Análise de Variância Entre Estações de Coleta de Dados

4.2.1 Estações de Coletas de Dados Central Instalados na Estufa coberta com filme difusor

Ao analisar o comportamento da temperatura nos tratamentos e subtratamentos da estufa com filme difusor, observou-se que não houve diferença estatística significativa nas temperaturas dos subtratamentos a 4 metros de altura (T4) Tabela 6. No entanto, a umidade relativa do ar a 2 metros (U2) e a temperatura a 2 metros (T2) apresentaram níveis de significância com p-Valor < 0,05 (5%).

Ao analisar separadamente os resultados para ambas as alturas, 2 e 4 metros, observam-se resultados semelhantes. Isso sugere que as temperaturas nas estações de 2 metros não variaram ao longo do experimento, confirmando a estabilidade da cobertura ao longo dos dias. As altas temperaturas e suas oscilações assim como a iluminação são variáveis microclimáticas que interferem no bom desenvolvimento fotossintético das plantas. (KERBAUY, 2013).

Entretanto, ao analisar a altura de 4 metros, observa-se resultados similares, com exceção da umidade relativa do ar nos tratamentos Est.6, Est.4 e Est.8, onde foi observada diferença significativa.

Análise de variância ilustrada na Tabela 6 fornece uma interpretação das variações entre as nove Estações de coleta interna da estufa 1. O valor de ϵ^2 está relacionado ao grau de influência da variável independente sobre a variável dependente. Valores maiores de ϵ^2 sugerem que a variável independente tem um efeito mais significativo sobre a variável dependente

Tabela 6: ANOVA (não-paramétrica) análise comparativo entre as Estação do filme Difusor (Estação 5)

	X ²	gl	p	ε ²
T2	16.9	8	0.031*	0.158
T4	15.2	8	0.055 ^{ns}	0.142
U2	16.3	8	0.040*	0.152
U4	21.7	8	0.006**	0.202

Gl- grau de liberdade; p-valor; ε² - eta ao quadrado; * Significativo a 5% (0.05); ** Significativo a 1% (0.01); ns Não significativo

Esse padrão foi consistente em todas as análises da estufa utilizando o filme Difusor. Trabalhos realizados por Paradiso et al. (2023) que avaliaram a qualidade nutricional e nutracêutica da rúcula em função da cobertura plástica de estufa agrícola constataram que a cobertura plástica tipo "Difusor" foi responsável pelo aumento no rendimento da rúcula e na absorção de nitrogênio, em comparação com o filme transparente.

Ao analisar os valores do tamanho do efeito (ε²), é notório que as alturas apresentam uma diferença relevante na prática. No entanto, seus valores de significância estatística com um p<1% foi apenas para a UR do Ar a U4.

Para determinar quais os tratamentos (Estações) apresentaram diferenças estatística na umidade relativa do ar a uma altura de 4 m (U4), foi utilizado o teste de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner, conforme demonstrado na tabela 7.

Tabela 7: Comparações múltiplas entre os Tratamentos da Umidade a 4m para o filme Difusor

		W	P
Est. 4 - Umd. 4m	Est. 6 - Umd. 4m	-4.736	0.023*
Est. 6 - Umd. 4m	Est. 8 - Umd. 4m	4.736	0.023*

* Significativo a 5% (0.05)

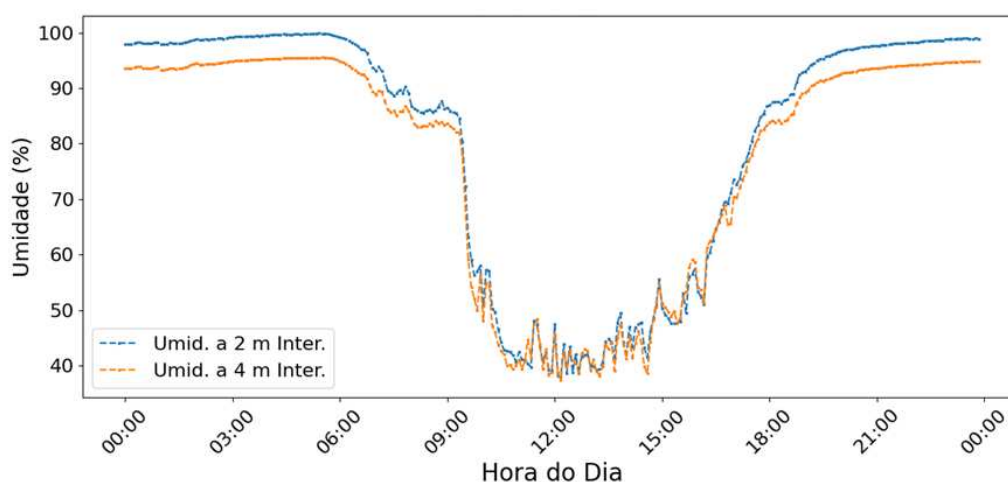
Os resultados indicam diferenças estatísticas significativas a 5% nas Estações de coleta de dados instaladas nas laterais da estufa com o filme difusor entre as combinações Est.4-U4 e Est.6U4, assim como entre Est.8U4 e Est.6U4.

As figuras 30 e 31 ilustram o comportamento da umidade relativa do ar (UR) e da temperatura em diferentes alturas analisadas. A Figura 30 refere-se à umidade relativa do ar a

2 e 4 m de altura. É evidente um padrão semelhante na curva ao longo do dia para ambas as alturas, o que corrobora o que foi apresentado na Tabela 6.

Nos intervalos noturnos para a estação central 5, observa-se que a Umidade Relativa (UR) a 4 metros se afasta da curva da UR a 2 metros. Essas diferenças não foram significativas ao longo dos dias analisados, conforme demonstrado na Tabela 6.

Figura 30: Umidade Interna a 2 m e a 4 m para a Estação Central 5 com o filme Difusor

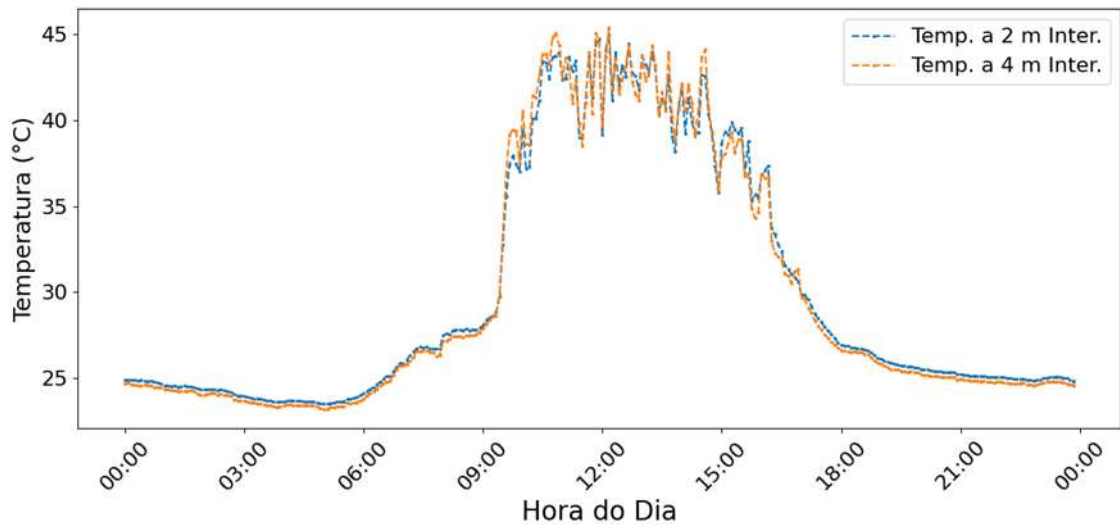


Fonte: Autor (2023)

Dados semelhantes foram observados nas temperaturas das alturas de 2 e 4 metros; no entanto, os valores não apresentaram diferenças significativas, tanto durante o dia quanto à noite, conforme demonstrado na Figura 31. Oliveira et al. (2023) destacam a importância de baixas variações térmicas entre o dia e a noite, pois essas oscilações influenciam negativamente no bom desenvolvimento das culturas.

O comportamento das temperaturas durante o dia com o filme difusor é semelhante em ambas as alturas, repetindo-se também durante as madrugadas analisadas, Figura 31.

Figura 31: Temperatura Interna a 2 e 4 m para a Estação Central 5 com o filme Difusor

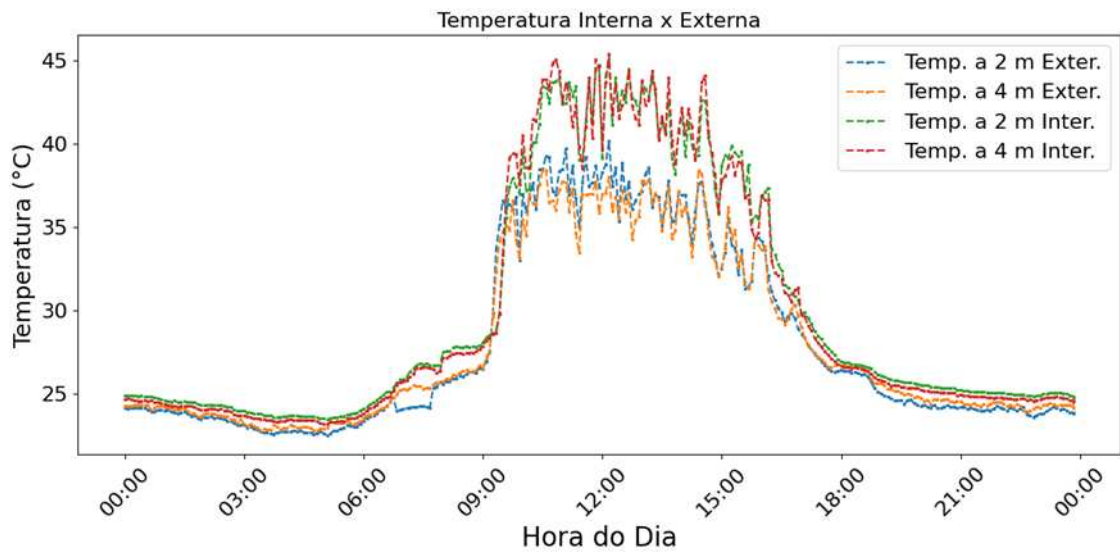


Fonte: Autor (2023)

O filme difusor, como ilustrado nas comparações entre as Estações de Coleta de dados (Tabela 6), tem a capacidade de distribuir uniformemente a luz no interior (LI et al. 2015), melhorando a distribuição na parte vertical das plantas em toda a área (MARUCCI et al., 2013).

Uma análise comparativa entre as temperaturas do filme difusor e a temperatura externa é ilustrada na Figura 32. É possível observar comportamentos muito semelhantes para as alturas no mesmo ambiente. No entanto, ao realizar a análise entre diferentes ambientes, torna-se evidente o grau de diferença de temperatura entre o ambiente interno e externo. Autores como SHIN et al. (2021), BURGESS et al. (2015) e LI et al. (2015) afirmam que as coberturas difusoras apresentam maiores facilidades em dissipar a radiação solar no interior dos ambientes protegidos.

Figura 32: Temperatura de 2 e 4 m Externa e Interna

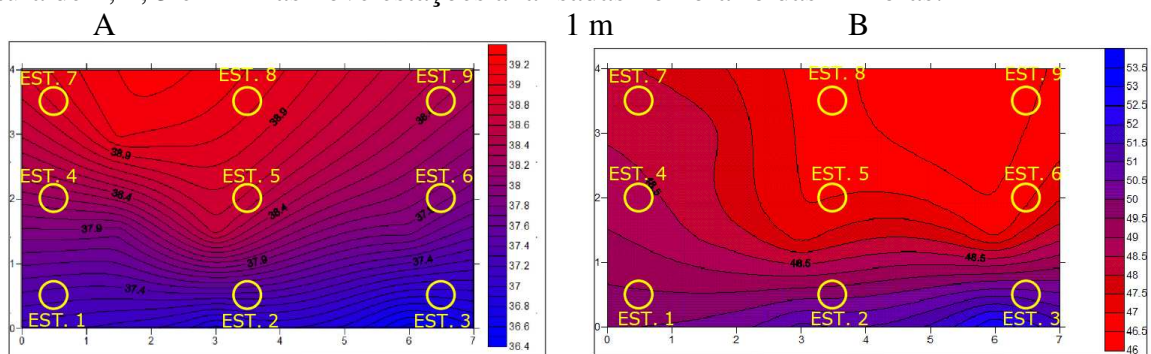


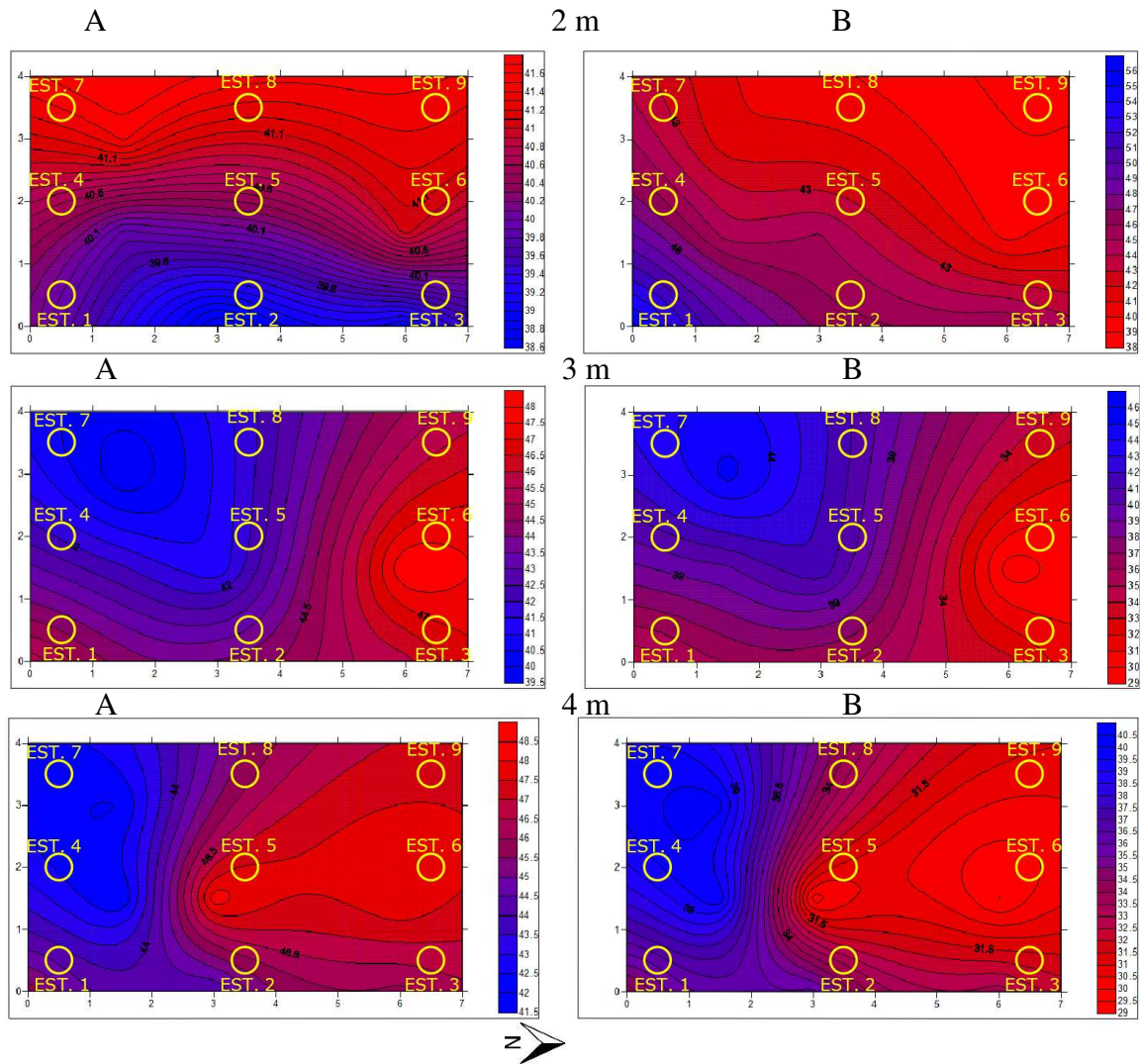
Fonte: Autor (2023)

No período noturno, as temperaturas apresentam valores próximos; no entanto, o ambiente externo sempre registra uma temperatura mais baixa.

A distribuição termal nas 4 alturas é ilustrada na figura 33, é notório que o filme difusor espalhou a temperatura com uniformidade.

Figura 33: Mapa do efeito da Temperatura (A) e Umidade (B) no filme Difusor na altura de 1, 2, 3 e 4 m nas nove estações analisadas no horário das 12 horas.





Fonte: Autor (2023)

Conforme ilustrado na Figura 33, as variações de temperatura oscilam no ambiente interno em diferentes alturas durante o mesmo período. A uma altura de 1 m, a temperatura atinge maiores graus nas estações 7 e 8 regiões oeste, enquanto, a 3 e 4 metros de altura, as maiores temperaturas são encontradas nas estações 3, 5, 6 e 9, na região norte, com maiores temperatura na estação 5.

4.2.2 Estações de Coletas de Dados Central Instalados na estufa coberta com filme transparente

O uso do filme transparente mostrou valores distintos em comparação com o filme difusor na Estufa 01. Os dados da Tabela 8 indicam que ambas os subtratamentos T2, U2, T4 e

U4 se mostraram diferentes entre si nas alturas analisadas, tanto em relação à temperatura (T2 e T4) quanto à umidade (U2 e U4).

Tabela 8: ANOVA na Estação de coleta de dados do filme Transparente (Estufa 02) nas alturas de T2 (Temp. 2m) e U2 (Umid. 2m) e T4 (Temp. 4m) U4 (Umid. 4)

	X ²	gl	p	ε ²
T2	41.8	8	<.001*	0.390
U2	34.3	8	<.001*	0.321
T4	34.9	8	<.001*	0.326
U4	28.2	8	<.001*	0.263

Gl- grau de liberdade; p-valor; ε² - eta ao quadrado; *Significativo a 1% (0.01)

Analisando o efeito da temperatura entre os tratamentos (Esta. 2 m e 4 m), observa-se uma diferença significativa. Os valores muito baixos de p ($p < 0,001$) indicam que essa diferença é altamente significativa. Pode-se afirmar que a temperatura sofre grandes variações dentro do ambiente interno.

Buriol et al. (1995), trabalhando com polietileno transparente de baixa densidade obteve valores mais elevados em comparação com o ambiente externo, valores também observados na presente pesquisa como mostra a Tabela 8.

O valor de ε² relaciona o tamanho do efeito de uma variável dependente em relação a variável independente. De forma semelhante, foi observado o mesmo padrão na Umidade Relativa do Ar (UR) nos subtratamentos 2 e 4 metros.

Foi realizada uma análise comparativa para determinar quais Estações apresentaram diferenças significativas entre si no Subtratamento T2 e U2. Assim como observado no filme Difusor, as estações que mais se destacaram foram aquelas localizadas nas bordas próximas à tela, como: Esta. 1, Esta. 3, Esta. 6, Esta. 7 e Esta. 9 (p -valor $< 0,05$), bem como as Estações centrais: Esta. 2 e Esta. 8. A Tabela 9 ilustra os tratamentos a 2 metros de altura que se diferenciaram estatisticamente entre as Estações de coletas.

Tabela 9.Comparações múltiplas Dwass-Steel-Critchlow-Fligner entre a cobertura transparente alturas de 2 m

Temperatura a 2 m		W	p
Esta. 1-T2	Esta. 6-T2	5.063	0.010*

Esta. 2-T2	Esta. 7-T2	-4.903	0.015*
Esta. 3-T2	Esta. 7-T2	-5.472	0.003**
Esta. 6-T2	Esta. 7-T2	-5.717	0.002**
Esta. 6-T2	Esta. 9-T2	-4.981	0.013*
Esta. 7-T2	Esta. 8-T2	5.063	0.010*

** Significância a 1% * Significância a 5%

As estações 6-T2 e Esta.7-T2 bem com Esta. 3-T2 e Esta.7-T2 foram as que apresentaram as maiores diferenças, enquanto a Esta. 5 não demonstrou diferenças estatística significativas em relação às demais, como apresentado na tabela 9.

Quando se analisa o posicionamento das Estações de coletas de dados, torna-se evidente que o efeito externo sobre o ambiente foi de fundamental importância, uma vez que os tratamentos: Esta. 1, Esta. 2, Esta. 3, Esta. 6, Esta. 7 e Esta. 9 foram instaladas próximas à tela antiafídeo. Essas diferenças de insolação dentro do ambiente acarretam crescimento desordenado das culturas (KIM et al. 2022)

A umidade relativa do ar no subtratamento U2 não apresentou diferenças significativas entre os subtratamentos analisados (p -valor $< 0,01$) como é ilustrado na Tabela 10 na análise de comparação múltipla. Já para um nível de significância de p -valor $< 0,05$ (5%), os tratamentos que se diferenciaram foram: Esta. 1 e Esta. 6, Esta. 3 e Esta. 7, Esta. 6 e Esta. 7, Esta. 6 e Esta. 9, e Esta. 7 e Esta. 8.

Tabela 10:Comparações múltiplas Dwass-Steel-Critchlow-Fligner- Filme Transparente alturas de 2m

Umidade a 2 m		W	p
Esta. 1-U2	Esta. 6-U2	4.574	0.033*
Esta. 3-U2	Esta. 7-U2	-4.492	0.040*
Esta. 6-U2	Esta. 7-U2	-4,738	0.023*
Esta. 6-U2	Esta. 9-U2	-4.493	0.040*
Esta. 7-U2	Esta. 8-U2	4.572	0.033*

*Significância a 5%

Os subtratamentos mostraram diferenças estatística a um nível de significância de 5%. Por outro lado, os valores no subtratamento T2 apresentaram diferenças significativas (p -valor $< 0,01$) apenas para os Tratamentos: Esta. 6-T2, Esta. 7-T2 e Esta. 3-T2, Esta. 7-T2.

O efeito do vento sobre a tela antiafídeo pode ter ocasionado essa diferença de temperatura e umidade relativa do ar nas estações como é ilustrado nas tabelas 9 e 10 para a altura de 2 metros (DUARTE et al. 2011).

A análise comparativa entre os Subtratamentos T4 e U4 (Estações centrais) e T3 e U3 (Estações laterais) revelou diferenças significativas na umidade relativa do ar a um nível de significância de 1%. Os tratamentos que mais se destacaram foram: Esta. 1 e Esta. 6, com valores de 0,004 e 0,002, respectivamente. Ambos esses tratamentos estavam localizados nas laterais da estufa.

Nas alturas mencionadas, os únicos tratamentos que demonstraram diferenças significativas a um nível de 5% foram: Esta. 2 e Esta. 6, Esta. 4 e Esta. 6, Esta. 5 e Esta. 6, bem como: Esta. 6 e Esta. 9. No que diz respeito à temperatura, conforme evidenciado na Tabela 11, a única estação de coleta que não apresentou significância estatística a 5% foi: Esta. 2-T4 e Esta. 6-T3, Esta. 4-T3 e Esta. 6-T3, Esta. 5-T4 e Esta. 6-T3 bem como: Esta. 6-T2 e Esta. 9-T3 o que também ocorreu na análise a 2 metros.

Tabela 11: Comparações múltiplas da temperatura entre as nove estações de coleta de dados para a cobertura transparente.

Temperatura a 3 e 4 metros		W	p
Esta. 1-T3	Esta. 6-T3	5.432	0.004**
Esta. 2-T4	Esta. 6-T3	-4.982	0.013*
Esta. 4-T3	Esta. 6-T3	4.492	0.040*
Esta. 5-T4	Esta. 6-T3	4.492	0.040*
Esta. 6-T3	Esta. 7-T3	-5.638	0.002**
Esta. 6-T2	Esta. 9-T3	-4.818	0.019*

** Significância a 1% *Significância a 5%

Quando realizada a análise de comparação entre o subtratamento U4 -U3 para a Umidade Relativa (UR) ilustrado na Tabela 12, tanto a estação central Esta. 2 quanto as estações laterais: Esta. 2-U4 e Esta. 6-U3 bem como: Esta. 6-U3 e Esta. 9-U3 foram as únicas que apresentaram diferenças significativas entre si para um grau de significância de p-valor<0,05 (5%). Entretanto as demais estações de coletas não apresentaram diferença estatística em nenhum grau de significância.

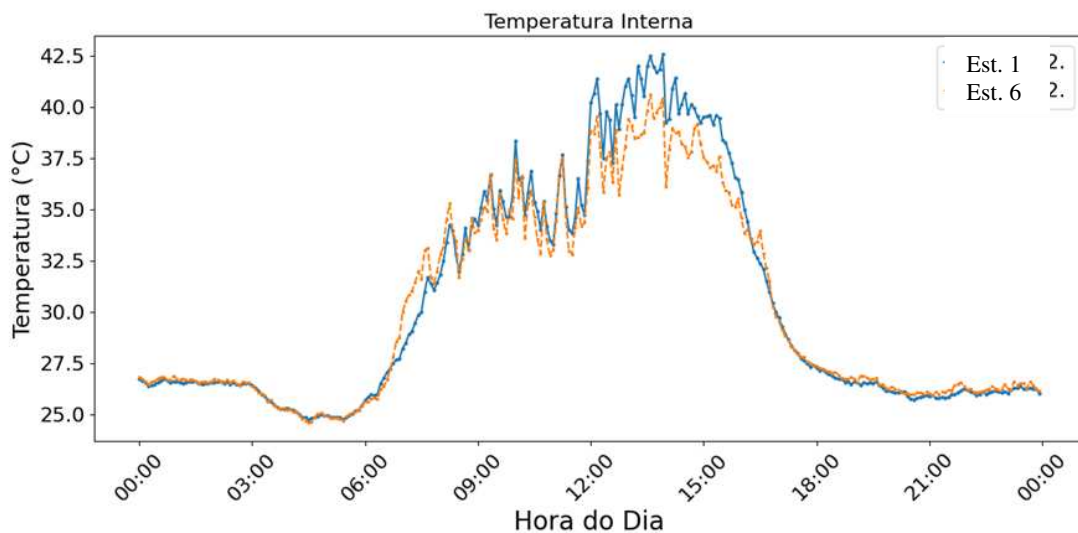
Tabela 12: Comparações múltiplas da umidade entre as nove estações de coleta de dados para a cobertura transparente

Umidade 4 e 3 m		W	p
Esta. 2-U4	Esta. 6-U3	4.7367	0.023*
Esta. 6-U3	Esta. 9-U3	-4.7377	0.023*

* Significância a 5%

As figuras 34 e 35 ilustra os efeitos da Temperatura e Umidade relativa do ar nas alturas que apresentaram diferença estatística a nível de 1%

Figura 34: Comparações entre a estação de coleta (Esta.1 Temp. 2m e Esta.6 Temp.2m)

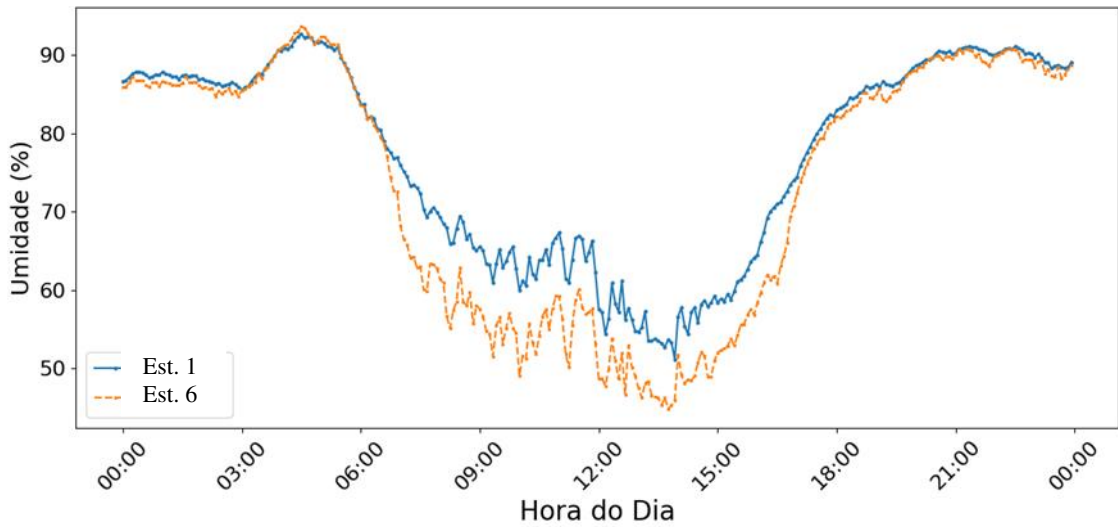


Fonte: Autor (2023)

A maior diferença entre as figuras 34 de Esta. 1 e Esta. 6 foi observada durante o dia, enquanto nos intervalos noturnos a diferença entre as estações analisadas não ficou tão evidente.

O efeito da umidade na Esta. 1 e na Esta. 6 é mais relevante durante o período diurno, especialmente nas horas das 9 e 15 do dia Figura 35.

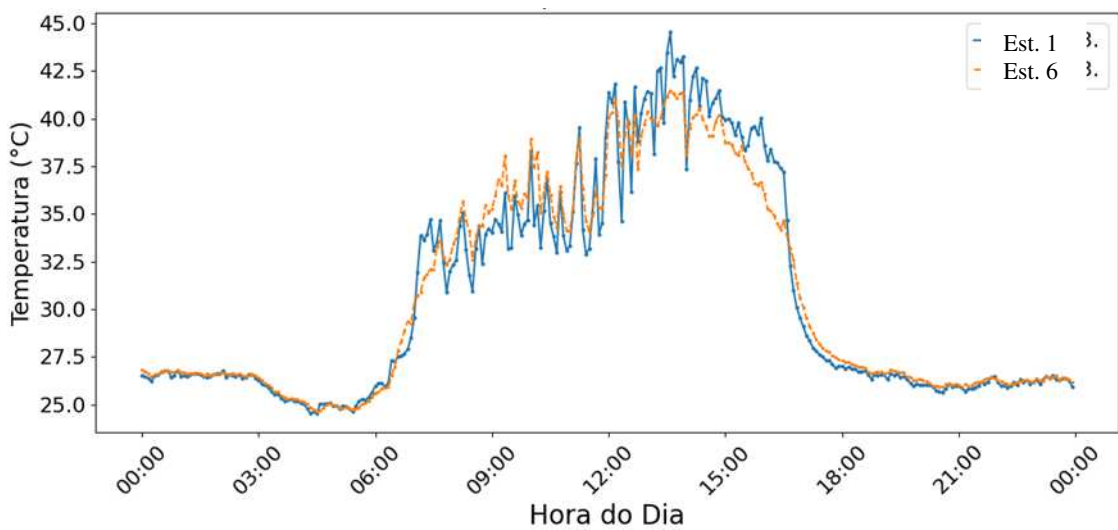
Figura 35: Comparações entre a estação de coleta (Est.1 Umd. 2m e Est.6 Umd.2m)



Fonte: Autor (2023)

Nas estações de coletas laterais, para o subtratamento T3 localizados no pé-direito da estufa a altura de 3 m, as maiores diferenças são observadas durante os períodos diurnos, semelhante ao que foi observado no subtratamento a 2 metros de altura. Os maiores picos ocorrem entre as 12 e as 15 horas do dia (Figura 36).

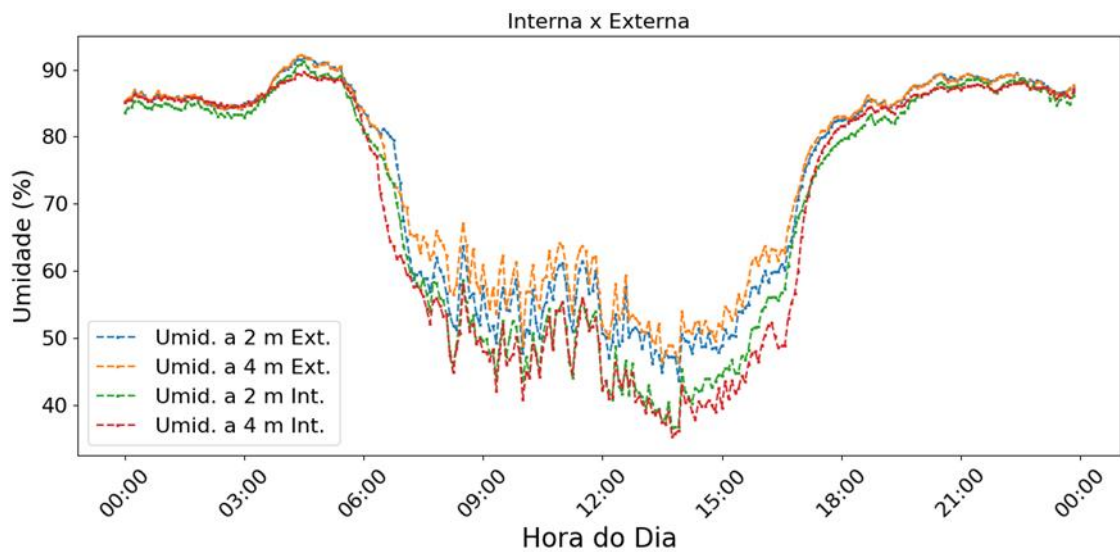
Figura 36: Comparações entre a estação de coleta (Est.1 Temp. 3m e Est.6 Temp.3m)



Fonte: Autor (2023)

A Figura 37 ilustra claramente o comportamento da Umidade relativa do ar em relação ao ambiente interno e externo. Esse efeito de baixa umidade, principalmente nas alturas de 4 metros, está relacionado ao acúmulo de massas de ar quente durante os períodos de maior isolamento térmico.

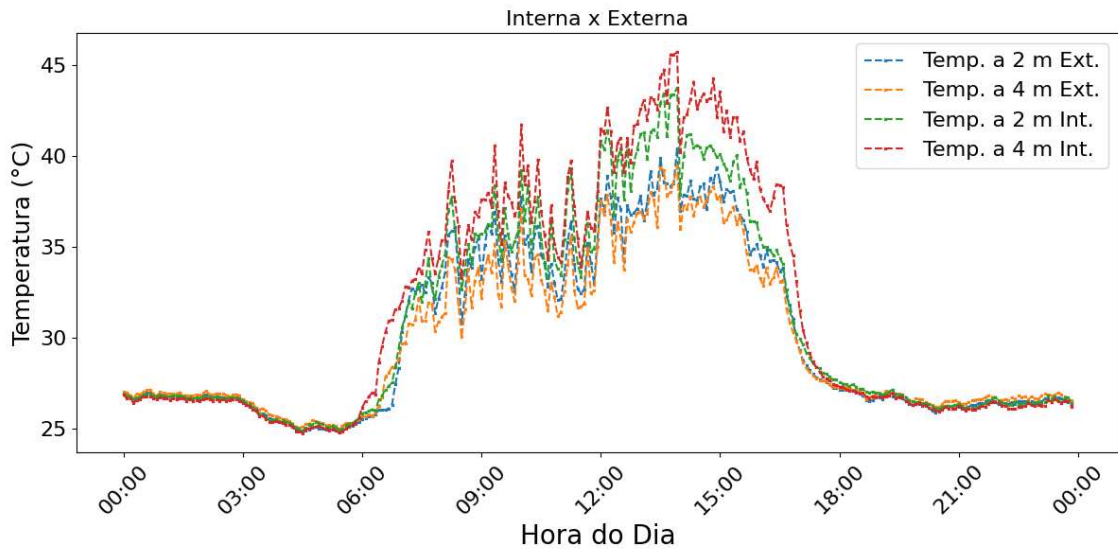
Figura 37: Efeito da Umidade Relativa do Ar entre o filme Transparente e o Ambiente Externo



Fonte: Autor (2023)

O efeito se torna mais claro ao analisar as temperaturas nas respectivas alturas discutidas anteriormente. Esse acúmulo de ar mais quente pode estar relacionado ao fato de que a cobertura transparente permite a entrada de uma quantidade maior de raios solares no ambiente, resultando em superaquecimento interno, como ilustrado na Figura 38 com as comparações entre o Interno com o Externo.

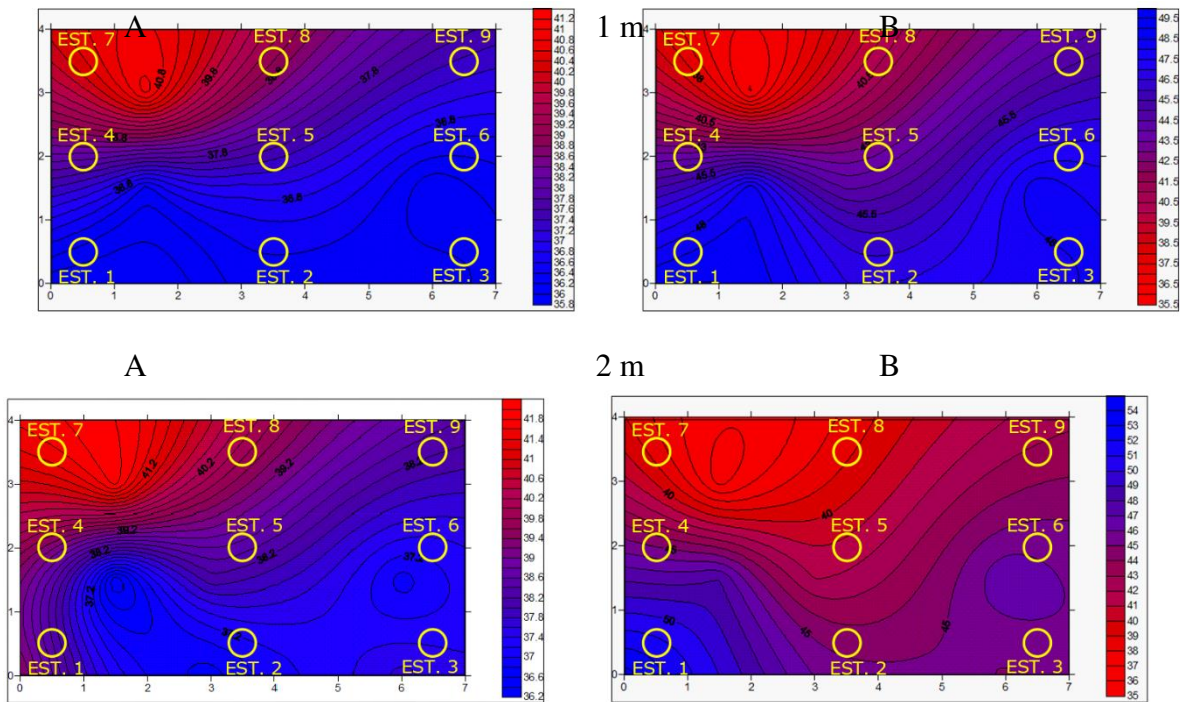
Figura 38: Efeito da Temperatura entre o filme Transparente e o Ambiente Externo

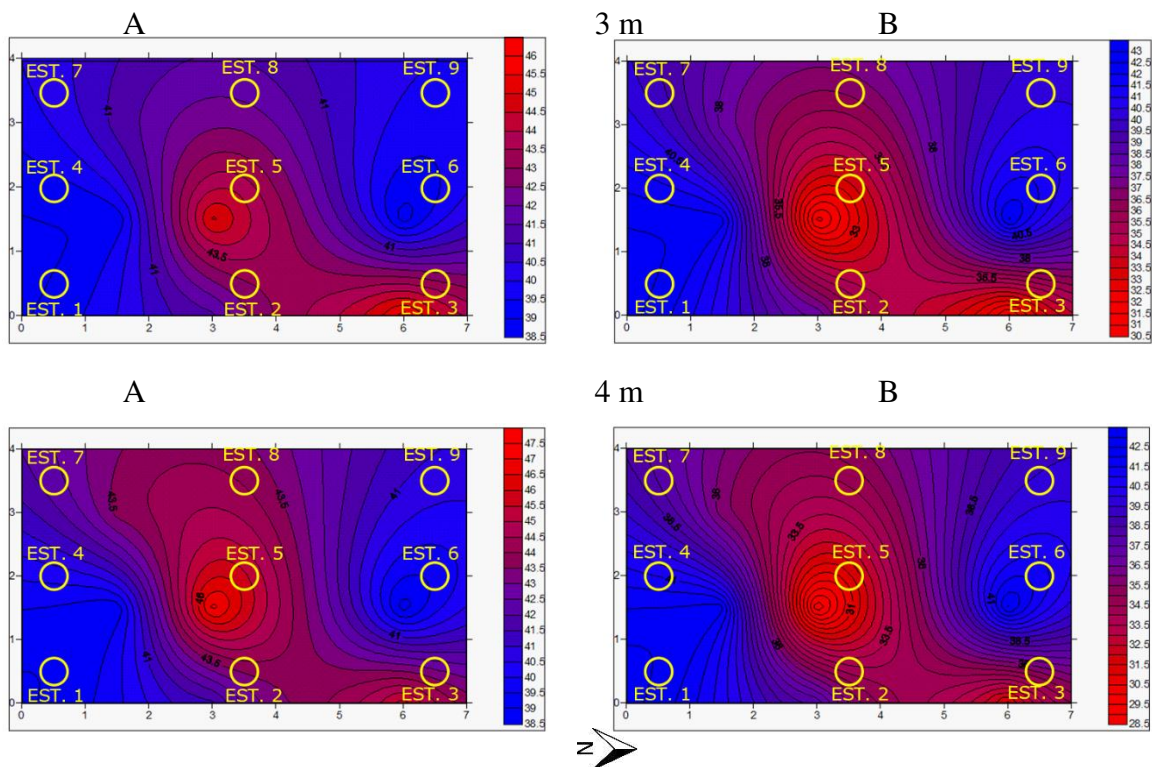


Fonte: Autor (2023)

A figura 39 ilustra o comportamento da temperatura interna com o filme transparente das alturas de 1 a 4 metros. É possível observar uma concentração maior da temperatura nas laterais nas alturas de 1 e 2 metros. E uma menor uniformidade com maiores picos de temperaturas e menores picos de umidade relativa do ar.

Figura 39: Mapa do efeito da Temperatura (A) e Umidade (B) no filme Transparente na altura de 1, 2, 3 e 4 m nas nove estações analisadas no horário das 12 horas.





Fonte: Autor (2023)

Ao analisar a Figura 39, é notório que a cobertura transparente apresentou os maiores graus de temperatura, chegando próximo a 48°C. As maiores temperaturas foram encontradas a oeste para as alturas de 1 e 2 metros. Já nas alturas de 3 e 4 metros, as maiores temperaturas encontraram-se próximas ao centro da estufa. Enquanto as laterais apresentaram menores temperaturas e, conseqüentemente, maiores umidade relativa do ar.

4.2.1 Estações de Coletas de Dados Central Instalados na estufa coberta com filme leitoso

O filme leitoso diferenciou-se dos demais em vários aspectos, principalmente em relação à distribuição de luz em seu interior, uma vez que todos os Tratamentos (Estações de coletas) e Subtratamentos (T2, U2, T4 e U4) apresentaram diferenças entre si. A tabela 13 ilustra a análise de variância.

Tabela 13: ANOVA (não-paramétrica) para a Estufa 3 (Filme Leitoso)

	X ²	gl	p	ε ²
T2	54.9	8	<.001**	0.513
U2	64.8	8	<.001**	0.606
T4	63.5	8	<.001**	0.593
U4	62.4	8	<.001**	0.583

Gl- grau de liberdade; p-valor; ε² - eta ao quadrado; ** grau de significância 1%(0,01)

A análise de comparação múltipla, conforme ilustrado na Tabela 13, identificou as estações que apresentaram diferenças estatísticas. Em contraste com as estufas previamente analisadas, a estufa 03 mostrou uma variação maior entre os tratamentos (Est.1 a Est. 9) e subtratamentos (T2 e U2, bem como T4 e U4), sugerindo que o filme leitoso proporciona uma distribuição de luz interna menos uniforme.

A tabela 14 ilustra as análises de comparações múltiplas para a Temperatura a 2 metros

Tabela 14: Comparações múltiplas da Temperatura no filme Leitoso

		W	p
Est.1-T2	Est.5-T2	-4.89	0.016*
Est.1-T2	Est.6-T2	-4.42	0.046*
Est.1-T2	Est.9-T2	-5.32	0.005**
Est.2-T2	Est.3-T2	-4.90	0.016*
Est.2-T2	Est.4-T2	-5.47	0.004**
Est.2-T2	Est.5-T2	-5.63	0.002**
Est.2-T2	Est.6-T2	-5.14	0.009**
Est.2-T2	Est.9-T2	-4.90	0.016*
Est.4-T2	Est.9-T2	-4.90	0.016*
Est.5-T2	Est.8-T2	4.90	0.016*
Est.6-T2	Est.8-T2	4.44	0.045*
Est.8-T2	Est.9-T2	-4.90	0.016*

* Significativo a 5% (0.05) **Significativo a 1% (0.01)

A falta de distribuição uniforme de luz a uma altura de 2 metros não é desejável na produção agrícola. Isso ocorre porque existem áreas internas onde a quantidade de luz solar é mais concentrada, o que pode resultar em um crescimento desigual das culturas.

Analisando as estações de coletas, observa-se que as diferenças estatísticas foram encontradas com um p-valor $< 0,01$ (1%) nas seguintes combinações: Est.1 e Est.9, Est.2 e Est.4, Est.2 e Est.5, bem como Est.2 e Est.6. Além disso, é importante destacar que os tratamentos que apresentaram diferenças significativas a um nível de 5% foram considerados os mais abrangentes. Esses tratamentos incluíram Est.1 e Est.5, Est.1 e Est.6, Est.2 e Est.3, Est.2 e Est.9, Est.4 e Est.9, Est.5 e Est.8, Est.6 e Est.8, bem como Est.8 e Est.9, como ilustrado na Tabela 14 e 15.

Foi observado um resultado semelhante na umidade relativa do ar (UR) nos subtratamentos a 2 metros, onde a variação da UR foi consideravelmente maior a um nível de 1%. Isso abrangeu os tratamentos Est.1 e Est.5, Est.1 e Est.9, Est.2 e Est.5, Est.2 e Est.9, Est.3 e Est.9, Est.4 e Est.9, Est.7 e Est.9, bem como Est.8 e Est.9, conforme ilustrado na Tabela 14.

A análise da temperatura nos subtratamentos a 2 metros revelou variações menores a um nível de 5%. Os principais tratamentos que apresentaram diferenças estatisticamente significativas foram: Estação1 e Est.3, Est.1 e Est.4, Est.1 e Est.6, Est.1 e Est.7, Est.2 e Est.3, Est.2 e Est.4, Est.2 e Est.6 bem como na Est.2 e Est.7 Tabela 15.

Tabela 15: Comparações múltiplas da Umidade no Subtratamento a 2 metros para o filme leitoso

		W	p
Est.1-U2	Est.3-U2	4.574	0.021*
Est.1-U2	Est.4-U2	-4.7377	0.023*
Est.1-U2	Est.5-U2	-5.3900	0.004**
Est.1-U2	Est.6-U2	-5.0634	0.010*
Est.1-U2	Est.7-U2	-4.9000	0.016*
Est.1-U2	Est.9-U2	-5.8801	0.001**
Est.2-U2	Est.3-U2	-4.8184	0.019*
Est.2-U2	Est.4-U2	-5.0236	0.011*
Est.2-U2	Est.5-U2	-5.3889	0.004**
Est.2-U2	Est.6-U2	-4.8990	0.016*
Est.2-U2	Est.7-U2	-4.6959	0.025*
Est.2-U2	Est.9-U2	-5.8788	0.001**
Est.3-U2	Est.9-U2	-5.5534	0.003**
Est.4-U2	Est.9-U2	-5.8801	0.001**
Est.7-U2	Est.9-U2	-5.3889	0.004**
Est.8-U2	Est.9-U2	-5.8788	0.001**

* Significativo a 5% (0.05) ** Significativo a 1% (0.01)

A análise múltipla entre os tratamentos entre temperaturas revelou que o único tratamento que apresentou diferenças significativas a um nível de 5% foi a comparação entre Est.1-T3 e Est.6-T3. Como é ilustrado na tabela 16.

Tabela 16: Comparações múltiplas entre as Temperaturas no Subtratamento 3 e 4 metros para o filme Leitoso

		W	p
Est.1-T3	Est.6-T3	-4.899	0.016*
Est.1-T3	Est.9-T3	-5.879	0.001**
Est.2-T4	Est.9-T3	-5.879	0.001**
Est.3-T3	Est.9-T3	-5.634	0.002**
Est.4-T3	Est.9-T3	-5.879	0.001**
Est.5-T4	Est.8-T4	5.389	0.004**
Est.6-T3	Est.8-T4	5.879	0.001**
Est.7-T3	Est.8-T4	5.758	0.002**

* Significativo a 5% (0.05) ** Significativo a 1% (0.01)

No entanto, todas as outras estações de coletas mostraram diferenças estatisticamente significativas a um nível de 1%, com um p-valor < 0,001. Isso sugere que a estufa com filme leitoso apresenta maiores variações na variável temperatura nas estações de coletas.

No que diz respeito à umidade relativa do ar Tabela 17, valores semelhantes foram obtidos, onde o único tratamento que diferiu significativamente a um nível de 5% foi a comparação entre Est.1 e Est.8, bem como Est.4 e Est.6.

Todos os outros tratamentos diferenciaram-se a níveis de 1%. Isso indica que a umidade relativa do ar também é afetada pela escolha da estação de coleta, com diferenças significativas na maioria das comparações realizadas como ilustra as tabelas 15 e 17.

Tabela 17: Comparações múltiplas da Umidade no Subtratamento a 4 metros para o filme Leitoso

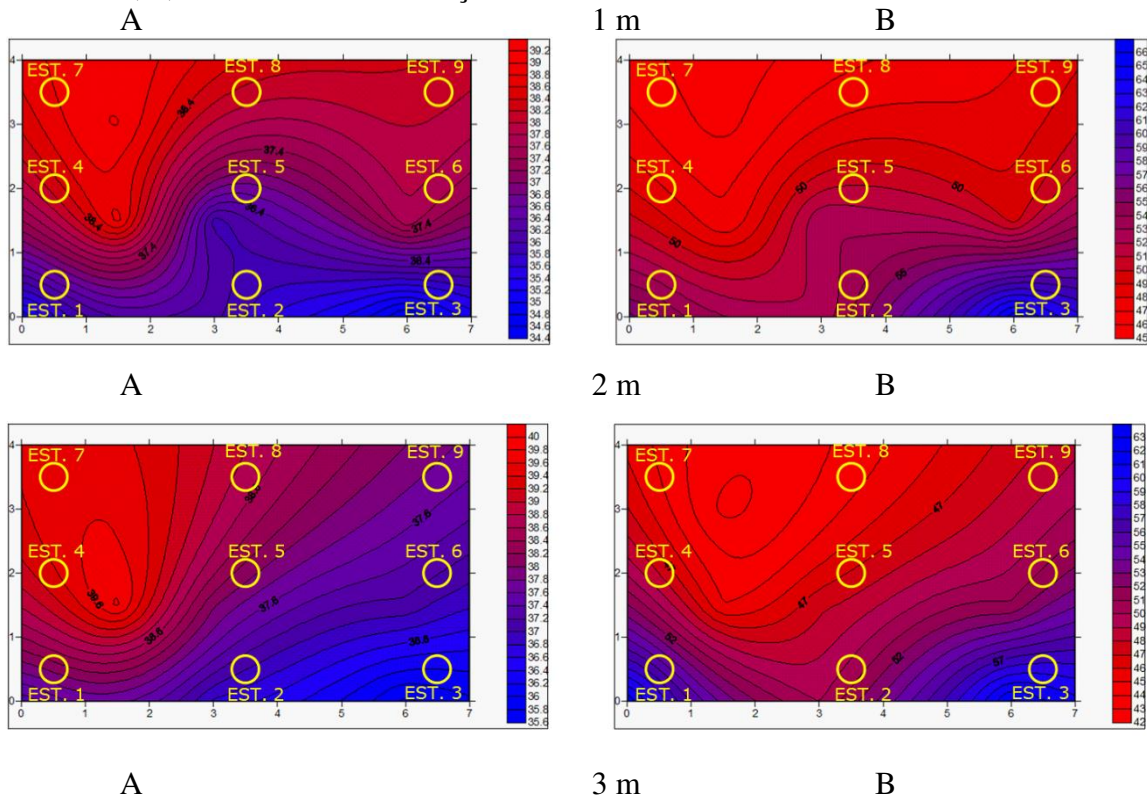
		W	p
Est.1-U3	Est.8-U4	4.899	0.016*
Est.1-U3	Est.9-U3	-5.798	0.001**
Est.2-U4	Est.8-U4	5.879	0.001**
Est.2-U4	Est.9-U3	-5.880	0.001**
Est.3-U2	Est.8-U4	5.307	0.005**
Est.3-U2	Est.9-U3	-5.635	0.002**

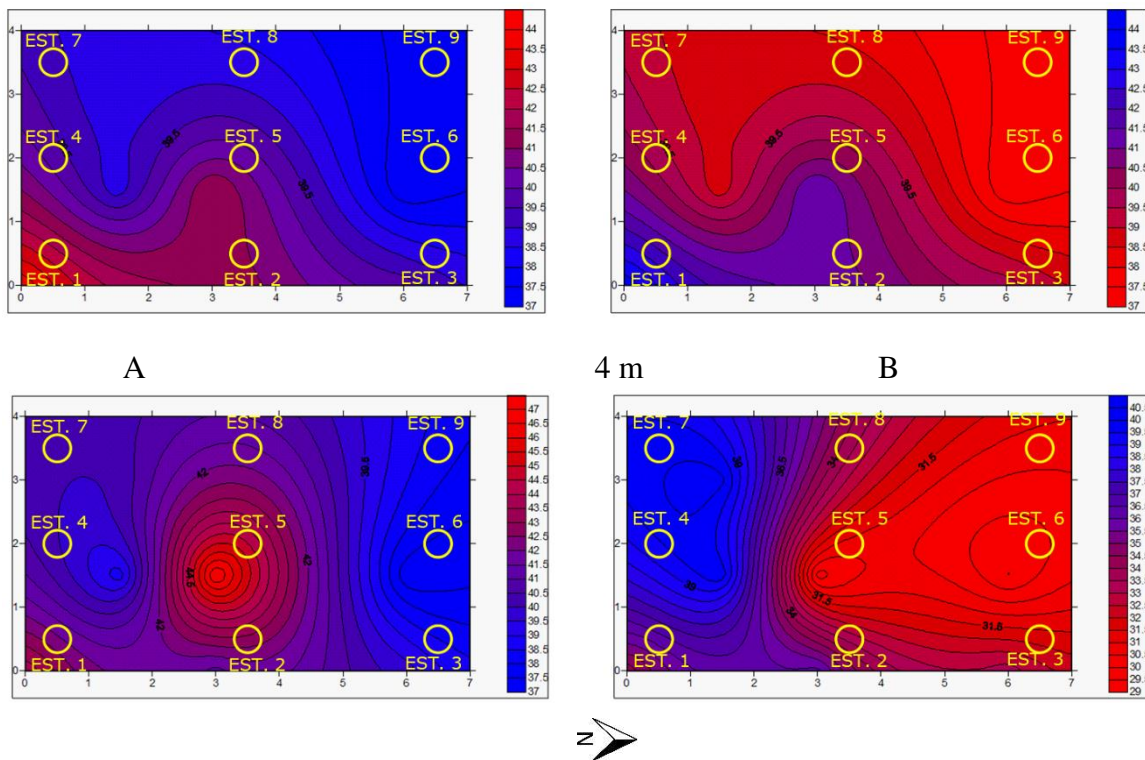
Est.4-U2	Est.6-U2	-4.817	0.019*
Est.4-U2	Est.9-U3	-5.880	0.001**
Est.5-U4	Est.8-U4	5.552	0.003**
Est.6-U3	Est.8-U4	5.879	0.001**
Est.7-U3	Est.8-U4	5.715	0.002**
Est.7-U3	Est.9-U3	5.308	0.005**
Est.8-U4	Est.9-U3	-5.880	0.001**

* Significativo a 5% (0.05); ** Significativo a 1% (0.01)

A Figura 40 ilustra o efeito térmico ao utilizar o filme leitoso, sendo notável uma concentração maior de temperatura nas laterais, especialmente na região oeste. Esse efeito foi observado em ambas as coberturas; no entanto, a cobertura leitosa apresentou picos de temperatura mais elevados em comparação com os filmes difusor e transparente

Figura 40: Mapa do efeito da Temperatura (A) e Umidade (B) no filme Leitoso na altura de 1, 2, 3 e 4 m nas nove estações analisadas no horário das 12 horas.





Fonte: Autor (2023)

A altura de 1 metro foi aquela que apresentou maiores variações de temperatura entre as estações de coleta. A região oeste foi a que apresentou maiores temperaturas para a altura de 1 m nas estações 4, 5, 6, 7, 8 e 9; isso pode ter ocorrido devido ao aquecimento do solo. Já na altura de 4 metros, a maior distribuição de temperatura concentrou-se no centro da estufa, enquanto a umidade relativa do ar apresentou menores valores na região norte

4.3 Análise Simultânea entre os Tratamentos EST1-Difusor, EST2-Transparente e EST3-Leitoso

4.3.1 Análise descritiva para as três estufas simultâneas

A Tabela 18 ilustra o teste de normalidade para as estufas simultâneas com valor p menor que 0,01 indicando uma baixa normalidade entre os dados. A mediana coincidiu entre o filme Difusor e o Transparente apresentando variação de 0,4 na cobertura Leitosa, com menor valor de desvio padrão entre as amostras de 4,82 para o filme Difusor e maiores valores para o Transparente e o Leitoso de 6 e 6.23 respectivamente.

Tabela 18: Teste de Normalidade para a Temperatura a 2 m para o filme difusor, transparente e leitoso

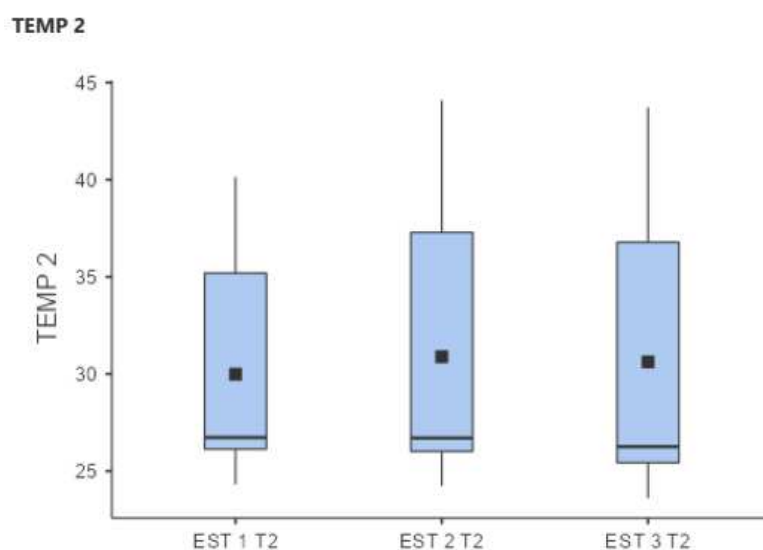
Temp.	Mediana	Desvio-padrão	Shapiro-Wilk	
			W	p
Difusor – T2	26.7	4,82	0.813	<.001**
Transparente – T2	26.7	6.00	0.804	<.001**
Leitoso – T2	26.3	6.23	0.817	<.001**

** Significativo a 1% (0.01)

Fonte: Autor (2023)

A Figura 41 ilustra o gráfico de BoxPlot, com valores de temperatura em torno de 26°C e médias variando de 30°C para o filme difusor, de 31°C a 32°C para o filme transparente e de 30°C a 31,5°C para o filme leitoso. As maiores variações estão representadas no filme transparente e no filme leitoso, com valores próximos a 45°C. Ambas as estufas apresentaram maiores valores de dispersão para o quartil superior. No entanto, a cobertura transparente foi superior em temperatura, registrando aproximadamente 37,5°C.

Figura 41: BoxPlot da Temperatura a 2 m para as coberturas Difusor, Transparente e Leitosa (Estufa 1, Estufa 2 e Estufa 3) respectivamente.



Fonte: Autor (2023)

A análise descritiva para a umidade relativa do ar a uma altura de 2 metros revelou menores variações na cobertura Difusora (Est.1) (conforme Tabela 19), com um desvio padrão menor de 17,6. Por outro lado, as coberturas transparentes e leitosas apresentaram valores de 20,4 e 20,9, respectivamente, indicando maiores variações. É importante destacar que ambos os tratamentos não exibiram normalidade entre as amostras.

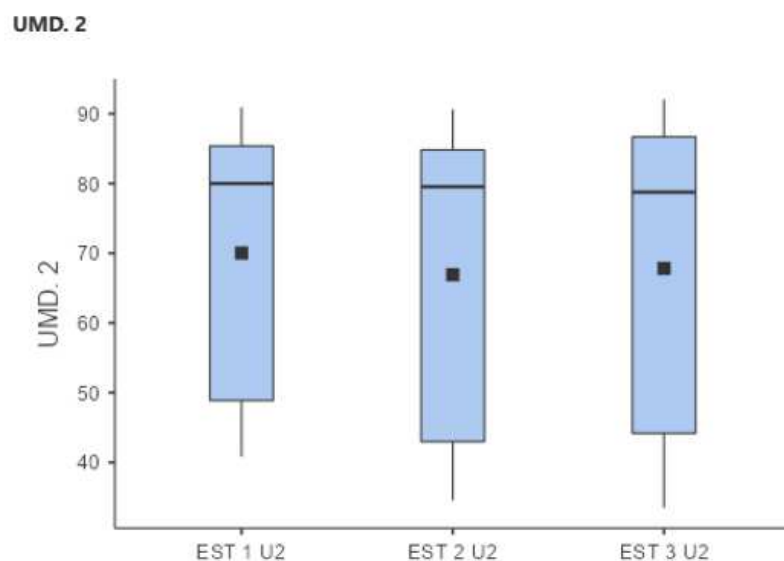
Tabela 19: Teste de Normalidade para a Umidade a 2 m para as coberturas Difusora, Transparente e Leitosa

Umd.	Mediana	Desvio-padrão	Shapiro-Wilk	
			W	p
Difusor – U2	80.0	17.6	0.810	<.001
Transparente – U2	79.5	20.4	0.793	<.001
Leitosa – U2	78.8	20.9	0.801	<.001

A Figura 42 ilustra as variações entre os tratamentos para a umidade relativa do ar. Conforme mostrado na Tabela 19, os menores valores de umidade foram encontrados na estufa 1. No entanto, as maiores variações foram observadas nas estufas 2 e 3. Observando a mediana, a estufa 3 apresentou os menores valores de UR, variando de 78% a 80%, enquanto as coberturas Difusor e Transparente apresentaram valores variando de 80% a 81%.

Em relação à média, a cobertura Transparente registrou os valores mais baixos, variando entre 74% e 75% de umidade relativa do ar, enquanto a cobertura plástica Difusora apresentou aproximadamente 70% de UR. A cobertura Transparente foi a que apresentou maiores dispersão em relação a mediana. Com valores do quartil inferior chegando a 45% da UR.

Figura 42: BoxPlot da Umidade a 2 m para as coberturas Difusora (Estufa1), Transparente (Estufa 2) e leitosa (Estufa 3)



Fonte: Autor (2023)

A análise simultânea entre os tratamentos (Dif.1, Trans.2 e Lei. 3) visa quantificar qual cobertura se destacou em relação às variações de temperatura e umidade ao longo do experimento. As repetições foram realizadas às 0h, 3h, 9h, 12h, 15h e 21h, durante 12 dias. Os tratamentos foram comparados entre as estufas cobertas com os filmes difusor, transparente e leitoso (Estação. 1, Est. 2 e Est. 3) respectivamente.

A análise de variância fornecida pela Tabela 20 ilustra quais coberturas, ao subtratamento de T2 e U2, se destacaram estatisticamente em relação às variáveis de temperatura e umidade relativa do ar nos intervalos de horas analisados.

Tabela 20: ANOVA (não-paramétrica) entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a temperatura e umidade a 2 metros (T2 e U2), nos horários da 0h, 3h, 9h 12h, 15h e 21h.

	X ²	gl	p	ε ²
T2- 0h	28.8	2	<.001**	0.821
U2-0h	30.9	2	<.001**	0.884
T2- 3h	30.2	2	<.001**	0.864
U2- 3h	29.1	2	<.001**	0.831
T2-9h	24.7	2	<.001**	0.706
U2-9h	23.5	2	<.001**	0.672
T2-12h	15.1	2	<.001**	0.433
U2-12h	23	2	<.001**	0.58
T2-15h	14.6	2	<.001**	0.418
U2-15h	14.2	2	<.001**	0.406

T2-21h	28.9	2	<.001**	0.826
U2-21h	23.5	2	<.001**	0.670

Gl- grau de liberdade; p-valor; ϵ^2 - eta ao quadrado; ** Significativo a 1% (0.01)

A princípio, tanto a temperatura quanto a umidade apresentaram valores distintos em relação às coberturas. No entanto, ao realizar análises de comparações múltiplas utilizando o teste de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner, observou-se que as coberturas que se destacaram no teste com $p < 0,05$ foram a Difusor e Transparente a um nível de significância de 5%.

Além disso, as comparações entre Difusor e Leitoso, bem como entre Transparente e Leitoso, mostraram diferenças estatisticamente significativas a um nível de 1%. Isso sugere que as coberturas tiveram um impacto significativo nos valores de temperatura e umidade, com algumas combinações mostrando diferenças mais notáveis do que outras, como ilustra a Tabela 23.

Tabela 21: Comparações múltiplas entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a temperatura a 2 metros às 0:00:00 horas (0h) da madrugada.

TEMPERATURA		W	p
Difusor-0h	Transparente-0h	-4.88	0.002**
Difusor-0h	Leitoso-0h	-5.90	<.001**
Transparente-0h	Leitoso-0h	-5.89	<.001**

**Significativo a 1% (0.01)

O filme plástico Difusor, Transparente e leitoso apresentou diferença estatística a nível de 1%. Entretanto, os níveis de umidade relativa do ar diferiram significativamente em ambos os tratamentos (Tabela 24), com diferenças estatisticamente significativas a um nível de 1%, evidenciadas por um p-valor $< 0,001$.

Tabela 22: Comparações múltiplas entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a umidade relativa do ar a 2 metros às 0:00:00 horas (0h) da madrugada.

Umidade		W	p
Difusor-0h	Transparente-0h	-5.80	<.001**
Difusor-0h	Leitoso-0h	5.88	<.001**
Transparente-0h	Leitoso-0h	5.88	<.001**

** Significativo a 1% (0.01)

Isso indica um alto grau de diferença entre as estações analisadas em relação à umidade relativa do ar. Mostrando que durante as madrugadas ambas as coberturas foram diferentes entre si a um nível de 1%.

Resultados semelhantes foram observados em ambas as análises nos horários da madrugada Tabela 23 e 24, indicando que as coberturas se diferenciaram estatisticamente a níveis de 1%, tanto em termos de temperatura quanto de umidade, ao longo das noites.

Tabela 23: Comparações múltiplas entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a temperatura a 2 metros às 3:00:00 horas (3h) da madrugada.

Temperatura		W	p
Difusor-01-3h	Transparente-3h	-5.36	<.001**
Difusor-01-3h	Leitoso-3h	-5.87	<.001**
Transparente-02-3h	Leitoso-3h	-6.01	<.001**

**Significativo a 1% (0.01)

Tabela 24: Comparações múltiplas entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a umidade relativa do ar a 2 metros às 3:00:00 horas (3h) da madrugada.

Umidade relativa do ar		W	P
Difusor-3h	Transparente-3h	-4.84	0.002*
Difusor-3h	Leitoso-3h	5.86	<.001**
Transparente-3h	Leitoso-3h	6.00	<.001**

*Significativo a 5% (0.05); **Significativo a 1% (0.01)

Os níveis de comparações entre as 9 horas da manhã (Tabela 25), mostraram valores diferentes em níveis estatísticos, principalmente a um nível de significância de 1%. Na análise das coberturas, aquelas que apresentaram as maiores diferenciações foram Difusor e o Transparente, bem como Difusor e o Leitoso.

Isso indica claramente que o filme difusor, apresenta menores variações de temperatura em relação à estufa 2 (filme transparente) e à estufa 3 (filme leitoso). No entanto, a análise de comparações entre a cobertura transparente e a leitosa não mostrou variações significativas, como evidenciado na tabela 25.

O filme Transparente e o filme Leitoso não diferiram a um nível de 1% nem a um nível de 5%. Valores semelhantes também foram observados na tabela 26 em relação à umidade relativa do ar.

Tabela 25: Comparações múltiplas entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a temperatura a 2 metros às 9:00:00 horas (9h) da manhã.

Temperatura		W	p
Difusor-9h	Transparente-9h	5.88	<.001**
Difusor-9h	Leitoso-9h	5.88	<.001**
Transparente-9h	Leitoso-9h	2.45	0.193 ^{ns}

* Significativo a 5% (0.05) ns- Não significativo

Tabela 26: Comparações múltiplas entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a umidade relativa do ar a 2 metros às 9:00:00 horas (9h) da manhã.

Umidade relativa do ar		W	p
Difusor-9h	Transparente-9h	-5.879	<.001*
Difusor-9h	Leitoso-9h	-5.879	<.001*
Transparente-9h	Leitoso-9h	-0.898	0.801 ^{ns}

* Significativo a 5% (0.05) ns- Não significativo

No horário das 9 horas o filme Leitoso e o Transparente não apresentaram variações de temperatura entre si, entretanto o filme Difusor foi o único que apresentou variações entre as coberturas quanto as variações de Temperatura e Umidade relativa do ar como é ilustrado na Tabela 25 e 26.

Por outro lado, em relação às análises nos intervalos de horas mais quentes é evidente uma diferença notável entre o filme difusor e o filme leitoso com p-valor menor que 1%, entretanto o filme difusor e o transparente diferiram-se a um nível de 5%.

No entanto, em relação à comparação entre o filme transparente e o leitoso não foram observadas variações estatísticas a um nível de 5% nem a um nível de 1%, sugerindo que não há diferença significativa entre a cobertura transparente e a leitosa para os horários das 12h como mostra a tabela 27 e 28.

Tabela 27: Comparações múltiplas entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a temperatura a 2 metros às 12:00:00 horas (12h)

Temperatura		W	p
Difusor-12h	Transparente-12h	4.00	0.013*
Difusor-12h	Leitoso-12h	5.43	<.001**
Transparente-12h	Leitoso-12h	0.00	1.000 ^{ns}

* Significativo a 5% (0.05) ns- Não significativo **Significativo a 1% (0.01)

Tabela 28: Comparações múltiplas entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a umidade relativa do ar a 2 metros às 12:00:00 horas (12h).

Umidade relativa do ar		W	p
Difusor-12h	Transparente-12h	-5.7971	<.001**
Difusor-12h	Leitoso-12h	-5.8801	<.001**
Transparente-12h	Leitoso-12h	0.0817	0.998 ^{ns}

**Significativo a 1% (0.01) ns- Não significativo

As análises comparativas realizadas às 15h (Tabela 29) apresentaram resultados notavelmente diferentes das demais repetições. À medida que as horas mais quentes avançavam, a diferença entre a cobertura difusora e a leitosa permaneceu inalterada, com um grau de significância inferior a 1%.

No entanto, o filme difusor da Estufa 1 e o filme transparente da Estufa 2 demonstraram uma tendência a produzir resultados semelhantes. Por outro lado, a cobertura difusora e a transparente apresentaram valores estatísticos não significativos, indicando que as coberturas não diferem entre elas no horário mais quente. No entanto, a cobertura transparente difere significativamente a um nível de 5% da cobertura leitosa, sugerindo que a cobertura transparente da estufa 2 é diferente da cobertura leitosa da estufa 3 nesse horário específico.

Tabela 29: Comparações múltiplas entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a temperatura a 2 metros às 15:00:00 horas (15h).

Temperatura		W	p
Difusor-15h	Transparente-15h	0.0817	0.998 ^{ns}
Difusor-15h	Leitoso-15h	-5.4332	<.001**
Transparente-15h	Leitoso-15h	-3.8384	0.018*

* Significativo a 5% (0.05) ns- Não significativo **Significativo a 1% (0.01)

A análise da Tabela 30 da umidade relativa do ar corrobora que os valores entre as estufas analisadas diferiram a um nível de 1% entre o filme transparente e o leitoso. No entanto,

as demais estufas apresentaram diferenciação a níveis de 5% para a umidade relativa do ar no substrato a 2 metros. Isso reforça a ideia de que o filme transparente e o leitoso são as que mais se distinguem em termos de umidade relativa do ar em comparação com as outras coberturas.

Tabela 30: Comparações múltiplas entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a umidade relativa do ar a 2 metros às 15:00:00 horas (15h).

Umidade relativa do ar		W	p
Difusor-15h	Transparente-15h	-3.39	0.044*
Difusor-15h	Leitoso-15h	3.35	0.047*
Transparente-15h	Leitoso-15h	4.57	0.004**

* Significativo a 5% (0.05); **Significativo a 1% (0.01)

Nos horários mais frios (Tabela 31), observou-se uma diferença significativa entre as estufas em relação à temperatura a níveis de p-valor<.001. No entanto, em análise da umidade relativa do ar, a cobertura difusora não apresentou dados relevantes em relação à cobertura transparente.

Isso sugere que, em condições mais frias, as coberturas difusora e leitosa podem ter comportamentos térmicos semelhantes em relação à umidade relativa do ar. No entanto, ainda há diferenças significativas em relação à temperatura, conforme ilustrado nas Tabelas 31 e 32. Esse resultado pode estar relacionado ao tipo de cobertura e à sua taxa de resfriamento térmico durante a madrugada, conforme discutido anteriormente.

Tabela 31: Comparações múltiplas entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a temperatura a 2 metros às 21:00:00 horas (21h) da manhã.

Temperatura entre Estufas		W	p
Difusor-21h	Transparente-21h	-5.16	<.001**
Difusor-21h	Leitoso-21h	-5.89	<.001**
Transparente-21h	Leitoso-21h	-5.72	<.001**

** Significativo a 1% (0.01)

Em níveis de significância a 1%, o filme difusor foi capaz de diferiu-se do filme plástico leitoso, assim como o transparente diferiu-se do leitoso (Tabela 31). Observou-se que

o filme difusor tem uma capacidade de resfriamento mais lenta, enquanto os filmes transparente e leitoso apresentam maiores decréscimos na temperatura.

Tabela 32: Comparações múltiplas entre os filmes Difusor, Transparente e Leitoso para a umidade relativa do ar a 2 metros às 21:00:00 horas (21h).

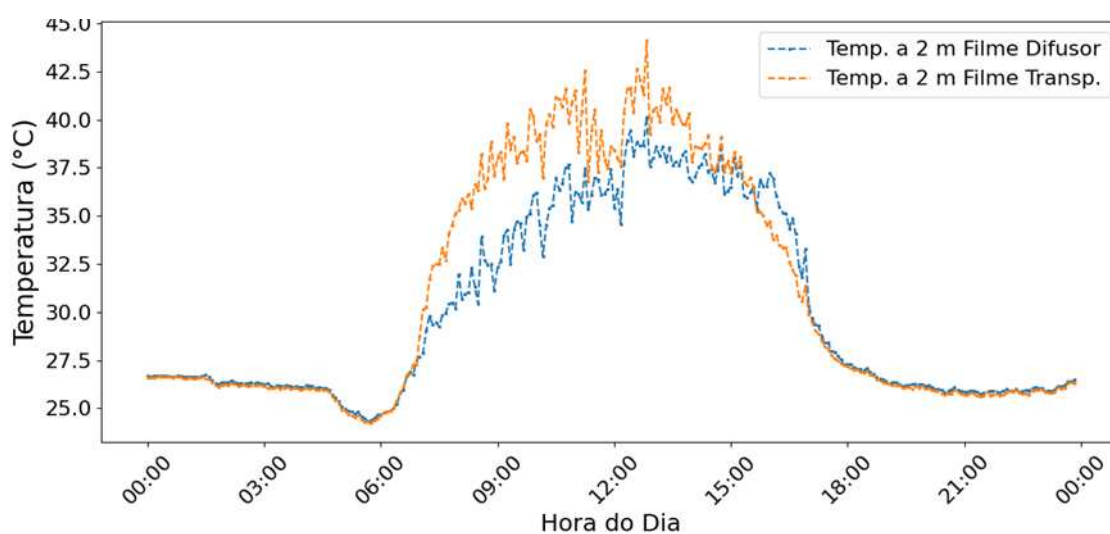
Umidade entre Estufas		W	p
Difusor-21h	Transparente-21h	-0.653	0.889 ^{ns}
Difusor-21h	Leitoso-21h	5.879	<.001*
Transparente-21h	Leitoso-21h	5.881	<.001*

* Significativo a 5% (0.05) ns Não significativo

Essa diferença no resfriamento pode ter influenciado os dados analisados. A Figura 43 ilustra claramente o pico de queda da umidade à medida que as horas avançam, sugerindo uma relação entre a capacidade de resfriamento das coberturas e as variações na umidade relativa do ar ao longo do tempo.

Como discutido nas análises de variância, os horários que apresentaram maiores diferenças foram principalmente nos intervalos de maiores picos de insolação. A Figura 43 ilustra a temperatura a 2 metros de altura para os filmes difusor e transparente. O filme difusor e o transparente apresentam pequenas variações, valores também observados por Paradiso et al. (2023).

Figura 43: Variação da temperatura interna a 2 m de altura em estufas cobertas com filme difusor e filme transparente.



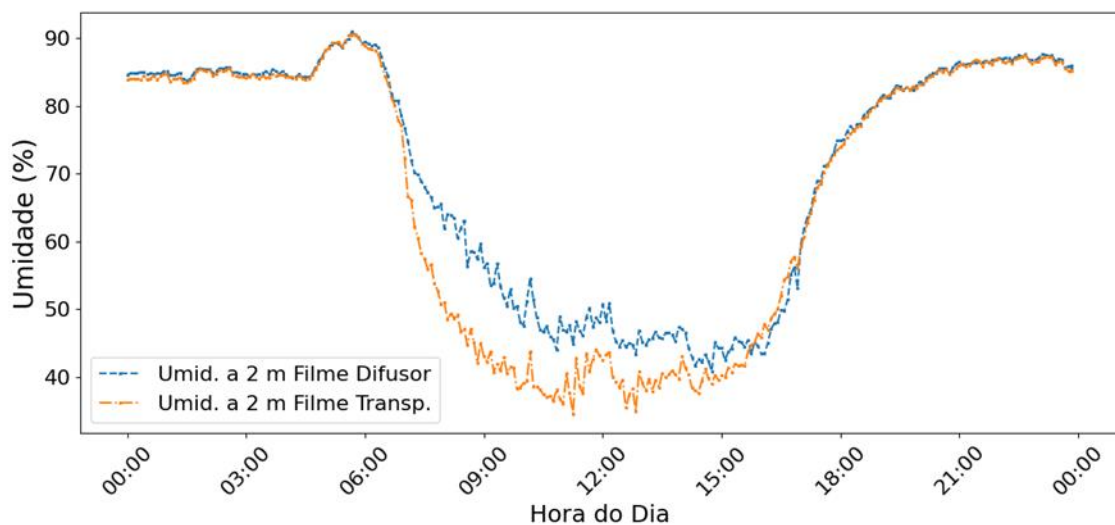
Fonte: Autor (2023)

É possível observar que o filme difusor apresenta um pico de temperatura mais baixo nos horários do dia, conforme indicado nas tabelas das ANOVAs. Por outro lado, nos intervalos noturnos, a diferença se torna mínima, como pode ser visto na figura 43 e 44, onde não há diferença no período noturno.

Na análise comparativa entre os horários dos dias, é notório que o filme difusor diferiu dos demais, o que também foi observado ao analisá-lo separadamente. As características do filme difusor possuem uma maior facilidade para difundir a luz no interior, reduzindo assim o efeito térmico no ambiente interno figura 44.

Assim como visto na temperatura, o efeito da umidade relativa do ar apresentou resultados menores para o filme transparente como visto na Figura 43. Isso ocorre devido à sua maior transmissão de luz e, como consequência, ao maior acúmulo de ar quente em seu interior. No entanto, à medida que as horas diurnas avançam, as linhas dos gráficos tendem a se aproximarem Figura 43 e 44.

Figura 44: Umidade Relativa do ar Interna do Filme Difusor e Filme Transparente.

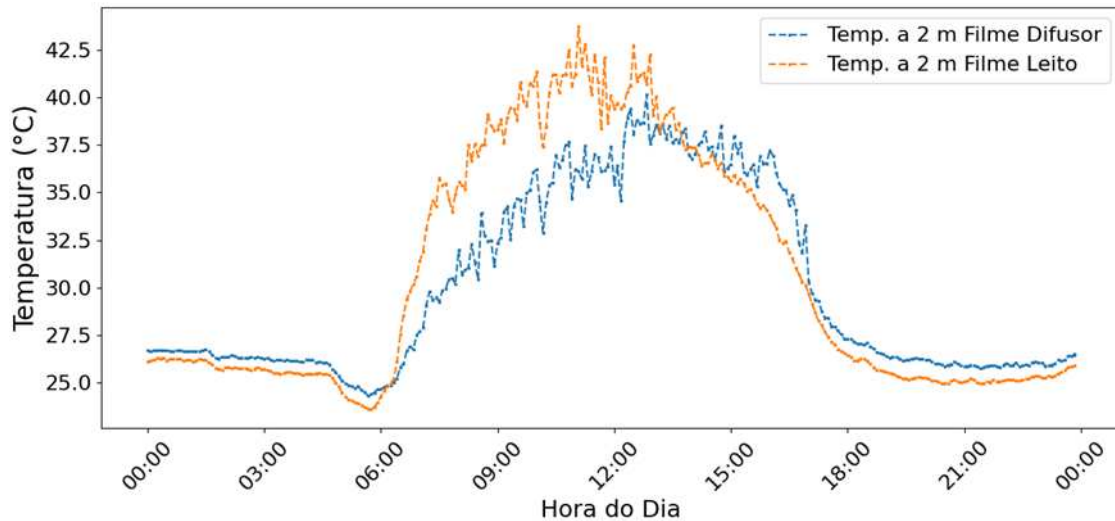


Fonte: Autor (2023)

Assim como o filme transparente, o leitoso apresentou maiores picos de temperatura em comparação com o difusor, como ilustra a Figura 45 e como indicado na tabela da ANOVA. À noite é possível observar que o filme leitoso difere do difusor, resultado esse

que não foi observado em relação ao filme transparente, conforme mostrado nas figuras 45 e 46.

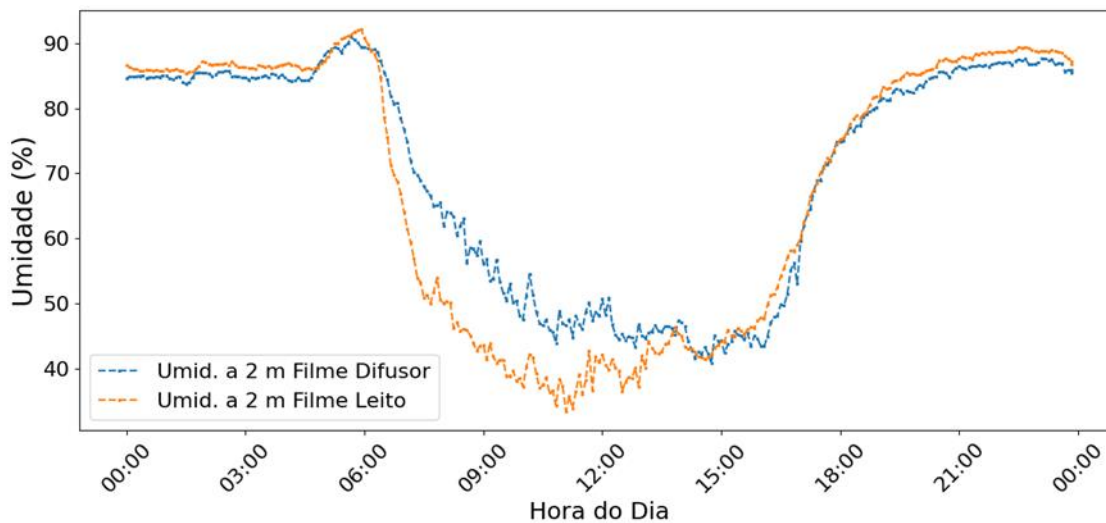
Figura 45: Variação da temperatura interna ao longo do dia, a 2 m de altura, em estufas cobertas com filme difusor e filme leitoso



Fonte: Autor (2023)

Assim como o filme transparente, o filme leitoso apresentou valores mais baixos de UR em comparação com o difusor, como mostrado na Figura 46. À noite, no entanto, apresentou valores mais elevados de UR. Entretanto, o difusor foi capaz de armazenar uma quantidade maior de calor por um período mais longo, mantendo o ambiente com poucas variações térmicas durante a noite.

Figura 46: Umidade relativa do ar Interna do Filme Difusor e Filme Leitoso

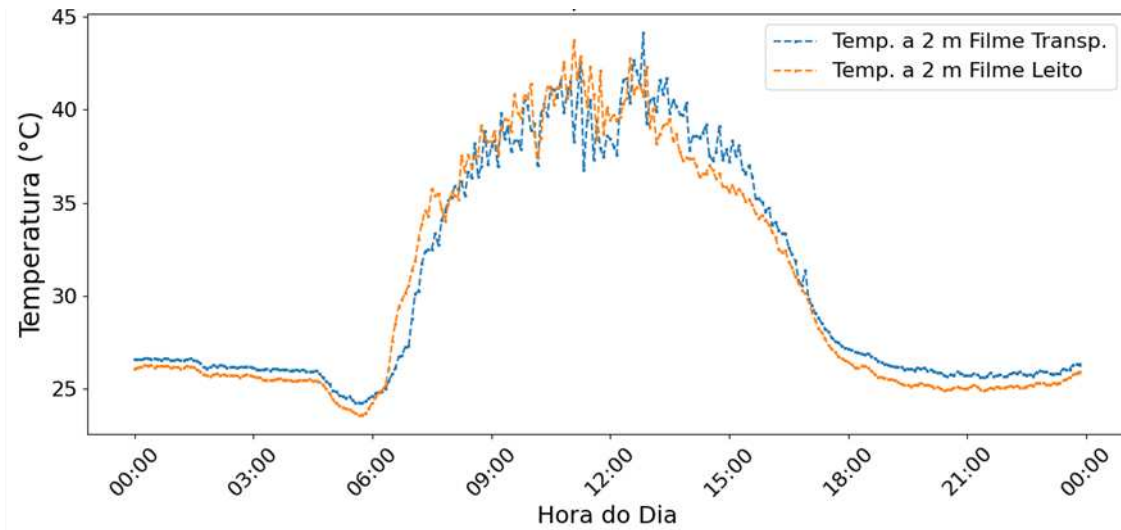


Fonte: Autor (2023)

Esse efeito térmico de capacidade de troca de temperatura também foi observado no filme transparente. Ambas as coberturas, difusor e transparente, mantiveram a temperatura interna igual durante o período noturno. Vale ressaltar a importância de se manter uma variação de temperatura ao longo da noite ideal para o desenvolvimento das culturas. Visto que grandes oscilações tendem a dificultar seu bom desenvolvimento.

As análises de variância de temperatura não apresentaram diferença estatística significativas para as coberturas transparente e leitoso no período diurno, como ilustrado na Figura 47 e 48. Entretanto nos períodos noturnos é notório uma oscilação na temperatura ao passar das horas, resultado também observado nas figuras 45 e 46.

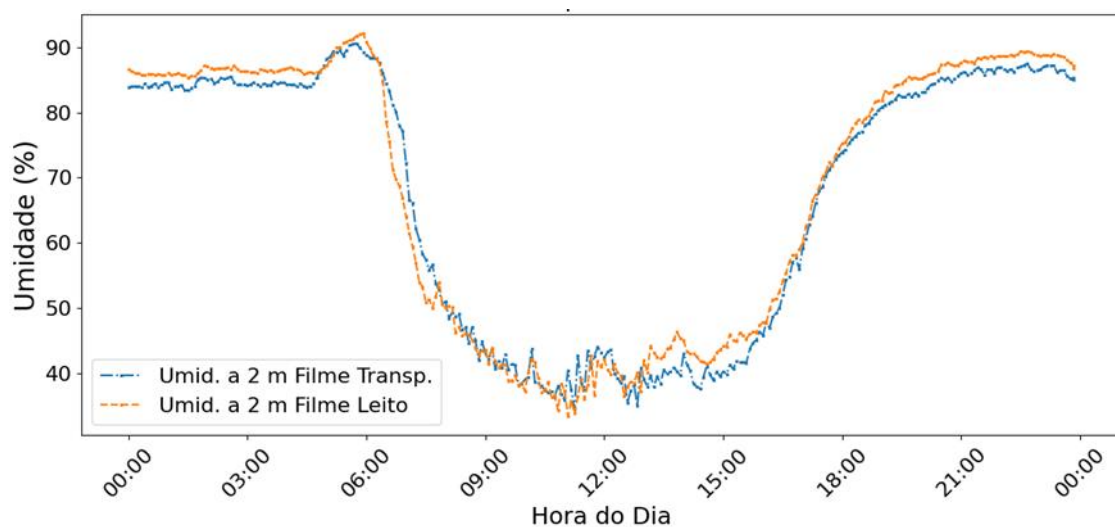
Figura 47: Variação da temperatura interna ao longo do dia, a 2 m de altura, em estufas cobertas com filme transparente e filme leitoso



Fonte: Autor (2023)

A umidade relativa do ar para as coberturas transparente e leitoso apresentou variações, principalmente nos intervalos noturnos. O filme leitoso teve capacidade de resfriamento mais rápida em comparação com o filme transparente e o difusor. No entanto, nos intervalos das horas das 9h às 15h, foram observadas variações de valores menores.

Figura 48: Variação da umidade interna ao longo do dia, a 2 m de altura, em estufas cobertas com filme transparente e filme leitoso



Fonte: Autor (2023)

As análises estatísticas revelaram que o filme difusor apresentou os menores valores de temperatura nos 12 dias analisados e demonstrou a melhor distribuição de temperatura e umidade relativa do ar no ambiente interno, considerando as quatro alturas avaliadas. Os valores de umidade relativa do ar foram inferiores a 4 metros, indicando uma maior quantidade de massa de ar quente próxima à cobertura. Durante o período diurno, as temperaturas nas alturas de 2 e 4 metros foram próximas, sugerindo que a cobertura distribuiu a radiação solar de maneira mais uniforme.

O filme transparente, por sua vez, apresentou valores de temperatura diurna mais elevados em relação ao filme difusor, atingindo uma diferença de aproximadamente $3,8^{\circ}\text{C}$. Já os valores de temperatura na altura de 4 metros ficaram próximos aos $42,5^{\circ}\text{C}$.

O filme leitoso foi o que apresentou as maiores variações de temperatura entre as estações de coleta para as alturas de 2 e 4 metros analisadas. Os maiores picos de temperatura foram observados na cobertura plástica leitosa, chegando próximo aos 45°C , apresentando as maiores oscilações de temperatura e umidade ao longo das horas noturnas.

5 CONCLUSÃO

A cobertura plástica com filme difusor apresentou menores variações térmicas no ambiente interno em comparação com as coberturas transparente e leitosa. Entretanto, as estações de coleta próximas à tela antiafídeo mostraram maiores variações na umidade relativa e temperatura, em comparação com as medidas realizadas no centro das estufas.

Análises simultâneas entre os filmes indicaram que durante os períodos noturnos, o filme plástico difusor apresentou as menores oscilações ao longo da noite, diferindo das demais coberturas quanto à umidade relativa do ar.

Nos períodos mais quentes, o filme difusor registrou temperaturas mais baixas em comparação com as coberturas leitosa e transparente. A cobertura transparente e leitosa apresentou picos de temperatura mais elevados em relação ao filme difusor.

Quanto à escolha da melhor cobertura, o filme difusor destacou-se ao oferecer temperaturas internas mais baixas em relação aos filmes transparente e leitoso. Ele manteve as temperaturas internas com picos mais baixos e variações mais reduzidas, proporcionando distribuições mais uniformes de temperatura e umidade relativa do ar em comparação com as outras coberturas avaliadas. Além disso, o filme difusor manteve baixas variações de temperatura e umidade nas alturas de 2 e 4 metros, permitindo menores variações térmicas nos períodos diurnos e noturnos.

REFERÊNCIAS

- AL-MAHDOURI, A., BANESHI, M., GONOME, H., OKAJIMA, J., & MARUYAMA. Evaluation of optical properties and thermal performances of different greenhouse covering materials. **Solar Energy**, [s. l.], v. 96, p. 21-32, 2013.
- ANDRADE, J. W. de S. et al. Utilização de diferentes filmes plásticos como cobertura de abrigos para cultivo protegido. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [s. l.], v. 33, p. 437-443, 2011.
- BADJI, A. *et al.* Design, technology, and management of greenhouse: A review. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], p. 133753, 2022.
- BALOCCO, C., MERCATELLI, L., AZZALI, N., MEUCCI, M., & GRAZZINI. Experimental transmittance of polyethylene films in the solar and infrared wavelengths. **Solar Energy**, [s. l.], v. 165, p. 199-205, 2018.
- BARBOSA, L. A., DREGER, A. A., SCHNEIDER, E. L., MORISSO, F. D. P., & SANTANA, R. M. C. Polietileno de baixa densidade-PEBD: mercado, produção, principais propriedades e aplicações. **Revista Espacios**, [s. l.], v. 38, n. 17, p. 1-13, 2017. Acesso em: 5 de nov. 2022.
- BASSOI, L. H. *et al.* Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. 2014. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=Agricultura+de+precis%C3%A3o%3A+resultados+de+um+novo+olhar.&btnG=. Acesso em: 5 de nov. 2022.
- BAXEVANOU, C., FIDAROS, D., BARTZANAS, T., & KITTAS, C. Yearly numerical evaluation of greenhouse cover materials. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 149, p. 54-70, 2018.
- BISBIS, M. B., GRUDA, N., & BLANKE, M. Impactos potenciais das mudanças climáticas na produção de hortaliças e qualidade do produto – Uma revisão. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 170, p. 1602-1620, 2018.
- BORJAS VENTURA, R., MENDOZA SOTO, V., JULCA OTINIANO, A., & LUPINO GRATÃO, P. Efeito do déficit hídrico e do aumento de temperatura sobre variáveis produtivas fisiológicas e bioquímicas do "cacau". **Arnaldoa**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 287-296, 2019.
- BURGESS, A. J. *et al.* High-resolution three-dimensional structural data quantify the impact of photoinhibition on long-term carbon gain in wheat canopies in the field. **Plant Physiology**, [s. l.], v. 169, n. 2, p. 1192–1204, 2015. DOI: 10.1104/pp.15.00722.
- BURIOL, G. A. *et al.* Transmissividade à radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufas. **Ciência Rural**, v. 25, p. 1-4, 1995. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/8s6bsHBvCqJmqLR8DT3Wy4z/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 20 de nov. 2022.

CALVETE, E. O.; TESSARO, F. Ambiente protegido: aspectos gerais. In: PETRY, C. **Plantas Ornamentais: aspectos para a produção**. 2. ed. Passo Fundo: Editora Universidade de Passo Fundo, [s. l.], 2008. p. 24-45.

CALZADILLA, A. *et al.* Climate change and agriculture: impacts and adaptation options in South Africa. **Water Resources and Economy**, [s. l.], v. 5, p. 24-48, 2014.

CAMPAGNOL, R.; M., S. da C.; PINHEIRO, R. R. Olericultura: cultivo em ambiente protegido. 2015. Disponível em: https://issuu.com/programahortimais/docs/cutivo_em_ambiente_protegido. Acesso em: 5 de dez. 2022.

CARON, B. O. *et al.* Eficiência do uso da radiação solar por plantas *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. cultivadas sob sombreamento e a pleno sol. **Ciência Florestal**, v. 24, p. 257-265, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/LRbmDRwhgQMz93Jj67PZw9G/?format=html>. Acesso em: 5 de nov. 2022.

CHOWDHURY, M. *et al.* Effects of temperature, relative humidity, and carbon dioxide concentration on growth and glucosinolate content of kale grown in a plant factory. **Foods**, v. 10, n. 7, p. 1524, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/7/1524>. Acesso em: 10 de nov. 2022.

DA SILVA, A. G. *et al.* Caracterização micrometeorológica de ambientes protegidos para produção vegetal. **Revista de Agricultura Neotropical**, [s. l.], v. 4, pág. 6177, 2021.

DA SILVA, N. F. *et al.* Thermal variability and the probability of frost and extreme heat in the Mesoregion Northern Pioneer of the Paraná State (Brazil)-case study of the year 2019. **Revista Geonorte**, v. 12, n. 39, p. 216-237, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/7159>. Acesso em: 5 de jan. 2023.

DE OLIVEIRA, S. Internet das coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry PI. Novatec Editora, 2017. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=E8gmDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA17&dq=vantagem+entre+a+comunica%C3%A7%C3%A3o+I2C+dos+demais+protocolos+como+UART+e+SPI&ots=5QSf5n2Z3A&sig=_XFGrmbnKFIKSf5l2L-_CDJQWp0#v=onepage&q&f=false.

DEMARTELAERE, A. C. F. *et al.* A influência dos fatores climáticos sob as variedades de alface cultivadas no Rio Grande do Norte. **Brazilian Journal of Development**, [s. l.], v. 6, n. 11, 2020.

DIAS, J. P. T. "2 RESPOSTAS E ADAPTAÇÃO A DIFERENTES ESTRESSES ABIÓTICOS." Editora da Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, [s. l.], 2018.

DOURADO, L. *et al.* Reposição de água na cultura da alface lisa com a utilização do irrigas em ambiente protegido. **Enciclopédia Biosfera**, [s. l.], v. 10, n. 18, 2014.

DUARTE, L. A. *et al.* Alterações na temperatura do ar mediante telas nas laterais de ambientes protegidos cultivados com tomateiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 148–153, fev. 2011.

EVANS, M.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J. **Arduino em ação**. Novatec Editora, [s. l.], 2013.

FARIA JUNIOR, M. J. A.; HORA, R. C. Cultivo Protegido. Comps. Hortaliças-fruto [online]. Maringá: EDUEM, 2018, p. 451-487. ISBN: 978-65-86383-01-0. <https://doi.org/10.7476/9786586383010.0016>.

FERRANTE, A.; MARIANI, L. Agronomic management for enhancing plant tolerance to abiotic stresses: High and low values of temperature, light intensity, and relative humidity. **Horticulturae**, [s. l.], v. 4, n. 3, p. 21, 2018.

FILHO, A. C. M.; RODRIGUES, J.P.; DAL PONTE, G. B. Plataforma arduino aplicada no desenvolvimento de um sistema de coleta de dados micro-ambientais em casas de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas** (Tupã), v. 15, n. 2, p. 190-206, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2021v15n2p190-206>.

GHANI, S. *et al.* Design challenges of agricultural greenhouses in hot and arid environments—A review. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v. 12, n. 1, p. 48-70, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S188183661730071X>.

GUZMÁN, C. H. *et al.* Implementation of virtual sensors for monitoring temperature in greenhouses using CFD and control. **Sensors**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 60, 2018.

H. FATNASSI *et al.* Optimisation of Greenhouse Insect Screening with Computational Fluid Dynamics. **Biosystems Engineering**, v. 93, n. 3, p. 301–312, 1 mar. 2006. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.11.014>.

HACKENHAAR, N. M.; HACKENHAAR, C.; ABREU, Y. V. de. Robótica na agricultura. **Interações (Campo Grande)**, [s. l.], v. 16, p. 119-129, 2015.

HE, Xin *et al.* Light-altering cover materials and sustainable greenhouse production of vegetables: A review. **Plant Growth Regulation**, [s. l.], v. 95, n. 1, p. 1-17, 2021.

HEMMING, S. *et al.* Produção de tomate cereja em estufas inteligentes – sensores e IA para controle do clima, irrigação, rendimento e qualidade das colheitas. **Sensores**, v. 20, n. 22, pág. 6430, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/22/6430>.

HERNÁNDEZ-MORALES, C. A.; LUNA-RIVERA, J. M.; PEREZ-JIMENEZ, R. Design and deployment of a practical IoT-based monitoring system for protected cultivations. **Computer Communications**, v. 186, p. 51-64, 2022. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366422000159?casa_token=YYCp4IDMIIAAAA:QyOftGoLLBKLfBwK66AshiAPgPCREEOcWiJ3ec6Oz6xLh6cg-VVuIATaWah2RS5rP09o_pCTF5c. Acesso em: 19 de jan. 2023.

- JAMIL, F. *et al.* Optimal smart contract for autonomous greenhouse environment based on IoT blockchain network in agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 192, p. 106573, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169921005901>.
- KATSOULAS, N. *et al.* Plant responses to UV blocking greenhouse covering materials: A review. **Agronomy**, [s. l.], v. 10, n. 7, p. 1021, 2020.
- KERBAUY, GB. **Fisiologia Vegetal**. 2^a ed. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, [s. l.], 2013. 431 p.
- KHAMMAYOM, N.; MARUYAMA, N.; CHAICHANA, C. O efeito dos parâmetros climáticos na produção de morango em uma pequena estufa. **AgroEngenharia**, [s. l.], v. 4, n. 1, pág. 104-121, 2022.
- KIM, H.-K.; LEE, S.-Y.; KWON, J.-K.; KIM, Y.-H. Evaluating the Effect of Cover Materials on Greenhouse Microclimates and Thermal Performance. **Agronomy**, 2022, 12, 143. DOI: 10.3390/agronomy12010143.
- KOCHHAR, A.; KUMAR, N. Wireless sensor networks for greenhouses: An end-to-end review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 163, p. 104877, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169918319331>.
- KUMAR, S. *et al.* Climate regulation in protected structures: a review. **Journal of Agriculture and Ecology**, v. 13, p. 20-34, June 2022. ISSN 2456-9410. Available at: <http://journals.saaer.org.in/index.php/jae/article/view/449>. Access date: June 20, 2022. DOI: <https://doi.org/10.53911/JAE.2022.13102>.
- LEVINTAL, E. *et al.* Greenhouse: Robotically positioned, low-cost, open-source CO2 analyzer and sensor device for greenhouse applications. **HardwareX**, v. 9, p. e00193, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468067221000225>.
- LI, H. *et al.* Optimal sensor placement for monitoring and controlling greenhouse internal environments. **Biosystems Engineering**, v. 188, p. 190-206, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169921005755>.
- LI, H. *et al.* Towards automated greenhouse: A state of the art review on greenhouse monitoring methods and technologies based on internet of things. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 191, p. 106558, 2021.
- Li, T.; Yang, Q. Mini review: Advantages of diffuse light for horticultural production and perspectives for further research. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 704, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00704>.
- LONAX. Tipos de lona para estufa e suas particularidades. 2020. Disponível em: <https://lonax.com.br/blog/confira-4-tipos-de-lona-para-estufa-e-suas-particularidades/>. Acesso em 06 de dez. 2021.

MANOHARAN, S. Supervised Learning for Microclimatic parameter Estimation in a Greenhouse environment for productive Agronomics. **Revista de Inteligência Artificial**, v. 2, n. 03, p. 170-176, 2020. Disponível em: <https://www.irojournals.com/aicn/V2/I3/04.pdf>.

MARÔCO, J. **Análise Estatística com o SPSS Statistics**. 7ª edição. ReportNumber, Lda, [s. l.], 2018.

MARUCCI, A. *et al.* Mediterranean greenhouses: energy flows in presence of the plants. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, [s. l.], v. 11, n. 3/4, p. 661-666, 2013.

MASHONJOWA, E. *et al.* The effects of whitening and dust accumulation on the microclimate and canopy behaviour of rose plants (**Rosa hybrida**) in a greenhouse in Zimbabwe. **Solar Energy**, [s. l.], v. 84, n. 1, p. 10-23, 2010.

MODEST, M. F.; MAZUMDER, S. **Radiative heat transfer**. Academic press, [s. l.], 2021. p. 210-2015.

NOVAIS, D. **Instalações rurais**. Instituto formação. Técnico em agricultura, 2014. Disponível em: <http://www.ifcursos.com.br/sistema/admin/arquivos/13-35-34-apostilainstalacoesrurais.pdf>.

OJHA, T. *et al.* Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. **Computers and electronics in agriculture**, [s. l.], v. 118, p. 66-84, 2015.

OLIVEIRA, S. F.; PRADO, R. B.; MONTEIRO, J. M. G. Impacts of climate change on agricultural production and adaptation measures under the perception of actors and rural producers in Nova Friburgo, RJ. **Interações (Campo Grande)**, [s. l.], v. 23, p. 1179-1201, 2023.

PAPAIOANNOU, C.; KATSOULAS, N.; KITTA, E. Reduction in Blockage Property of UV-Blocking Greenhouse Covering Material: In Situ and Lab Measurement Comparison. **AgriEngineering**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 171-178, 2022.

PAPERPLAST. **Online Plástico para estufa**. Disponível em: <https://www.paperplast.com.br/plastico-para-estufa/filme-estufa-leitoso.html>. Acesso em: 15 de Jul. de 2022.

PARADISO, R. *et al.* Nutrient and Nutraceutical Quality of Rocket as a Function of Greenhouse Cover Film, Nitrogen Dose and Biostimulant Application. **Agronomy**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 638, 2023.

PURQUERIO, L. F. V.; TIVELLI, S. W. Manejo do ambiente em cultivo protegido. Manual técnico de orientação: projeto hortalimento. São Paulo: Codeagro, [s. l.], p. 15-29, 2006.

REBOUÇAS, P. M. *et al.* Radiação solar e temperatura do ar em ambiente protegido. **Revista Agroambiental**, v. 7, n. 2, 2014. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Radia%C3%A7%C3%A3o-solar-e-temperatura-do->

ar-em-ambiente-Rebou%C3%A7as-Dias/fdd073cbe010a32754ab5e3abf8446d1fb9de6e1?p2df.

REBOUÇAS, Perila Maciel *et al.* Radiação solar e temperatura do ar em ambiente protegido. **Revista Agrogeoambiental**, [s. l.], v. 7, n. 2, 2015.

REIS, N.V.B. Construção de estufas para produção de hortaliças nas Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. **Circular Técnica**, Brasília, [s. l.], v. 38, p. 1-16, dez. 2005.

ROBSON, T. M. *et al.* The benefits of informed management of sunlight in production greenhouses and polytunnels. **Plants, People, Planet**, [s. l.], 2022.

ROCHA, L. A. G. Desenvolvimento de um sistema de coleta de dados ambientais em ambiente protegido, [s. l.], 2022.

SANTOS, L. L. *et al.* Luminosidade, temperatura do ar e do solo em ambientes de cultivo protegido. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 83-93, 2010.

SEEMANN, J. Greenhouse climate. In: Seemann, J. **Agrometeorology**. New York: Springer-Verlag, 1979, p.165-178. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-67288-0_24.

SENSIRION AG. Catálogo de produtos: SHT31. Disponível em: <https://www.sensirion.com/products/catalog/SHT31A-DIS-B>. Acesso em: 05 de abril de 2023.

SHAHAK, Y. *et al.* Telas de sombra fotosselativas integradas com tecnologias de estufas para melhor desempenho de culturas vegetais e ornamentais. In: **Workshop Internacional de Controle Ambiental de Estufa e Produção de Cultivos no Semi-Árido** 797. 2008. pág. 75-80. Disponível em: <https://sci-hub.se/10.17660/ActaHortic.2008.797.8>.

SHAMSHIRI, R. *et al.* Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture, [s. l.], 2018.

SHAMSHIRI, R. R. *et al.* Model-based evaluation of greenhouse microclimate using IoT-Sensor data fusion for energy efficient crop production. **Journal of Cleaner Production**, v. 263, p. 121303, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620313500?via%3Dihub>.

SHAMSHIRI, R. R. *et al.* Review of optimum temperature, humidity, and vapour pressure deficit for microclimate evaluation and control in greenhouse cultivation of tomato: a review. **Agrofísica Internacional**, v. 32, n. 2, pág. 287-302, 2018.

SHIN, J. *et al.* Evaluation of the light profile and carbon assimilation of tomato plants in greenhouses with respect to film diffuseness and regional solar radiation using ray-tracing simulation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 296, p. 108219, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016819232030321X>.

SILVA, T. R. G. da *et al.* Abiotic factors in plant growth and flowering. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 4, p. e19710413817, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i4.13817. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/13817>.

SIMON, J.; DE ALMEIDA, R. E. M. Revisão sobre saldo de radiação em plantas de cobertura contínua e descontínua e perspectivas para sistemas mistos (iLPF). **Embrapa Pesca e Aquicultura-Documentos (INFOTECA-E)**, 2014.

SINGH, M. C. *et al.* Impacto da taxa de ventilação e suas características associadas no microclima da estufa e no uso de energia. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 15, n. 3, pág. 1-29, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-022-09587-1>.

SINGH, M. C.; SINGH, J. P.; SINGH, K. G. Development of a microclimate model for prediction of temperatures inside a naturally ventilated greenhouse under cucumber crop in soilless media. **Computers and electronics in agriculture**, [s. l.], v. 154, p. 227-238, 2018.

SOUSSI, M. *et al.* Comprehensive Review on Climate Control and Cooling Systems in Greenhouses under Hot and Arid Conditions. **Agronomy**, v. 12, n. 3, p. 626, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/3/626>. Acesso em 1 de jan. 2023.

SPARKFUN. I2C Protocol. Disponível em: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/i2c/protocol>. Acesso em: 5 mar. 2023.

STATUTO, D. *et al.* Comparação da eficiência de telas plásticas para sombreamento de estufa em diferentes climas. In: **Conferência Internacional de Meio Termo da Associação Italiana de Engenharia Agrícola**. Springer, Cham, 2019. p. 287-294. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-39299-4_33.

SUBAHI, A. F.; BOUAZZA, K. E. An intelligent IoT-based system design for controlling and monitoring greenhouse temperature. **IEEE Access**, [s. l.], v. 8, p. 125488-125500, 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. Fundamentos de Fisiologia Vegetal-6. Artmed Editora, [s. l.], 2021. cap – 4. p. 558.

TEIXEIRA, G. B.; ALMEIDA, J. V. P. Rede LoRa® e protocolo LoRaWAN® aplicados na agricultura de precisão no Brasil. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

TERUEL, B. J. Controle automatizado de casas de vegetação: Variáveis climáticas e fertigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 237-245, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/gRnTw3hbCbKRSvVg7fmww7j/?format=pdf&lang=pt>

TING, K. C.; GIACOMELLI, G. A. Solar photosynthetically active radiation transmission through greenhouse glazings. **Energy in agriculture**, v. 6, n. 2, p. 121-132, 1987. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167582687900106>

TONHATI, R. *et al.* L-proline alleviates heat stress of tomato plants grown under protected environment. **Scientia Horticulturae**, v. 268, p. 109370–109370, 1 jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109370>

TOPGADGET. Selecionando entre protocolos I2C e SPI para o seu projeto. Top Gadget, 2022. Disponível em: <https://www.topgadget.com.br/howto/electronica/selecionando-entre-protocolos-i2c-e-spi-para-o-seu-projeto.htm>. Acesso em: 5 mar. 2023.

Tropical Estufas. Filmes Agrícolas. Disponível em: <https://tropicalestufas.com.br/filmes-agricolas/>.

TUDELA, J. A. *et al.* Growing season climates affect quality of fresh-cut lettuce. **Postharvest Biology and Technology**, v. 123, p. 60–68, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.08.013>. Acesso em 13 jul. 2018.

TUZEL, Y. *et al.* Improvement of greenhouse design and climate control in Mediterranean conditions. **Revista de Alimentação, Agricultura e Meio Ambiente**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 74-79, 2017.

XU, K. *et al.* A study on temperature spatial distribution of a greenhouse under solar load with considering crop transpiration and optical effects. **Energy Conversion and Management**, v. 254, p. 115277, 2022. Disponível em: doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115277

YAMASOE, M. A.; DE PAULA C. M. Processos radiativos na atmosfera. Oficina de Textos, [s. l.], 2016. Pág. 133-134.

ZOU, H. *et al.* Eliminating greenhouse heat stress with transparent radiative cooling film. **Cell Reports Physical Science**, [s. l.], v. 4, n. 8, 2023.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guidelines on the installation of meteorological instruments and observations systems**. 7th ed. Geneva: WMO, 2008. Disponível em: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3461. Acesso em: 15 mar. 2023.