



DIEGO LUIS FERRARI

**MICROCLIMA DE AMBIENTES PROTEGIDOS COM
DIFERENTES GRAUS TECNOLÓGICOS NA
PRODUÇÃO DO TOMATEIRO**

CAMPINAS

2013



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

DIEGO LUIS FERRARI

**MICROCLIMA DE AMBIENTES PROTEGIDOS COM
DIFERENTES GRAUS TECNOLÓGICOS NA
PRODUÇÃO DO TOMATEIRO**

Orientador: Prof. Dr. Paulo Ademar Martins Leal

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola na área de concentração em Construções Rurais e Ambiente.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO
DEFENDIDA PELO ALUNO DIEGO LUIS FERRARI E ORIENTADA PELO
PROF. DR. PAULO ADEMAR MARTINS LEAL

Assinatura do Orientador

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Paulo", written over a horizontal line.

Prof. Dr. Paulo Martins Leal
Matrícula 05510-7
FEAGRI/UNICAMP

CAMPINAS

2013

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

F412m Ferrari, Diego Luis, 1986-
Microclima de ambientes protegidos com diferentes graus tecnológicos na produção do tomateiro / Diego Luis Ferrari. – Campinas, SP : [s.n.], 2013.

Orientador: Paulo Ademar Martins Leal.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Estufa (Plantas). 2. Radiação solar. 3. Temperatura. 4. Umidade relativa. 5. Tomates - Cultivo. I. Leal, Paulo Ademar Martins, 1953-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Microclimate of greenhouses with different technologic degrees in tomato production

Palavras-chave em inglês:

Greenhouses (Plants)

Solar radiation

Temperature

Relative humidity

Tomato - Culture

Área de concentração: Construções Rurais e Ambiência

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola

Banca examinadora:

Paulo Ademar Martins Leal [Orientador]

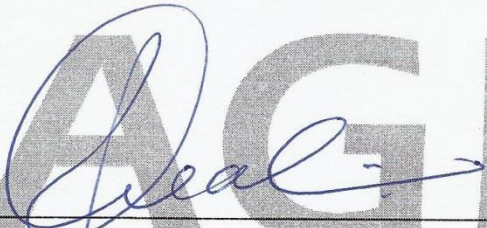
Luis Felipe Villani Purquerio

Sylvio Luis Honorio

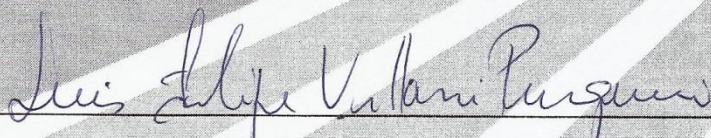
Data de defesa: 31-07-2013

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Agrícola

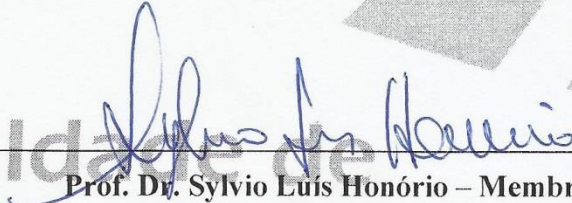
Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Diego Luis Ferrari**, aprovada pela Comissão Julgadora em 31 de julho de 2013, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.


FEAGRI

Prof. Dr. Paulo Ademar Martins Leal – Presidente e Orientador
Feagri/Unicamp


IAC

Dr. Luis Felipe Villani Purquerio - Membro Titular
IAC


Faculdade de Engenharia Agrícola
Unicamp

Prof. Dr. Sylvio Luis Honório – Membro Titular
Feagri/Unicamp

Aos meus pais, Terezinha e Antonio, pelos ensinamentos, amor e apoio incondicional em todas minhas escolhas.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre presente na minha vida.

Ao Professor Dr. Paulo Ademar Martins Leal, pela orientação, amizade, compreensão e paciência, desde a graduação até a conclusão deste trabalho.

À Faculdade de Engenharia Agrícola, pelas oportunidades e presença em minha formação acadêmica.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de mestrado.

A empresa Sol Pack e ao Eng^o. Cícero Leite, pela oportunidade de realizar o presente estudo científico nas instalações financiadas pela empresa e pelo empréstimo dos sensores de temperatura e umidade.

A minha namorada Renata Botelho Gouveia, pelo apoio incondicional e ajuda na realização das medições experimentais.

A aluna de graduação Ana Eliza Oliveira, pela imensa ajuda nas medições experimentais.

Aos amigos Haroldo Ferreira de Araújo e Daniel Feitosa, pelo apoio na instalação dos sensores.

A Eng^a. Aline Leite, pelo empenho na condução experimental.

Aos alunos da Escola Técnica Agrícola, pela ajuda na condução da cultura.

À Dra. Luciana Aparecida Carlini-Garcia da APTA, pelo auxílio e conferência da análise e discussão estatística.

Ao Prof. Dr. Sylvio Luis Honorio e ao Pesquisador Dr. Luis Felipe Villani Purquerio, pelas preciosas sugestões no direcionamento do trabalho.

Aos Professores Dr. Holmer Savastano Junior e Dr. Juliano Fiorelli e à FZEA/USP, por autorizarem minha permanência no programa de mestrado paralelamente às minhas funções na Universidade de São Paulo.

A todos que participaram e apoiaram direta ou indiretamente na realização deste trabalho.

RESUMO

Em regiões tropicais, ambientes protegidos com filmes de polietileno de baixa densidade (PEBD) podem atingir facilmente temperaturas acima da faixa ótima recomendada para as culturas hortícolas como o tomateiro. Quando a ventilação natural não é capaz de reduzir a carga térmica do ambiente, outros níveis tecnológicos de controle microclimático podem ser empregados, como o sombreamento por meio de telas termorrefletoras que visam restringir o aumento excessivo da temperatura do ar por meio da reflexão de parte da radiação solar. No entanto, o uso da técnica deve ser feito com cautela e manejo, pois a redução excessiva da radiação solar pode ter reflexos negativos sobre o crescimento, desenvolvimento e produção do tomateiro. O presente trabalho teve como objetivo comparar os efeitos de diferentes coberturas (PEBD e PEDB associado à tela termorrefletora empregada somente em dias de céu claro) sobre os microclimas dos respectivos ambientes protegidos e o efeito destes sobre a qualidade da produção e o crescimento de plantas de tomateiros dos grupos minitomate, italiano e caqui. Para tanto, dois ambientes protegidos foram instalados em Rio das Pedras, SP: Ambiente 1 (PEBD e tela termorrefletora) e Ambiente 2 (PEBD). Foram estudadas 6 cultivares, sendo 2 do grupo minitomate (TVS796 e TSV787), 2 do grupo italiano (TSV780 e Pizzadoro) e 2 do grupo caqui (Inox e Alambra). A tela termorrefletora reduziu as integrais diárias da radiação solar global e da radiação fotossinteticamente ativa no Ambiente 1, cujas médias foram $9,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e $16,0 \text{ moles m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente, frente às médias $14,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e $29,0 \text{ moles m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ do Ambiente 2. Com relação à temperatura do ar, a média das máximas e a média diária foram superiores no Ambiente 2 com valores de $38,0$ e $24,1$ °C, respectivamente, contra $33,9$ e $23,2$ °C no Ambiente 1. As médias das mínimas foram estatisticamente iguais entre os ambientes protegidos. A umidade relativa do ar apresentou valores inversamente proporcionais à temperatura, com médias das máximas, mínimas e diária, respectivamente, iguais a $98,1$, $44,3$ e $76,1$ % no Ambiente 1 e $98,1$, $37,1$ e $73,2$ % no Ambiente 2. Em termos de qualidade dos frutos, no caso do grupo minitomate, a tela termorrefletora teve influência significativa apenas sobre o diâmetro equatorial, cujo valor médio foi maior no Ambiente 1. Nos frutos das cultivares do grupo italiano, apenas o teor de sólidos solúveis sofreu variação significativa, com valor médio menor no Ambiente 1. Os frutos das cultivares do grupo caqui apresentam maior diâmetro equatorial e massa média no

Ambiente 1, no entanto, não houve variação no diâmetro longitudinal e o teor de sólidos solúveis sofreu redução. As plantas dos três grupos de tomate foram maiores no Ambiente 1.

Palavras-chave: Tela termorrefletora; Manejo microclimático; Tomateiro.

ABSTRACT

In tropical climates, air temperature inside greenhouses covered with low density polyethylene (LDPE) can exceed the optimum range recommended for horticultural crops like tomato. In the cases which natural ventilation is not capable of reducing the greenhouse thermal load, other kind of microclimatic control technology like shading with thermal screen may be employed, which restrain the excessive increase of air temperature by reflecting part of solar radiation. However, the use of this technique must be done carefully with appropriate handling since excessive reduction of solar radiation may lead negative effects on growth, development and yield of tomatoes. The objective of this study was to compare the effect of two different coverings (LDPE and LDPE with thermal screen employed only in clear sky days) on the microclimates of the greenhouses and their effects on vegetative growth and fruit quality of minitomato, italian and kaki tomato groups. Two greenhouses were installed in Rio das Pedras, SP, Brazil, to perform the present experiment: Greenhouse 1 (LDPE and thermal screen) and Greenhouse 2 (LDPE). In these greenhouses, 6 cultivars were studied, 2 belonging to minitomato group (TVS796 and TSV787), 2 to the italian group (TSV780 e Pizzadoro) and 2 to the kaki group (Inox e Alambra). The thermal screen reduced the daily integrals of global solar radiation and photosynthetically active radiation in Greenhouse 1, where averages were $9,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ and $16,0 \text{ moles m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectively, compared to the averages of $14,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ and $29,0 \text{ moles m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ in Greenhouse 2. Regarding air temperature, the average of daily maximum temperatures and the average of daily temperatures were higher in Greenhouse 2, where were recorded values of $38,0$ e $24,1$ °C, respectively, against $33,9$ e $23,2$ °C in Greenhouse 1. The averages of daily minimum temperatures showed no statistical difference between studied greenhouses. The air relative humidity variation was inversely proportional to temperature. The average of daily maximum and minimum relative humidities and the average of daily relative humidities were, respectively, $98,1$, $44,3$ and $76,1$ % in Greenhouse 1 and $98,1$, $37,1$ and $73,2$ % in Greenhouse 2. Concerning fruit quality, in the case of minitomato group, thermal screen influenced only on the equatorial diameter, which average was higher in Greenhouse 1. Regarding italian group fruits, only the soluble solids average showed statistical difference, which average was lower in Greenhouse 1. In the case of kaki group fruits, higher averages of equatorial diameter and mass were observed in

Greenhouse 1, however there was no variation in the longitudinal diameter and the soluble solids decreased. The plant height of all tomato groups was higher in Greenhouse 1.

Keywords: Thermal screen; Microclimatic handling; Tomato crop.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Vista interna da estrutura denominada tenso-estrutura.....	17
Figura 2: Filme plástico de PEBD reforçado (Foto: SOL PACK, 2013).....	17
Figura 3: Vista lateral das estruturas com telas antiafídeos (a) e detalhe do ângulo formado entre a tela antiafídeo e o terreno (b).....	17
Figura 4: Detalhes da manivela (a) e barras de sustentação (b) do sistema retrátil de abertura/fechamento da tela termorrefletora.....	18
Figura 5: Espectrorradiômetro composto por: (1) esfera integradora (Licor, modelo 1800-12), com interior branco, (2) fonte de luz com lâmpada halógena, (3) placa de referência com Sulfato de Bário, (4) cápsula negra, representando corpo negro, (5) saída de luz, com cabo em fibra óptica, (6) fonte de energia (marca Licor, modelo LI 1800-12B), (7) bateria de 12 V, para alimentar a fonte de energia, (8) sonda de fibra ótica (marca Licor, modelo 1800-10), (9) espectrorradiômetro (marca Licor, modelo 1800), (10) terminal de dados (marca Computerwise, modelo Transterm 6), (11) amostra de tela (Foto: ZORZETO, T.Q.).....	19
Figura 6: Cultivares TSV 796 (a), TSV 787 (b), Pizzadoro (c), TSV 780 (d), Inox (e) e Alambra F1 (f).....	20
Figura 7: Vista geral das linhas de cultivo (a) e esquema ilustrativo do posicionamento dos vasos (b).....	21
Figura 8: Croqui da área experimental.....	22
Figura 9: Elementos constituintes do sistema de fertirrigação: sistema de controle e automação (a); bomba hidráulica e bombas injetoras (b); válvula solenoide (c) e microtubos de gotejamento (d).....	24
Figura 10: Sensor/registrator Novus LogBox-RHT-LCD (a), abrigo utilizado para os sensores internos (b) e abrigo do sensor externo (c).....	28
Figura 11: Transmitância, refletância e absorbância do filme de PEBD no início e ao término do experimento.....	33
Figura 12: Trânsmitância, refletância e absorbância da tela termorrefletora no início e ao término do experimento.....	34
Figura 13: Refletância da tela ráfia branca nova.....	35

Figura 14: Radiação solar global diária (RSGD, MJ m ⁻² dia ⁻¹) registrada no interior dos ambientes protegidos, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.....	36
Figura 15: Variação da radiação global solar (RSG, W m ⁻²) nos ambientes protegidos ao longo de um dia de céu claro (28/11/2012), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.....	36
Figura 16: Radiação fotossinteticamente ativa diária (RFAD, MJ m ⁻² dia ⁻¹ e moles m ⁻² dia ⁻¹) registrada no interior dos ambientes protegidos nas alturas de 2,0 m (a) e 1,0 m (b), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.....	40
Figura 17: Variação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA, W m ⁻² e μmol m ⁻² s ⁻¹) registrada no interior dos ambientes protegidos nas alturas de 2,0 m (a) e 1,0 m (b), ao longo de um dia de céu claro (28/11/2012), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.....	41
Figura 18: Relação RFAD/RSGD no interior dos ambientes protegidos, durante o período de 25/11/2011 a 21/01/2012, sendo: (a) Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e (b) Ambiente 2 = PEBD.....	43
Figura 19: Temperaturas máxima, mínima e média diárias registradas nos ambientes protegidos e no ambiente externo ao longo do cultivo experimental, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.....	45
Figura 20: Variação da temperatura do ar nos ambientes protegidos e no ambiente externo ao longo de um dia de céu claro (28/11/2012), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.....	49
Figura 21: Relação entre a temperatura do ar nos ambientes protegidos e no ambiente externo, sendo: (a) Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e (b) Ambiente 2 = PEBD.....	50
Figura 22: Umidades relativas máxima, mínima e média diárias registradas nos ambientes protegidos e no ambiente externo ao longo do cultivo experimental, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.....	51
Figura 23: Variação da umidade relativa do ar nos ambientes protegidos ao longo de um dia de céu claro (28/11/2012), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.....	53
Figura 24: Variação das pressões parcial (e _a) e de saturação (e _s) de vapor d'água do ar nos ambientes protegidos ao longo de um dia de céu claro (28/11/2012), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.....	56

Figura 25: Altura média das plantas das cultivares do grupo minitomate nos ambientes estudados em função do número de dias após transplântio (DAT), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletores e Ambiente 2 = PEBD..... 70

Figura 26: Altura média das plantas das cultivares do grupo italiano nos ambientes estudados em função do número de dias após transplântio (DAT), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletores e Ambiente 2 = PEBD..... 71

Figura 27: Altura média das plantas das cultivares do grupo caqui nos ambientes estudados em função do número de dias após transplântio (DAT), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletores e Ambiente 2 = PEBD..... 71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição das cultivares estudadas no experimento.....	20
Tabela 2: Formulação da fertirrigação adotada no primeiro mês de cultivo.....	25
Tabela 3: Formulação da fertirrigação utilizada após o primeiro mês de cultivo.....	25
Tabela 4: Especificações dos fertilizantes empregados na fertirrigação.....	26
Tabela 5: Número e tempo dos pulsos de fertirrigação.....	27
Tabela 6: Número de graus de liberdade na análise de variância conjunta dos ambientes.	30
Tabela 7: Valores médios da radiação solar global diária (RSGD, MJ m ⁻² dia ⁻¹) e da radiação solar global (RSG, W m ⁻²) registrados nos ambientes protegidos estudados, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.....	37
Tabela 8: Valores médios da radiação fotossinteticamente ativa diária (RFAD, MJ m ⁻² dia ⁻¹ e moles m ⁻² dia ⁻¹) e da radiação fotossinteticamente ativa (RFA, W m ⁻²) registrados nos ambientes protegidos estudados, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.....	42
Tabela 9: Valores médios mensais e do período completo das temperaturas máximas, mínimas e médias diárias registradas nos ambientes protegidos e no ambiente externo, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.....	46
Tabela 10: Valores médios mensais e do período completo das umidades relativas máximas, mínimas e médias diárias registradas nos ambientes protegidos e no ambiente externo, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora; Ambiente 2 = PEBD.....	52
Tabela 11: Pressões parcial (e _a) e de saturação (e _s) do vapor d'água e déficit de pressão de vapor do ar (DPV) nos ambientes protegidos, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.....	55
Tabela 12: Diâmetros equatorial e longitudinal médios dos frutos das cultivares avaliadas nos diferentes ambientes protegidos, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.....	58
Tabela 13: Valores do teste F das análises de variância conjunta dos diferentes grupos de tomate para as variáveis dimensionais dos frutos.....	59
Tabela 14: Dimensões médias dos frutos em função das cultivares estudadas.....	60
Tabela 15: Dimensões médias dos frutos dos diferentes grupos de tomate em função dos ambientes estudados, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.....	62

Tabela 16: Massa média dos frutos das cultivares avaliadas nos diferentes ambientes protegidos, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.....	62
Tabela 17: Valores do teste F das análises de variância conjunta dos diferentes grupos de tomate para a massa média dos frutos.....	63
Tabela 18: Massa média dos frutos em função das cultivares estudadas.....	64
Tabela 19: Massa média dos frutos dos diferentes grupos de tomate em função dos ambientes estudados, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.....	66
Tabela 20: Teor médio de sólidos solúveis dos frutos das cultivares avaliadas nos diferentes ambientes protegidos, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.....	67
Tabela 21: Valores do teste F das análises de variância conjunta dos diferentes grupos de tomate para o teor de sólidos solúveis dos frutos.....	68
Tabela 22: Teor médio de sólidos solúveis dos frutos em função das cultivares estudadas.....	68
Tabela 23: Teor médio de sólidos solúveis dos frutos dos diferentes grupos de tomate em função dos ambientes estudados, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.....	69
Tabela 24: Altura média das plantas das cultivares do grupo minitomate nos ambientes estudados em função do número de dias após transplantio (DAT), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.....	72
Tabela 25: Altura média das plantas das cultivares do grupo italiano nos ambientes estudados em função do número de dias após transplantio (DAT), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.....	72
Tabela 26: Altura média das plantas das cultivares do grupo caqui nos ambientes estudados em função do número de dias após transplantio (DAT), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.....	72

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1.	Cultura do tomateiro	3
2.2.	Cultivo protegido.....	3
2.3.	Alterações microclimáticas em ambientes protegidos.....	4
2.3.1.	Telas termorrefletoras.....	8
2.4.	Efeito das variáveis microclimáticas sobre o tomateiro	9
2.4.1.	Radiação	10
2.4.2.	Temperatura	11
2.4.3.	Umidade relativa	13
2.4.4.	Renovação do ar e concentração de CO ₂	14
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1.	Área experimental.....	16
3.2.	Ambientes protegidos	16
3.2.1.	Caracterização física dos materiais de cobertura	18
3.3.	Delineamento experimental, instalação e condução da cultura.....	19
3.4.	Sistema e manejo de fertirrigação	23
3.5.	Manejo do microclima das estruturas	27
3.6.	Coleta de dados climáticos.....	28
3.7.	Características de cultivo avaliadas	29
3.7.1.	Altura média das plantas (cm)	29
3.7.2.	Dimensões médias dos frutos (mm)	29
3.7.3.	Massa média dos frutos (g).....	29
3.7.4.	Teor médio de sólidos solúveis (°Brix)	30
3.8.	Análise estatística dos resultados	30
3.8.1.	Variáveis microclimáticas.....	30
3.8.2.	Características de cultivo	30
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1.	Propriedades físicas dos materiais de cobertura.....	31

4.2.	Análise das variáveis microclimáticas	35
4.2.1.	Radiação solar global	35
4.2.2.	Radiação fotossinteticamente ativa	39
4.2.3.	Relação entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação solar global.....	43
4.2.4.	Temperatura	44
4.2.5.	Umidade relativa e déficit de pressão de vapor	50
4.2.6.	Adequação do microclima dos ambientes às exigências climáticas do tomateiro.....	56
4.3.	Análise das características de cultivo	58
4.3.1.	Dimensões médias dos frutos.....	58
4.3.2.	Massa média dos frutos	62
4.3.3.	Teor médio de sólidos solúveis	66
4.3.4.	Altura média das plantas.....	70
5.	CONCLUSÕES	75
6.	SUGESTÕES.....	76
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

1. INTRODUÇÃO

O cultivo protegido tem se expandido por diversas áreas do mundo nas últimas décadas, principalmente após o advento da plasticultura (CASTILLA, 2005). No Brasil, esse tipo de cultivo teve seus primeiros registros no final dos anos de 1960, no entanto, somente no início dos anos de 1990 que esta técnica passou a ser amplamente utilizada (GRANDE et al, 2003), atingindo no ano de 2005, cerca de 13 mil hectares de área cultivada sob algum tipo de cobertura plástica (RETO, 2010).

No caso da cultura do tomateiro de mesa (*Solanum lycopersicum* L.) o cultivo protegido se difundiu fortemente na região Sudeste do Brasil, com grande participação do Estado de São Paulo (FERNANDES et al., 2002). O Estado tem importante participação na produção de tomate a nível nacional, com produção de 827 mil toneladas em 2011 (IBGE, 2013).

O emprego do cultivo protegido tem sido motivado por diversos fatores, dentre os quais se destacam a possibilidade de cultivo em épocas sazonais, proteção contra o excesso de chuvas no verão, aumento de produtividade e obtenção de produtos de melhor qualidade (CERMEÑO, 1994; LOPES e STRIPIARI, 1998; ANDRIOLO, 2002; CASTILLA, 2005; VÁSQUEZ et al., 2005).

Os materiais de cobertura utilizados nas estruturas de proteção têm papel fundamental, pois atuam como agentes modificadores do microclima e, conseqüentemente, sobre o desempenho da atividade agrícola. O polietileno de baixa densidade (PEBD) tem sido o material de cobertura mais amplamente empregado no cultivo protegido (ANDRIOLO, 2002; CASTILLA, 2005). Esse material, quando empregado na cobertura de ambientes sem nenhum tipo de sistema de resfriamento climático ativo, pode ocasionar, principalmente em épocas de temperaturas elevadas, condições microclimáticas desfavoráveis ao desenvolvimento do tomateiro, caracterizadas por altos valores de temperatura, umidade relativa e/ou déficit de pressão de vapor. A temperatura pode facilmente ultrapassar o limite máximo tolerável pela cultura de 34 °C (GIORDANO e SILVA, 2000), atingindo valores acima de 40 °C (LOPES e STRIPIARI, 1998).

Como alternativa, visando restringir o aumento excessivo da temperatura do ar em ambientes protegidos, pode-se fazer uso de telas termorrefletoras, que têm por finalidade a redução da temperatura por meio da reflexão de parte da radiação solar incidente (GUISELINI

et al., 2010). O uso de sombreamento, depois da ventilação natural, é considerado o mais simples e menos custoso nível tecnológico de controle microclimático a ser empregado em ambientes protegidos. No entanto, essa ferramenta deve ser manejada de forma adequada (GENT, 2007; HAHN, 2011; STANGHELLINI et al., 2011), pois a radiação solar, assim como a temperatura, desempenha importante papel sobre o crescimento, desenvolvimento e produção do tomateiro.

A observância dos níveis de radiação que atinge o dossel da cultura não pode ser negligenciada, a fim de evitar que a atividade fotossintética e desenvolvimento das plantas fiquem comprometidos. FAO (1990) cita como limite trófico o nível de radiação solar global de $8,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, valor suficiente para garantir a produção mínima de fotoassimilados necessários à manutenção da planta. O ponto de saturação luminosa, que estabelece o nível limite de radiação fotossinteticamente ativa até o qual ocorre aumento da assimilação de CO_2 , também deve ser observado. Níveis de radiação fotossinteticamente ativa abaixo desse limite podem restringir a fotossíntese e acima podem promover o aumento excessivo da temperatura da planta, com reflexos negativos sobre a taxa transpiratória e fotossíntese. ROCHA (2007) e PAPADOPOULOS e HAO (1997) citam valores de saturação luminosa entre 700 e $1.500 \mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$, em função do genótipo da cultivar de tomateiro em questão. Nesse contexto, o uso permanente da tela termorrefletora, em determinados casos, pode se tornar prejudicial (STANGHELLINI et al., 2011), de forma que o manejo em função das condições climáticas pode prover condições microclimáticas mais favoráveis (GENT, 2007).

O presente trabalho de pesquisa assumiu como hipótese que o ambiente protegido coberto com PEBD associado à tela termorrefletora, manejada em função das condições climáticas, propicia condições microclimáticas mais favoráveis ao cultivo do tomateiro em relação às condições em ambiente coberto somente por PEBD, com consequentes reflexos positivos sobre o desenvolvimento vegetativo e a qualidade da produção.

Portanto, o objetivo do trabalho foi comparar os efeitos de diferentes coberturas (PEBD e PEDB associado à tela termorrefletora manejada em função das condições climáticas) sobre os microclimas dos respectivos ambientes protegidos e o efeito destes sobre a qualidade da produção e o crescimento de plantas de tomateiros dos grupos minitomate, italiano e caqui.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cultura do tomateiro

O tomateiro é originário da América do Sul, mais especificadamente entre o Equador e o norte do Chile, encontrando-se muitas espécies desde o litoral do Pacífico até uma altitude de 2.000 m nos Andes, sendo, portanto, uma planta de clima tropical de altitude que se adapta a quase todos os tipos de climas (LOPES e STRIPIARI, 1998). Entretanto, a domesticação e o cultivo do tomateiro foram feitos por tribos indígenas que habitavam o México (GIORDANO e RIBEIRO, 2000). A planta pode desenvolver-se em climas do tipo tropical de altitude, subtropical e temperado, permitindo seu cultivo em diversas regiões do mundo (GIORDANO e SILVA, 2000). No Brasil, o tomateiro foi introduzido no fim do século XIX por imigrantes europeus, mas a difusão e a expansão do consumo começaram a ocorrer somente após a primeira Guerra Mundial, por volta de 1930 (ALVARENGA, 2004).

O cultivo do tomateiro tem grande importância econômica a nível mundial, representando a segunda hortaliça com maior produção, perdendo somente para a batata (FAO, 2013). Em 2011, o Brasil foi o oitavo maior produtor mundial de tomate, com produção de 4,42 milhões de toneladas, ficando atrás apenas de China, Índia, Estados Unidos, Turquia, Egito, Irã e Itália (FAO, 2013). O Estado de São Paulo é o segundo maior produtor de tomate do País, com produção, em 2011, de 827 mil toneladas em uma área de 13,1 mil ha (IBGE, 2013).

2.2. Cultivo protegido

O ambiente protegido visando o cultivo vegetal pode ser definido como qualquer instalação coberta e abrigada artificialmente por materiais transparentes (CERMEÑO, 1994). Esse tipo de cultivo tem se espalhado nas últimas décadas por diversas áreas do mundo (CASTILLA, 2005). No Brasil, um levantamento realizado pelo Comitê Brasileiro de Desenvolvimento e Aplicação de Plásticos na Agricultura (COBAPLA), em 2005, detectou mais de 13 mil hectares de produção sob estufas cobertas por plástico (RETO, 2010).

Segundo VÁSQUEZ et al. (2005), a utilização de ambiente protegido tem aumentado consideravelmente nas diversas regiões do Brasil, principalmente para a produção de plantas ornamentais e hortícolas. No caso da cultura do tomateiro, o cultivo em ambiente protegido

tornou-se muito difundido na região Sudeste do Brasil, com grande participação do Estado de São Paulo, importante centro produtor de hortaliças (FERNANDES et al., 2002). LOPES e STRIPIARI (1998) atribuem o crescimento do cultivo protegido de tomate nas regiões Sul e Sudeste, entre outros, às dificuldades de realizar seu cultivo nos meses de verão, época historicamente chuvosa.

A aplicação do cultivo protegido tem sido motivada por diferentes vantagens, citadas por diversos autores: i. possibilidade de cultivo fora de época e, conseqüentemente, alto retorno de investimento; ii. maior precocidade; iii. aumento da produtividade; iv. obtenção de produtos de melhor qualidade; v. melhor controle de pragas e doenças, vi. economia de água de irrigação; vii. menor uso de produtos químicos com obtenção de produtos mais saudáveis; viii. maior eficiência dos tratos culturais, ix. menor lixiviação de nutrientes (CERMEÑO, 1994; LOPES e STRIPIARI, 1998; ANDRIOLO, 2002; CASTILLA, 2005; VÁSQUEZ et al., 2005). No entanto, para que seja obtido sucesso no cultivo protegido, LOPES e STRIPIARI (1998) e HIGUTI et al. (2010) destacam que são necessários conhecimentos técnicos relativos à cultura e ao manejo do ambiente.

2.3. Alterações microclimáticas em ambientes protegidos

A interposição de uma barreira física entre o dossel da cultura e a atmosfera, com a finalidade de proteção ao cultivo, promove a alteração do microclima do ar sob a cobertura. As alterações dependem essencialmente das propriedades dos materiais de fechamento, das condições de renovação do ar, da forma, dimensões e orientação do ambiente, da cobertura vegetal, do clima local e das possibilidades de evaporação do solo e da cobertura (CASTILLA, 2005).

Atualmente, o cultivo protegido realizado na maior parte do mundo emprega o plástico como material de cobertura, principalmente o PEBD (ANDRIOLO, 2002; CASTILLA, 2005). ANDRIOLO (2002) destaca que a barreira representada pela cobertura plástica modifica o fluxo de energia entre o solo, a cultura e a atmosfera. Por este motivo, as variáveis climáticas como luminosidade, temperatura, umidade relativa, concentração de CO₂ e oxigênio são modificadas, promovendo um microclima distinto ao clima local (CASTILLA, 2005).

A radiação solar incidente no interior do ambiente protegido é sempre menor que a incidida sobre uma superfície ao ar livre (VÁSQUEZ et al, 2005) devido aos processos físicos de reflexão e absorção promovidos pelo material plástico de cobertura. Segundo LOPES e STRIPIARI (1998), a cobertura plástica reduz de 18 a 43% a luminosidade no interior de ambientes protegidos. CERMEÑO (1994) destaca que a transmissividade do PEBD à luz solar varia de 70 a 85 %. A transmissividade do ambiente protegido à luz solar depende, além do material de cobertura propriamente dito, de outros fatores, como o acúmulo de sujeira durante o cultivo (LOPES e STRIPIARI, 1998), a orientação do ambiente, a inclinação do terreno, a geometria da cobertura, as condições de nebulosidade que alteram as frações das radiações direta e difusa, o sombreamento causado pelos próprios elementos estruturais do ambiente (CASTILLA, 2005) e o ângulo zenital do Sol, fazendo com que o nível de atenuação à radiação solar seja variável ao longo das horas do dia (PEZZOPANE et al., 2004).

A fração da radiação eletromagnética irradiada pelo sol que passa pela cobertura plástica é absorvida pelos corpos no interior do ambiente e, em seguida, transformada em energia calorífica, sendo transferida à atmosfera através da condução, convecção e radiação na forma de ondas longas (CERMEÑO, 1994). O aquecimento do ar interno de ambientes protegidos cobertos por PEBD deve-se, em parte, ao nível de opacidade do material às ondas longas, que impede que parte da energia sensível emitida, na forma de ondas longas, pelo chão, vasos, plantas e demais elementos estruturais no interior do ambiente, seja perdida para a atmosfera.

Entretanto, ANDRIOLO (2002) e LOPES e STRIPIARI (1998) destacam que o PEBD não possui elevada eficiência na retenção de radiação de ondas longas, possuindo transmissividade em torno de 70 % (CERMEÑO, 1994) nessa faixa do espectro eletromagnético. Contudo, infere-se que o aquecimento do ar interno desses ambientes, que em determinadas condições pode atingir até 15 °C acima do ambiente externo (LOPES e STRIPIARI, 1998), também mantém relação com outros fatores, destacadamente a taxa de troca gasosa (CASTILLA, 2005) e a evapotranspiração que promove a conversão de calor sensível em latente.

Portanto, a temperatura do ar está diretamente relacionada com a radiação solar incidente, com a taxa de troca gasosa e com a evapotranspiração, sendo estas variáveis as mais

significativas nos balanços de energia propostos por diferentes autores para estimativa da temperatura do ar interno (HELLICKSON e WALKER, 1983; ALBRIGHT, 1990).

Durante o período noturno, em ambientes sem sistema de aquecimento, normalmente a temperatura do ar atinge valores similares ou ligeiramente superiores, de 1 a 3 °C, ao do ambiente externo, uma vez que o calor sensível acumulado durante o dia é perdido para atmosfera na forma de ondas longas provenientes da reirradiação das superfícies internas. Pode ocorrer ainda, em noites de céu limpo e sem vento, inversões térmicas, ou seja, temperaturas do ar interno inferiores ao ar externo (CASTILLA, 2005).

A umidade relativa do ar apresenta-se inversamente proporcional à temperatura (COSTA et al., 2004), além de também estar relacionada à evapotranspiração e à ventilação. Durante dias típicos de céu claro, com o aumento da temperatura, a umidade relativa diminui no interior do ambiente protegido, tornando-se inferior à verificada externamente. Porém, durante a noite, a umidade relativa aumenta bastante podendo chegar a 100 % logo antes do nascer do sol, em razão da queda acentuada de temperatura verificada no período, ocorrendo a retenção de vapor d'água pela cobertura (LOPES e STRIPIARI, 1998; CASTILLA, 2005).

Devido à destacada influência na definição do microclima e sobre a fisiologia das plantas, em especial a transpiração e fotossíntese (THONGBAI et al., 2010), a ventilação natural ou forçada, é um dos fatores mais importantes a ser considerado nos projetos de ambientes protegidos para cultivo vegetal (TEITEL, et al., 2008). A ventilação natural, principal método usado na maioria dos ambientes protegidos para controle do microclima, é promovida pela troca gasosa entre o ambiente interno e a atmosfera devido à diferença de pressão causada pelo vento, pelo diferencial de temperatura ou, mais frequentemente, pela combinação de ambos (WANG et al., 1999; RICO-GARCÍA et al., 2008).

A magnitude da taxa de troca gasosa de ambientes naturalmente ventilados mantém complexa relação com diversos fatores, como o material de cobertura que restringe o processo convectivo do ar, o formato, área e disposição das aberturas de ventilação, a distância e desnível entre as aberturas de entrada e saída do ar, a velocidade, intensidade e direção do vento externo e a própria cultura (WANG et al., 1999; BAEZA et al., 2008; TEITEL, et al., 2008; FATNASSI et al., 2003; KITAYA et al., 2003). Além destes, a interposição, em determinados casos, de telas antiafídeos nas aberturas dos ambientes, também restringe as trocas gasosas devido à consequente resistência física ao deslocamento do ar, seja ele causado

pelas forças do vento ou pelas forças convectivas, nos casos de desnível entre as aberturas de entrada e saída do ar. Diversos trabalhos (DUARTE et al., 2011; BARTZANAS et al., 2002; FATNASSI et al., 2003; MAJDOUBI et al., 2009, TEITEL, 2007) comprovaram que a presença de telas antiafídeos restringem a renovação de ar com consequente redução da troca de calor sensível com o ar externo e elevação da temperatura do ar interno.

A concentração de CO₂ em ambientes protegidos também sofre alterações ao longo do dia, como decorrência do processo fotossintético das plantas, além de ser dependente de taxa de troca gasosa (SÁNCHEZ-GUERRERO et al., 2005; CASTILLA, 2005; CERMEÑO, 1994). Durante a noite a concentração é elevada e não gera preocupação. Nas primeiras horas de luz solar, normalmente são observadas as maiores concentrações do gás. No entanto, a partir do meio-dia a concentração de CO₂ pode atingir níveis mínimos podendo haver redução da síntese de material orgânico, sendo esta deficiência um fator limitante ao cultivo (CERMEÑO, 1994). THONGBAI et al. (2010) destacam que concentrações de CO₂ entre 200 e 300 ppm são comuns em ambientes naturalmente ventilados. Mesmo em ambientes protegidos com ventilação mecânica, a concentração de CO₂ pode sofrer reduções ao meio-dia de 50 a 60 ppm em relação ao ambiente externo, quando completamente vegetado com plantas adultas (SÁNCHEZ-GUERRERO et al., 2005).

Em regiões tropicais, os ambientes protegidos com PEBD podem atingir facilmente, principalmente em cultivos de verão, temperaturas acima da faixa ótima recomendada para as culturas hortícolas. Quando a ventilação natural não é capaz de reduzir a carga térmica do ambiente, outros níveis tecnológicos de controle microclimático podem ser empregados. A tecnologia imediatamente superior à ventilação natural é o sombreamento por meio de malhas, que pode ser empregado para manejar a temperatura do ar, durante as épocas quentes, por meio da redução da incidência da radiação solar no interior do ambiente (ANDRIOLO, 2002; STANGHELLINI et al., 2011). De acordo com ANDRIOLO (2002), uso de sombreamento também pode ser empregado para reduzir a demanda evaporativa do ar por meio da redução do déficit de saturação do ar.

O conhecimento das inter-relações entre as diversas variáveis citadas e o microclima deve ser usado como subsídio para o projeto e a análise da viabilidade de determinado tipo de ambiente protegido para o cultivo da espécie vegetal de interesse, num determinado lugar e época do ano.

2.3.1. Telas termorrefletoras

Em regiões quentes, o uso de telas termorrefletoras é feito com o propósito de atenuar as temperaturas extremas registradas nos dias de alta incidência de radiação solar. GUISELINI et al. (2010) definiram as telas termorrefletoras como telas metalizadas por alumínio em ambas as faces que têm por finalidade a redução da temperatura por meio da reflexão de parte da radiação solar incidente. SETHI e SHARMA (2007) destacam que o uso de telas termorrefletoras para redução da energia solar incidente é muito efetivo durante o verão.

GEOOLA et al. (2009), ao compararem o coeficiente global de transferência de calor (que considera os efeitos somados de transferência de calor por condução, convecção e radiação) do PEBD de 150 µm de espessura com o valor do mesmo material quando disposto juntamente com uma tela termorrefletora (com taxa de sombreamento de 60 %), verificaram que o uso da tela reduziu, em média, cerca de 30 % o valor do coeficiente. O resultado obtido pelos autores expressa o potencial redutor da energia sensível em ambientes protegidos com o uso de telas termorrefletoras.

Além do efeito redutor da radiação, os fios retorcidos da tela termorrefletora promovem o aumento da parcela de radiação difusa, permitindo maior penetração da radiação no dossel da cultura, com conseqüente aumento na eficiência do processo de fotossíntese (GUISELINI et al., 2010).

Apesar das vantagens do uso de telas termorrefletoras, é necessário que sua aplicação seja criteriosa. STANGHELLINI et al. (2011) destacam que o uso da tela também reduz a radiação fotossinteticamente ativa (RFA), componente da radiação global, o que pode causar a redução da fotossíntese e, conseqüentemente, limitar o desenvolvimento da cultura. ANDRIOLO (2002) também cita os possíveis efeitos negativos que o sombreamento pode promover sobre a fotossíntese e destaca que a redução da RFA pode se tornar crítica em dias nublados. Segundo GENT (2007), a tela de sombreamento, quando utilizada somente nos períodos ensolarados, é mais eficaz do que quando utilizada de forma permanente.

GARCÍA et al. (2011) afirmam que o uso de telas de sombreamento fixas possibilitam a escolha entre diferentes níveis de transmissividade, além de propiciar sombreamento homogêneo. No entanto, este sistema possui a desvantagem de ser permanente ao longo de todo o dia e não levar em consideração a RFA e a radiação do infravermelho

próximo. O uso de sombreamento fixo pode, portanto, principalmente em dias nublados, reduzir excessivamente a RFA, ficando abaixo do ponto de saturação luminosa.

GUISELINI et al. (2010), durante cultivo protegido de gérbera, avaliaram a influência da disposição de malhas termorrefletoras instaladas externa e internamente em ambientes protegidos por PEBD sobre a radiação global e as características biométricas. Os autores observaram que a maior transmitância de radiação global ocorrida no ambiente com tela disposta externamente propiciou melhor desenvolvimento das plantas e somente as plantas desse ambiente atenderam às exigências mercadológicas quanto ao número de botões florais, resultados que, segundo os autores, podem ser justificados pela maior e mais adequada disponibilização de energia ao cultivo de gérbera, o que proporcionou condições para uma maior taxa de fotossíntese bruta das plantas, resultando em uma maior taxa de fotossíntese líquida e, por conseguinte, uma melhor produtividade e qualidade. Esse resultado ilustra a importância em se fazer o uso criterioso de telas termorrefletoras, pois o efeito da redução excessiva da radiação que atinge o dossel da cultura pode, em alguns casos, se sobrepor ao efeito da redução de temperatura do ar interno.

GARCÍA et al. (2011) avaliaram os efeitos climáticos de dois sistemas de resfriamento em casas de vegetação com cobertura plástica instaladas em Almería (Espanha): i. tela termorrefletora (50 % de sombreamento) móvel instalada externamente a casa de vegetação e ii. tela fixa. Os autores concluíram que o sistema de tela móvel foi mais efetivo na redução do déficit de pressão de vapor d'água (DPV) do ar, que atinge valores elevados em climas secos e quentes. A média dos valores máximos do DPV foi de 2,1 kPa para o sistema com tela móvel, enquanto a média do sistema de tela fixa foi de 2,8 kPa. O menor valor do DPV no ambiente com sistema móvel foi acompanhado pelo valor médio das temperaturas máximas diárias, que também foi menor neste ambiente.

Portanto, o uso e manejo de telas de sombreamento devem ser planejados em função das exigências climáticas da cultura, do clima e topografia do local e das características construtivas do ambiente protegido propriamente dito.

2.4. Efeito das variáveis microclimáticas sobre o tomateiro

Os fatores climáticos têm grande importância sobre o funcionamento ótimo dos fenômenos fisiológicos dos vegetais. O desenvolvimento fisiológico ótimo e equilibrado dos

vegetais depende que tais fatores sejam favoráveis. Conseqüentemente, o desempenho econômico da atividade agrícola está fortemente atrelado às condições climáticas.

Alguns dos fatores que interferem no desenvolvimento ótimo são: luminosidade, temperatura, umidade, concentração de CO₂ e oxigênio. Esses fatores estão intimamente relacionados entre si (CERMEÑO, 1994). ANDRIOLO (2000) salienta que as condições climáticas atuam sobre diversos processos, como o acúmulo de matéria seca dos frutos, velocidade de floração da cultura, aborto de frutos e velocidade de crescimento dos frutos.

2.4.1. Radiação

A radiação disponível para o crescimento das culturas é essencialmente solar (ANDRIOLO, 2002), a qual exerce importante influência sobre diversos processos fisiológicos da planta e, conseqüentemente, sobre o desenvolvimento vegetativo e sobre a produção da cultura, como por exemplo, produtividade, tamanho e teor de sólidos solúveis dos frutos (YINLI et al. 2011; MORETTI et al., 2000).

A quantidade de fotossíntese realizada por uma planta é dependente de três propriedades da luz: a qualidade, relacionada aos comprimentos de onda, sua intensidade e sua duração (CASTILLA, 2005). LOPES e STRIPIARI (1998) também destacam a importância da intensidade e duração luminosa sobre o desenvolvimento do tomateiro. Segundo os autores, a duração maior da luminosidade aumenta a taxa de produção de folhas e, de maneira geral, diminui o número de flores, porém, o aumento da intensidade diminui o número de folhas e aumenta o número de flores.

No caso de hortaliças de verão como o tomateiro, considera-se o nível de radiação global igual a aproximadamente 8,4 MJ m⁻² dia⁻¹, como sendo o limite trófico da cultura (FAO, 1990). O limite trófico significa a produção mínima de assimilados necessária para a manutenção da cultura. Abaixo deste limite, a planta não sobrevive e, acima, torna-se possível o acúmulo de matéria seca (ANDRIOLO, 1999).

Somente uma fração da radiação global é utilizada na fotossíntese, conhecida como RFA, compreendida na faixa do espectro eletromagnético de 400 a 700 nm (CASTILLA, 2005), e normalmente representada em termos de fluxo de fótons fotossintéticos. O correto controle da RFA pode otimizar a produção da cultura, pois a RFA está associada diretamente com a taxa fotossintética e produção de fotoassimilados. No entanto, é fundamental observar o

ponto de saturação luminosa, que representa o limite até o qual o aumento da RFA é acompanhado pelo aumento da assimilação de CO₂ através da fotossíntese. No caso do tomateiro, os valores de saturação luminosa variam entre 700 e 1.500 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$, de acordo com os resultados obtidos por ROCHA (2007) que encontraram valores em torno de 700 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ e PAPADOPOULOS & HAO (1997) que citaram valores abaixo de 1.500 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$, em função dos diferentes genótipos e condições climáticas avaliadas pelos autores. Portanto, o aumento da irradiância pode elevar a produção de fotoassimilados e sua disponibilidade para o crescimento da planta e produção de frutos, no entanto, quando a radiação solar é excessivamente elevada, pode haver aumento na taxa transpiratória da planta resultando em fechamento estomático e diminuição da fotossíntese (ANDRIOLO, 2000).

MORETTI et al. (2000) observam que frutos expostos à excessiva radiação solar podem atingir facilmente temperaturas acima de 30 °C, condição que, se estendida por longos períodos de tempo, promove a escaldadura do fruto, caracterizada por regiões de coloração amarela nos frutos, mesmo após o amadurecimento.

A radiação solar também afeta outras variáveis climáticas, destacadamente a temperatura e umidade relativa do ar, que atuam sobre diversos processos fisiológicos da planta. Portanto, o controle da incidência da radiação solar deve ser considerado prioritário no manejo do microclima de ambientes protegidos.

2.4.2. Temperatura

A temperatura do ar desempenha importante papel sobre o desenvolvimento e produção das culturas, pois todos os processos bioquímicos que se desenrolam no interior de um vegetal precisam de temperaturas adequadas para poder realizar-se corretamente (ANDRIOLO, 2000).

Cada função vital do vegetal possui temperaturas críticas, acima ou abaixo das quais tem seu desempenho comprometido. A temperatura influencia em diversas funções vitais dos vegetais como: transpiração, respiração, fotossíntese, germinação, crescimento, floração e frutificação (CERMEÑO, 1994).

Para o tomateiro bem como para outras plantas, as temperaturas extremas são prejudiciais, e a duração destas compromete até mesmo a sobrevivência das plantas. Interferem na atuação dos hormônios da planta e, conseqüentemente, na formação da flor e do

pólen, germinação do pólen, crescimento do tubo polínico, fixação do fruto, coloração dos frutos, amadurecimento dos frutos, pois, para cada uma dessas fases, existem temperaturas ótimas que fazem com que os hormônios tenham atuação adequada (LOPES e STRIPIARI, 1998).

Segundo GIORDANO e SILVA (2000), a temperatura média no período de cultivo deve ser de 21 °C, mas a planta pode tolerar uma amplitude de 10 a 34 °C. CERMEÑO (1994) cita a faixa de 20 a 24 °C como sendo ótima para o desenvolvimento vegetativo do tomateiro.

Quando submetida a temperaturas inferiores a 12 °C, o tomateiro tem seu crescimento reduzido, sendo sensível a geadas. A antese da primeira flor do primeiro cacho de plantas submetidas a uma temperatura média do ar de 20 °C ocorre, normalmente, doze dias antes do que a de plantas que se desenvolvem com temperatura média de 16 °C. Em temperaturas médias superiores a 28 °C, formam-se frutos com coloração amarelada em razão da redução da síntese de licopeno e aumento da concentração de caroteno. Temperaturas noturnas próximas a 32 °C causam abortamento de flores, mau desenvolvimento dos frutos e formação de frutos ocos. A produção de pólen é afetada tanto por altas temperaturas (acima de 40 °C) quanto por temperaturas baixas (abaixo de 10 °C). Temperaturas superiores a 26 °C causam redução no ciclo da cultura (GIORDANO e SILVA, 2000).

Altas temperaturas do ar (35 °C de dia e 25 °C à noite) ocasionam aceleração do crescimento da planta, assim como do florescimento e amadurecimento do fruto, favorecendo a precocidade, no entanto, nessas temperaturas, ocorre maior queda de flores e menor formação de frutos por racemo, comparadas às temperaturas normais (22 °C de dia e 18 °C à noite). O pegamento de frutos depende principalmente da temperatura noturna, cuja faixa ótima está entre 15 e 20 °C. Temperaturas noturnas abaixo de 8 °C e diurnas abaixo de 20 °C, associadas a outros fatores como umidade elevada e irrigação deficiente, podem promover a produção de frutos defeituosos (LOPES e STRIPIARI, 1998; MORETTI et al., 2000).

A temperatura do ar, associada a outros fatores como fertirrigação e umidade, também se relaciona com distúrbios fisiológicos, como morte do meristema apical, podridão apical, frutos com maturação irregular e lóculo aberto (LOPES e STRIPIARI, 1998).

De acordo com ANDRIOLO (2000), a respiração da planta é influenciada pela temperatura do ar e pelo teor de glicídios. O autor cita que uma das formas de reduzir a respiração de uma cultura consiste em reduzir a amplitude térmica do ar entre o dia e a noite.

Durante a fase clara do dia, as temperaturas do ar não deveriam ultrapassar 25 °C. Esse limite representa o melhor balanço entre fotossíntese e respiração. Durante a noite, essas mesmas temperaturas não deveriam atingir valores inferiores a 15 °C.

2.4.3. Umidade relativa

A umidade relativa do ar influencia a demanda evaporativa da atmosfera e, por consequência, a transpiração e o consumo de água das culturas. Outros processos metabólicos também são influenciados pela umidade relativa, como o crescimento dos tecidos, a fecundação das flores, a incidência de enfermidades, a repartição da massa seca entre as partes vegetativas e os frutos e a absorção de alguns nutrientes (CERMEÑO, 1994; ANDRIOLO, 2002). LOPES e STRIPIARI (1998) e MAKISHIMA e CARRIJO (1998) consideram a faixa de 50 a 70 % de umidade relativa ideal para o desenvolvimento do tomateiro em ambiente protegido. CERMEÑO (1994) recomenda uma faixa mais estreita, de 50 a 60 %, enquanto que ANDRIOLO (2002) cita valores entre 40 e 80% como os mais favoráveis ao crescimento e produtividade de hortaliças em geral.

A nutrição mineral, principalmente o cálcio, é afetada por valores de umidade relativa do ar excessivamente baixos ou elevados. Essa influência ocorre de forma mais intensa nos tecidos jovens, localizados nos ápices de crescimento, e nos frutos. Quando a umidade relativa é baixa, a demanda evaporativa do ar é elevada e o fluxo de água na planta se dirige para as folhas, em resposta à transpiração da cultura. Nessa situação, o fluxo de água para os frutos é menos intenso e, conseqüentemente, as quantidades de cálcio que chegam até eles podem ser insuficientes para seu crescimento (ANDRIOLO, 2002). CERMEÑO (1994) também destaca que sob condições de baixa umidade relativa, a transpiração é intensa e pode haver maior concentração de sais nas partes onde se realiza a fotossíntese, diminuindo, conseqüentemente, esta função.

Segundo ALVARENGA (2004), em ambientes protegidos, a baixa umidade relativa do ar e a ocorrência de altas temperaturas provocam aumento da taxa de transpiração, fechamento de estômatos, redução da taxa de polinização, abortamento de flores e, conseqüentemente, menor produção.

Por outro lado, umidade relativa elevada, condição frequentemente observada durante a noite em ambiente protegidos, propicia a formação de orvalho nas folhas que se mantêm

úmidas por longo período do dia, especialmente aquelas localizadas na parte inferior das plantas. Isso favorece o desenvolvimento de doenças, principalmente as causadas por fungos e bactérias (GIORDANO e SILVA, 2000). Altos valores de umidade relativa também atuam sobre o fluxo de transpiração, tornando-o reduzido. Nesse caso, assim como nas situações de baixa umidade, as quantidades de cálcio transportadas até os ápices em crescimento e frutos podem ser insuficientes para atender à demanda desse elemento. Como resultado, distúrbios fisiológicos podem ocorrer, sendo a podridão apical dos frutos o principal deles (ANDRIOLO, 2002).

Valores de umidade relativa próximos da saturação prejudicam a polinização devido às dificuldades na abertura das anteras e na deiscência do pólen, além de ocasionarem a formação de orvalho, favorecendo a multiplicação de fungos e bactérias com conseqüente disseminação de doenças (ANDRIOLO, 2002; MAKISHIMA e CARRIJO, 1998; ALVARENGA, 2004).

2.4.4. Renovação do ar e concentração de CO₂

A taxa de troca gasosa e a concentração de CO₂ em ambientes protegidos estão intimamente relacionadas e têm destacada importância sobre os processos fisiológicos das plantas, como a fotossíntese e a transpiração. Segundo CASTILLA (2005), em ambientes protegidos grandes, recomenda-se que a taxa de renovação horária, no verão, seja de 30 a 60, a fim de evitar o aquecimento excessivo, manter níveis mínimos de CO₂ e controlar a higrometria do ar. O CO₂ é imprescindível para a vida dos vegetais e a redução de sua concentração, principalmente a partir do meio-dia, pode resultar em redução da síntese de material orgânico, sendo este um fator limitante ao cultivo (CERMEÑO, 1994).

Diversos trabalhos têm mostrado a importância da taxa de troca gasosa e da concentração de CO₂ sobre a taxa fotossintética e transpiração. De acordo com ZISKA et al. (1991), plantas com metabolismo C3 apresentam significativo aumento na taxa fotossintética como resposta a maiores concentrações de CO₂ em relação a concentração atmosférica, constatação coerente aos resultados obtidos por KITAYA et al. (2004) que observaram aumento de 20 % na taxa fotossintética líquida com o aumento na concentração de CO₂ de 400 para 800 ppm.

THONGBAI et al. (2010) constataram aumento médio de 76 % na taxa fotossintética líquida de mudas de tomateiro com o incremento da concentração de CO₂ de 243 ppm para 545 ppm, mantendo-se a velocidade de deslocamento do ar constante e igual a 0,3 m s⁻¹. Os autores também observaram efeito significativo da velocidade de deslocamento do ar, com incremento de 62 % na taxa fotossintética líquida entre as velocidades de 0,3 e 1,0 m s⁻¹ ao manterem a concentração de CO₂ entre 243 e 273 ppm. Já o efeito combinado dos dois fatores ocasionou incremento de 111 % na taxa fotossintética líquida. SHIBUYA e KOZAI (1998) observaram aumento de 40 % na taxa fotossintética líquida de mudas de tomateiro expostas a velocidade do ar de 0,6 m s⁻¹ em relação a plantas sob velocidade de 0,1 m s⁻¹, ao passo que KITAYA et al. (2003) registraram aumento de 98 % na taxa fotossintética líquida como resposta ao aumento da velocidade do ar de 0,1 para 1,0 m s⁻¹.

A taxa transpiratória também sofre aumento como resposta ao incremento na circulação do ar. KITAYA et al. (2003) relataram aumento significativo da taxa transpiratória de folhas de batata doce para as velocidade de deslocamento do ar entre 0,01 e 1,0 m s⁻¹. Segundo THONGBAI et al. (2010), quando a concentração de CO₂ é mantida em torno de 250 ppm, condição comum em ambientes protegidos naturalmente ventilados, o aumento da circulação do ar de 0,3 para 1,0 m s⁻¹ promove aumento significativo na taxa transpiratória de mudas de tomateiro. No entanto, os autores destacam que a taxa transpiratória sofreu redução quando as plantas foram expostas a atmosfera com maior concentração de CO₂.

A elevação da concentração de CO₂ no ar atmosférico promove como consequência o aumento da concentração intercelular de CO₂ das plantas (THONGBAI et al., 2010; DRAKE et al., 1997), o que aumenta a taxa fotossintética líquida, apesar do fato da resistência estomática se elevar como consequência da redução da abertura dos estômatos (THONGBAI et al., 2010; FIELD et al., 2005), que por sua vez reduz a taxa transpiratória (JARVIS et al., 1999; LAKSO et al., 1984; THONGBAI et al., 2010) elevando a eficiência do uso de água (DRAKE et al., 1997; LAKSO et al., 1984; THONGBAI et al., 2010).

O aumento da circulação do ar promove aumento na taxa fotossintética líquida e na taxa transpiratória (SHIBUYA e KOZAI, 1998; THONGBAI et al., 2010; KITAYA et al., 2003), devido à redução da resistência da camada limítrofe que circunda as folhas (THONGBAI et al., 2010; KITAYA et al., 2003) que, por vez, possibilita o aumento das trocas gasosas entre a planta e o ar (THONGBAI et al., 2010).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área experimental

A experimentação foi conduzida em uma área cedida pela Escola Técnica Agrícola (ETE – Escola Técnica Estadual), localizada no município de Rio das Pedras/SP, cujas coordenadas geográficas são aproximadamente: latitude Sul 22°51'40", longitude Oeste 47°37'22" e altitude de 674 m. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima do município é Cwa, caracterizado pelo clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno, com a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (CEPAGRI, 2012).

3.2. Ambientes protegidos

O experimento foi instalado em dois ambientes protegidos do tipo capela, ambos com dimensões de 32,0 m de largura (frontal), 36,0 m de comprimento, 4,0 m de pé-direito e altura das cumeeiras de 5,5 m. As faces laterais das estruturas estavam orientadas com azimute de 15° a partir do Norte verdadeiro. A experimentação foi realizada no período de 01/08/2011 a 21/01/2012.

Os ambientes foram dispostos lateralmente com espaçamento de 4,0 m e o terreno possuía inclinação de aproximadamente 7% ao longo do sentido longitudinal (comprimento). As estruturas empregadas, denominadas pelos idealizadores (empresa SOL Pack) de tenso-estruturas, diferem dos modelos convencionais por não empregarem arcos ou treliças, sendo sua cobertura sustentada e travada com uso de arames e cabos de aço (Figura 1), que resulta em menor nível de sombreamento devido a elementos estruturais.

Ambas as estruturas foram cobertas com filme de PEDB reforçado (comercialmente denominado de malha Crystal Laminada), cujo reforço deve-se à malha interna de polietileno de alta densidade (PEAD) (Figura 2). O processo de fabricação do filme empregado consiste em recobrir com filme de PEBD de 150 µm, através de processo de laminação, uma tela convencional trançada de fios transparentes de PEAD com nível nominal de sombreamento igual a 16 %. O uso do filme reforçado se deveu à característica de travamento das estruturas, susceptíveis a maiores deslocamentos relativos entre seus elementos (como pilares) em situações de ventos, o que causa maiores esforços mecânicos de tração sobre o filme de cobertura. As laterais foram fechadas por duas telas antiafídeos (6 fios por centímetro), a

primeira instalada na posição vertical e a segunda com inclinação de aproximadamente 60° em relação ao terreno (Figura 3). O solo no interior das estruturas foi completamente coberto com tela plástica (ráfia) de cor branca.



Figura 1: Vista interna da estrutura denominada tenso-estrutura.



Figura 2: Filme plástico de PEBD reforçado (Foto: SOL PACK, 2013).

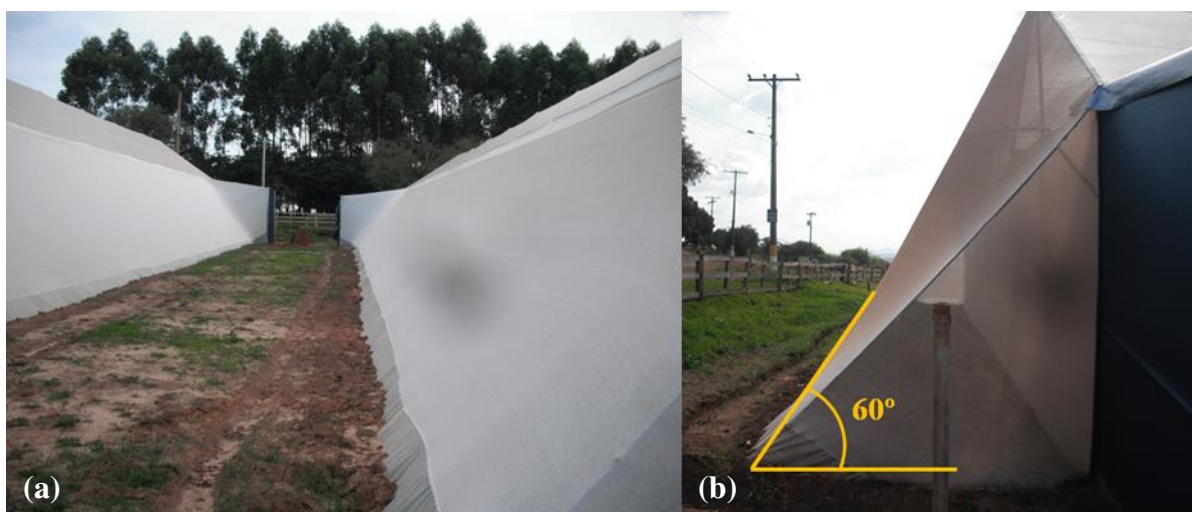


Figura 3: Vista lateral das estruturas com telas antiafídeos (a) e detalhe do ângulo formado entre a tela antiafídeo e o terreno (b).

A única diferença entre os ambientes foi a presença de uma tela termorrefletora, com nível nominal de sombreamento igual a 50% de acordo com dados do fabricante (SOL PACK, 2013), instalada na altura do pé-direito de uma das estruturas. Juntamente à tela foi instalado um sistema retrátil (Figura 4) para manejo manual de abertura/fechamento da tela. Dessa forma, foram definidos dois ambientes protegidos: i. Ambiente 1 (PEBD e tela termorrefletora) e ii. Ambiente 2 (PEBD).



Figura 4: Detalhes da manivela (a) e barras de sustentação (b) do sistema retrátil de abertura/fechamento da tela termorrefletora.

3.2.1. Caracterização física dos materiais de cobertura

O filme de PEBD e a tela termorrefletora foram caracterizados quanto aos seus valores de transmitância, refletância e absorbância. Foram empregadas 3 amostras novas (sem uso) e outras 3 usadas, retiradas no fim do experimento, com o objetivo de avaliar a variação das propriedades físicas devido à degradação e ao acúmulo de poeira. A tela rãfia nova foi caracterizada quanto à sua refletância, também a partir de 3 amostras.

As caracterizações foram realizadas no Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas aplicadas à Agricultura (CEPAGRI), localizado em Campinas/SP. Utilizou-se o equipamento espectrorradiômetro (Licor, modelo LI-1800) integrado à esfera (Licor, modelo LI-1800-12) (Figura 5), para medições entre os comprimentos de onda de 400 nm e 1.100 nm, com uma resolução espectral de 2 nm e uma precisão de 0,01 nm. Esse equipamento é do tipo óptico-eletrônico, utilizado para medir as propriedades da amostra (refletância e transmitância) em um espectro conhecido, em faixas estreitas e sequenciais. A absorbância foi obtida indiretamente a partir da refletância e transmitância.

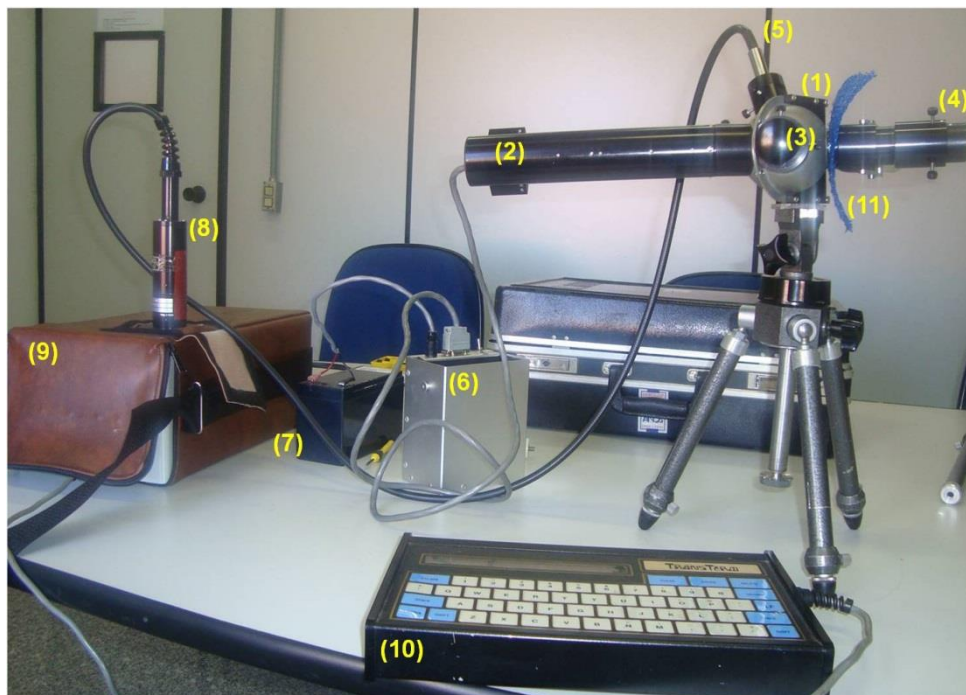


Figura 5: Espectrorradiômetro composto por: (1) esfera integradora (Licor, modelo 1800-12), com interior branco, (2) fonte de luz com lâmpada halógena, (3) placa de referência com Sulfato de Bário, (4) cápsula negra, representando corpo negro, (5) saída de luz, com cabo em fibra óptica, (6) fonte de energia (marca Licor, modelo LI 1800-12B), (7) bateria de 12 V, para alimentar a fonte de energia, (8) sonda de fibra óptica (marca Licor, modelo 1800-10), (9) espectrorradiômetro (marca Licor, modelo 1800), (10) terminal de dados (marca Computerwise, modelo Transterm 6), (11) amostra de tela (Foto: ZORZETO, T.Q.)

3.3. Delineamento experimental, instalação e condução da cultura

Na Tabela 1 verifica-se a descrição das cultivares estudadas, de acordo com a classificação proposta pelo Programa Brasileiro para Modernização da Agricultura (CEAGESP, 2003). Foram avaliadas 6 cultivares (Figura 6), sendo 2 pertencentes ao grupo minitomate, 2 do grupo italiano e 2 do grupo caqui. Com exceção da cultivar TSV 796, de crescimento semi-indeterminado, todas as cultivares são de crescimento indeterminado.

Tabela 1: Descrição das cultivares estudadas no experimento.

Genótipo	Empresa	Grupo	Coloração	Durabilidade
TSV 796	Tecnoseed	Minitomate ⁽¹⁾	Amarelo/laranja	Normal
TSV 787	Tecnoseed	Minitomate	Verde ⁽²⁾	Normal
Pizzadoro	Nunhens	Italiano	Vermelho	Normal
TSV 780	Tecnoseed	Italiano	Vermelho	Normal
Inox	Tecnoseed	Caqui	Vermelho	Longa vida
Alambra	Clause	Caqui	Vermelho	Longa vida

(1) classificação proposta por ALVARENGA (2013) que engloba cultivares cereja, uva, entre outras.

(2) coloração verde não consta em CEAGESP (2003).



Figura 6: Cultivares TSV 796 (a), TSV 787 (b), Pizzadoro (c), TSV 780 (d), Inox (e) e Alambra F1 (f).

Em cada ambiente protegido foram instaladas 39 linhas de plantio ao longo do sentido longitudinal (comprimento), com vão livre entre linhas de 1,0 m. As linhas de cultivo foram separadas no sentido transversal dos ambientes protegidos pelo corredor central de 3,0 m de largura. A Figura 7 ilustra a distribuição das plantas nas linhas de cultivo.

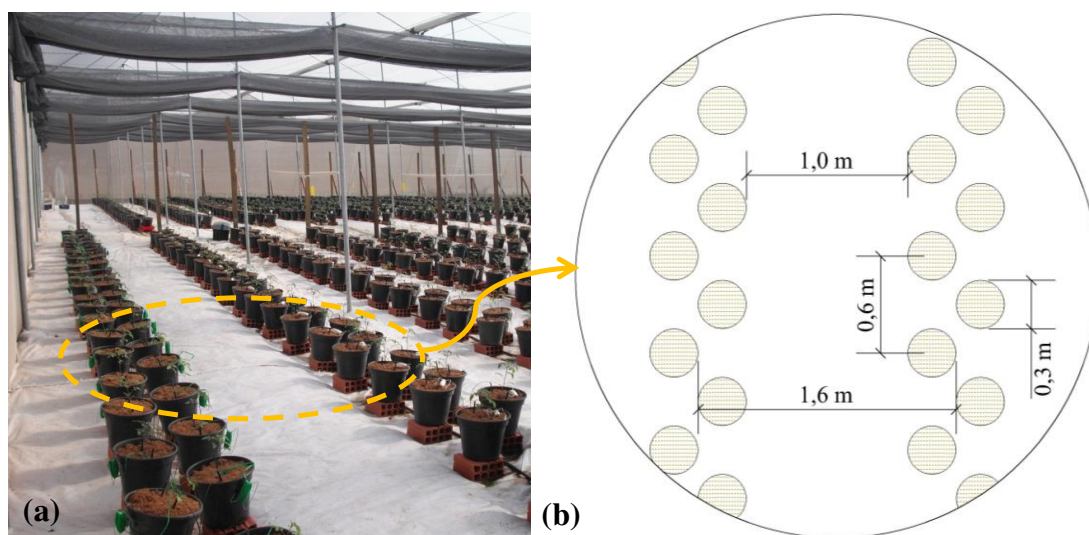


Figura 7: Vista geral das linhas de cultivo (a) e esquema ilustrativo do posicionamento dos vasos (b).

A casualização das plantas foi feita com base no delineamento inteiramente casualizado (DIC), considerado em cada um dos ambientes separadamente. A análise estatística se baseou na análise conjunta dos ambientes (grupo de experimentos), conforme detalhado no tópico 3.8.2. As áreas expostas a níveis diferenciados de sombreamento, localizadas próximas às laterais, frontais e corredor central das estruturas, foram consideradas como região de bordadura (Figura 8).

As cultivares avaliadas foram aleatorizadas nas linhas de cultivo posicionadas dentro da área útil de cada ambiente, sendo que cada cultivar foi plantada em 4 linhas. As linhas de cultivo possuíam 15 plantas dentro da área útil e foram divididas em 3 unidades experimentais compostas por 5 plantas cada (Figura 8). Portanto, cada cultivar foi conduzida em 4 linhas com 3 unidades experimentais cada, totalizando 12 repetições por cultivar em cada ambiente. Destaca-se, portanto, que das 39 linhas de cultivo de cada ambiente, apenas 24 foram empregadas na análise estatística. Nas demais linhas de cultivo foram conduzidas outras cultivares que não foram avaliadas neste experimento.

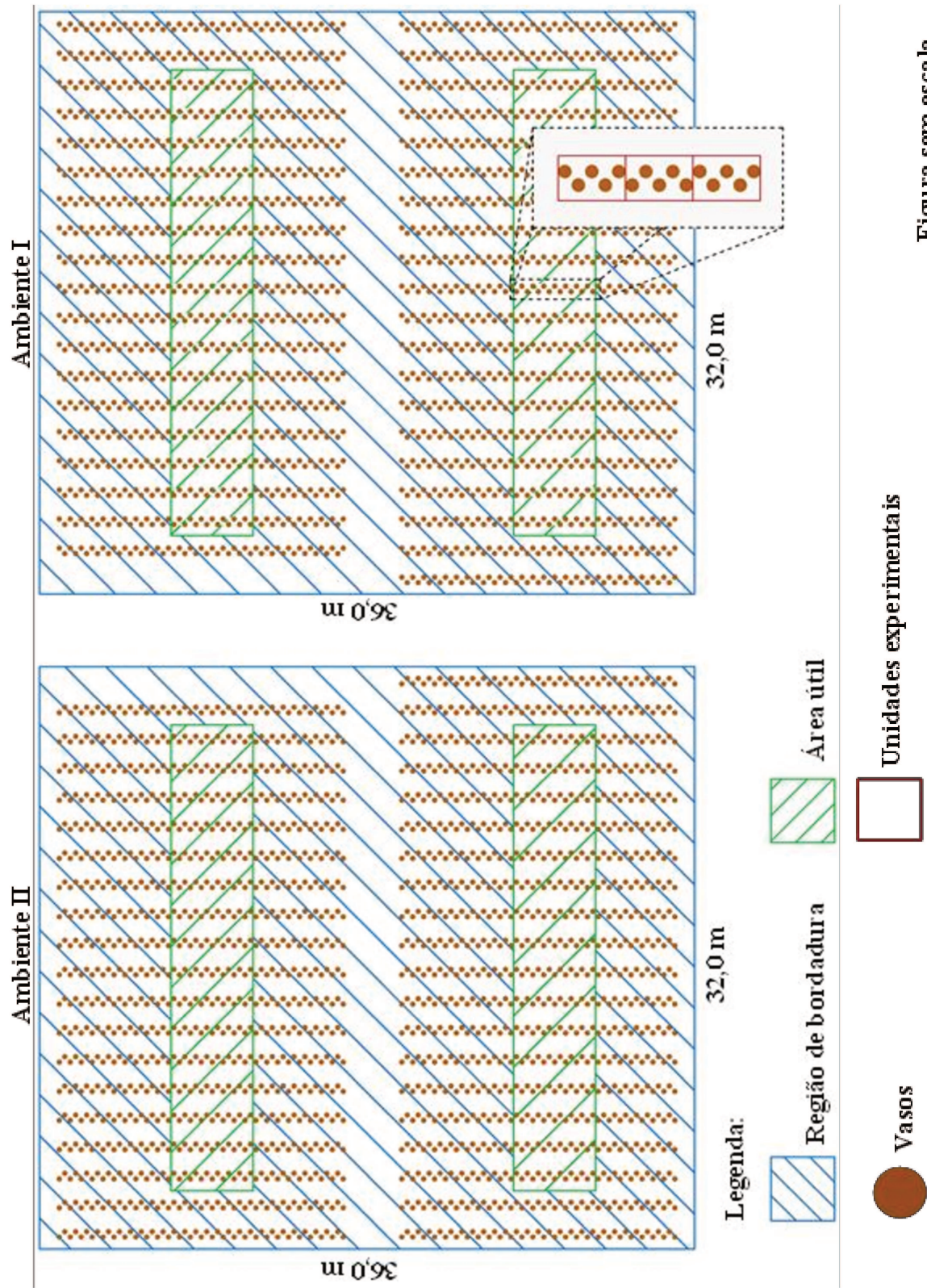


Figura 8: Croqui da área experimental.

As mudas, adquiridas com 5 folhas definitivas, foram transplantadas no dia 01/08/2011. O plantio foi feito em substrato de fibra de coco de textura intermediária (Amafibra Fibras e Substratos Agrícolas da Amazônia), e cada vaso recebeu dois microtubos de fertirrigação a fim de evitar a morte de plantas em casos de problema com um deles. Foram utilizados vasos com volume de 8 L, de acordo com recomendação de MAKISHIMA e CARRIJO (1998), e diâmetro da borda superior de 30 cm. Todas as cultivares foram conduzidas com 2 hastes, com exceção da cultivar TSV796, que foi conduzida com 4 hastes.

O tutoramento das plantas foi feito com fitilhos sustentados por arames tracionados e sustentados por mourões de madeira nas extremidades das linhas e varas de bambu na região central. Os arames foram posicionados 2,0 m acima da borda superior dos vasos.

A fim de garantir crescimento vigoroso e produção de frutos maiores, realizou-se o procedimento de desbrota regularmente. Conforme os racemos foram colhidas, as folhas localizadas abaixo foram removidas (procedimento de desfolha). Durante a fase de florescimento, as plantas foram vibradas diariamente, por volta das 10h, a partir da agitação manual dos arames de condução.

O controle de pragas foi feito com uso de agrotóxicos específicos conforme necessidade com base no monitoramento através de armadilhas adesivas coloridas (azul e amarela) espalhadas em vários pontos dentro dos ambientes e na região formada entre as duas telas antiafídeos. O controle de doenças também foi realizado com agrotóxicos com aplicação condicionada ao surgimento dos primeiros sintomas nas plantas.

3.4. Sistema e manejo de fertirrigação

O sistema de fertirrigação (Figura 9) foi composto por sistema de controle e automação, caixa d'água de 20.000 L, filtros de disco, motobomba com potência de 1 cv, 2 bombas injetoras para sucção e mistura das soluções nutritivas, válvulas solenoides e microtubos de gotejamento.



Figura 9: Elementos constituintes do sistema de fertirrigação: sistema de controle e automação (a); bomba hidráulica e bombas injetoras (b); válvula solenoide (c) e microtubos de gotejamento (d).

As formulações de fertirrigação empregadas estão descritas nas Tabelas 2 e 3. Os valores representam as concentrações das soluções diluídas após a injeção e mistura das soluções concentradas na água de fertirrigação. No primeiro mês de cultivo foi utilizada a formulação detalhada na Tabela 2. Após o primeiro mês de cultivo, ainda durante a fase vegetativa, a fertirrigação foi ajustada e a nova formulação (Tabela 3) seguiu até o fim do ciclo da cultura. As especificações detalhadas fornecidas pelos fabricantes dos fertilizantes empregados estão descritas na Tabela 4.

Tabela 2: Formulação da fertirrigação adotada no primeiro mês de cultivo.

Fertilizantes⁽¹⁾	Dosagem (mL 1000 L⁻¹ de água)
Nitamin (Koch Agronomic Services)	390
Reforce (Agrichem)	140
Agri K (Agrichem)	170
Cal Super (Agrichem)	85
Mag Flo (Agrichem)	30
Supa Trace (Agrichem)	30
Supa Sílica (Agrichem)	20
Booster (Agrichem)	20

(1) nomes comerciais dos fertilizantes e respectivos fabricantes entre parênteses.

Tabela 3: Formulação da fertirrigação utilizada após o primeiro mês de cultivo.

Fertilizantes⁽¹⁾	Dosagem (kg 1000 L⁻¹ de água)
Fosfato monopotássico (Hortipray/Prayon)	0,450
Sulfato de Magnésio (Indústria Química Porangaba Ltda)	0,500
Sulfato de Potássio (Hoyall/Nitrobrás)	0,500
Nitrato de cálcio (Abocol)	1,000
Ferro (Apex Ferro/Apex Agro)	0,030
Micronutrientes (Apex Mix/Apex Agro)	0,015

(1) nomes comerciais/fabricantes dos fertilizantes entre parênteses.

Tabela 4: Especificações dos fertilizantes empregados na fertirrigação.

Nome comercial	Garantias mínimas (%)	
Hortipray (Prayon) ⁽¹⁾	P ₂ O ₅	51,5
	K ₂ O	34,0
Sulfato de Magnésio (Indústria Química Porangaba Ltda) ⁽¹⁾	Mg	9,0
	S	11,0
Hoyall (Nitrobrás) ⁽¹⁾	K ₂ O	50,0
	S	17,0
Nitrato de cálcio (Abocol) ⁽¹⁾	N	15,0
	Ca	18,0
ApexFerro (Apex Agro) ⁽¹⁾	Fe	9,0
	S	5,0
ApexMix (Apex Agro) ⁽¹⁾	S	6,5
	Boro	0,5
	Cobre	0,25
	Ferro	4,5
	Magnésio	0,5
	Manganês	3,1
	Molibdênio	0,25
Nitamin (Koch Agronomic Services, LLC) ⁽¹⁾	Zinco	3,1
	N	30,0
Reforce (Agrichem) ⁽²⁾	K ₂ O	25,0
	P ₂ O ₅	35,0
Agri K (Agrichem) ⁽²⁾	K ₂ O	48,0
Cal Super (Agrichem) ⁽²⁾	Ca	43,5
Mag Flo (Agrichem) ⁽²⁾	Mg	30,0
	N	3,2
	S	4,6
	B	0,8
	Cu	1,0
	Fe	3,2
	Mn	2,4
Supa Trace (Agrichem) ⁽²⁾	Mo	0,04
	Zn	3,0
	K ₂ O	23,7
	Si	10,0
	Mo	2,3
Booster (Agrichem) ⁽²⁾	Zn	3,5

(1) percentuais de garantias mínimas expressos em base peso (% p/p).

(2) percentuais de garantias mínimas expressos em base volume (% p/v).

O número e o tempo dos pulsos de fertirrigação aplicados ao longo do cultivo estão descritos na Tabela 5. Cada microtubo de gotejamento tinha a vazão média de 1,5 L hora⁻¹;

dado que os vasos continham 2 microtubos cada, a vazão total para cada vaso era de 3,0 L hora⁻¹. A partir do 31º dia após o transplântio (31 DAT), a aplicação da fertirrigação foi feita em função da condição atmosférica. Os tempos dos pulsos foram definidos de forma que o substrato atingisse sua capacidade de campo, ou seja, o tempo necessário até que a solução nutritiva começasse a ser drenada na parte inferior dos vasos.

Tabela 5: Número e tempo dos pulsos de fertirrigação.

Condição atmosférica	Ambiente	Dias após transplântio (DAT)	Pulsos dia⁻¹	Tempo (min pulso⁻¹)
Ensolarado (céu claro)	Sem tela	0 - 30	8	7
	termorrefletora	após 30	8	8
	Com tela	0 - 30	8	5
	termorrefletora	após 30	8	8
Nublado ou chuvoso	Sem tela	0 - 30	8	7
	termorrefletora	após 30	4	6
	Com tela	0 - 30	8	5
	termorrefletora	após 30	4	6

3.5. Manejo do microclima das estruturas

A tela termorrefletora do Ambiente 1 foi empregada e manejada com a finalidade de reduzir a incidência de radiação solar no interior do ambiente nos horários mais quentes do dia, de forma a restringir o acúmulo de calor sensível e consequente aumento da temperatura do ar. Por outro lado, buscou-se não limitar de forma desnecessária a RFA que atinge o dossel da cultura, fazendo uso da tela somente nos horários de alta incidência de radiação solar externa. Portanto, a tela foi estendida a partir das 11h e recolhida às 16h nos dias de céu claro. Nos dias de céu nublado e/ou chuvoso a tela não foi utilizada e ficou recolhida durante o dia todo. O Ambiente 2 não continha nenhum sistema de controle microclimático passível de manejo.

3.6. Coleta de dados climáticos

Foram coletados dados de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa (%) do ar, radiação solar global (W m^{-2}) e RFA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) no interior de ambos os ambientes protegidos. No ambiente externo foram coletados apenas dados de temperatura e umidade relativa.

Os sensores de temperatura e umidade relativa foram posicionados em um ponto dentro de cada ambiente protegido e em um ponto externo. Nos Ambientes 1 e 2, foram instalados no centro geométrico entre duas linhas de cultivo a 1,3 m do piso. No ambiente externo, o sensor foi posicionado no corredor entre as estruturas a 1,5 m do solo. Foram empregados os sensores/registradores eletrônicos portáteis da marca Novus, modelo LogBox-RHT-LCD (Figura 10a). Com o objetivo de minimizar a influência da radiação incidente sobre os valores coletados, os sensores dos ambientes protegidos foram acondicionados em abrigos de madeira com persianas e revestidos externamente com material aluminizado e internamente com placas de poliestireno expandido (Figura 10b). O sensor do ambiente externo foi protegido por um abrigo de madeira pintado de cor branca (Figura 10c). A frequência de coleta de todos os sensores, tanto para temperatura como para umidade relativa, foi de 80 pontos por hora.

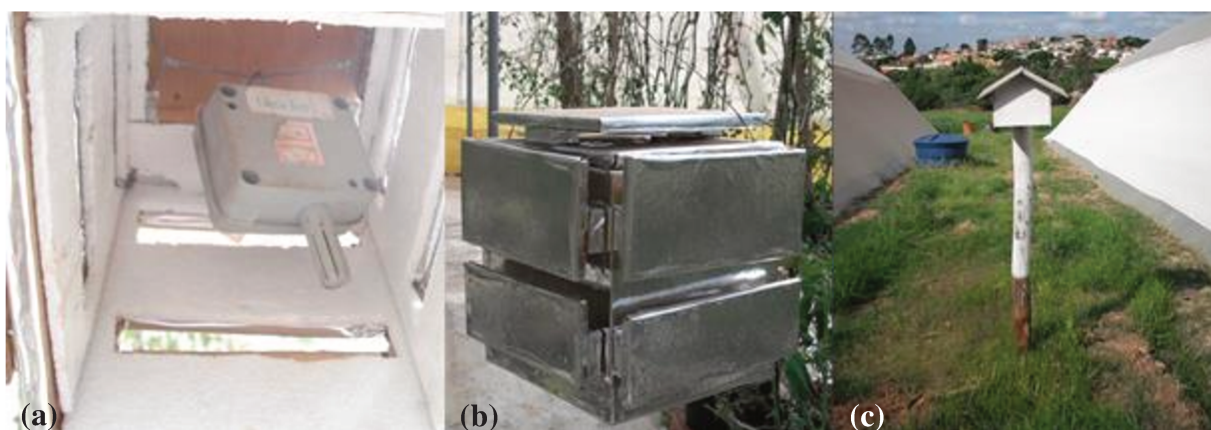


Figura 10: Sensor/registrador Novus LogBox-RHT-LCD (a), abrigo utilizado para os sensores internos (b) e abrigo do sensor externo (c).

A radiação solar global incidente no interior dos ambientes protegidos foi registrada através de sensores Piranômetro LI-200 (Licor) instalados na altura do dossel da cultura. Para a coleta da RFA foram empregados 2 sensores Quantum LI-190 (Licor) por ambiente, sendo um posicionado na altura do dossel da cultura e outro a 1,0 m do piso. Os sensores de radiação

foram conectados a registradores de dados do modelo LI-1400 (Licor), programados para registrar 2 pontos por hora, durante o período das 6h às 19h.

Os dados de RFA foram adquiridos em unidade de fótons fotossinteticamente ativos ($\mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$). Para convertê-los em unidade de energia (W m^{-2}), utilizou-se o fator de conversão proposto por THIMIYAN e HEINS (1983) e CASTILLA (2005) para a luz solar na região da RFA (400 a 700 nm), cuja relação é $4,57 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ por 1 W m^{-2} .

3.7. Características de cultivo avaliadas

3.7.1. Altura média das plantas (cm)

As alturas das plantas foram determinadas com auxílio de uma régua metálica, medindo-se do colo da planta até as folhas mais altas. As plantas das cultivares do grupo minitomate foram medidas aos 21, 37, 48, 72 e 83 DAT, enquanto que as pertencentes ao grupo italiano foram medidas aos 25, 39, 55, 76 e 97 DAT e as do grupo caqui aos 30, 45, 55, 76 e 94 DAT.

3.7.2. Dimensões médias dos frutos (mm)

Foram medidos os diâmetros equatorial e longitudinal dos frutos com auxílio de um paquímetro digital com precisão de um centésimo de milímetro (Mitutoyo). Foram escolhidos aleatoriamente e mensurados 30 frutos comerciais por unidade experimental. A definição de frutos comerciais se baseou nas normas de classificação do Programa Brasileiro para Modernização da Agricultura (CEAGESP, 2003). Para os frutos dos grupos italiano e caqui, foram considerados comerciais apenas frutos com diâmetro equatorial superior a 40 mm e com a presença de, no máximo, defeitos leves e/ou manchas do nível 1. No caso do grupo minitomate, foram considerados comerciais os frutos que apresentaram, no máximo, defeitos leves e/ou manchas do nível 1.

3.7.3. Massa média dos frutos (g)

A massa dos frutos foi determinada pela pesagem em balança de precisão digital. Foram selecionados aleatoriamente e pesados 30 frutos comerciais por unidade experimental.

3.7.4. Teor médio de sólidos solúveis (°Brix)

A medição do teor de sólidos solúveis dos frutos foi realizada com um refratômetro analógico portátil (Westover, modelo RHB-32ATC). Foram medidos os teores de sólidos solúveis dos sucos de 5 frutos por unidade experimental, com medições espaçadas ao longo da fase produtiva.

3.8. Análise estatística dos resultados

3.8.1. Variáveis microclimáticas

As variáveis temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar global e RFA coletadas nos Ambientes 1, 2 e a temperatura e umidade relativa do ar externo foram comparadas através de testes de Tukey (com nível de significância de 5%), considerando os dias como repetições.

3.8.2. Características de cultivo

Para as características de cultivo avaliadas utilizou-se a análise de variância conjunta (grupo de experimentos) dos dois ambientes protegidos. Constatada significância pelo teste F da análise conjunta, foi realizado o teste de Tukey (com nível de significância de 5%) para comparação de médias entre cultivares e entre ambientes.

As cultivares dos grupos minitomate (TSV796 e TSV787), italiano (Pizzadoro e TSV780) e caqui (Inox e Alambra) foram avaliadas em análises conjuntas separadas, conforme os graus de liberdade apresentados na Tabela 6. Portanto, para cada característica de cultivo avaliada foram feitas três análises de variância conjunta, considerando em cada uma os Ambientes 1 e 2 e as duas cultivares do respectivo grupo de tomateiro.

Tabela 6: Número de graus de liberdade na análise de variância conjunta dos ambientes.

Causas de Variação	Graus de Liberdade
Ambientes	1
Cultivares	1
Ambientes x Cultivares	1
Resíduo	44
Total	47

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Propriedades físicas dos materiais de cobertura

As Figuras 11 e 12 apresentam os valores pontuais de transmitância, refletância e absorbância ao longo do espectro eletromagnético na faixa de 400 a 1.100 nm do filme de PEBD e da tela termorrefletora empregados na cobertura dos ambientes protegidos. Estão representadas as curvas referentes aos materiais novos e usados, ou seja, ensaiados antes do início e após o término do experimento.

Os valores pontuais de transmitância do filme de PEBD empregado no experimento foram menores que os encontrados por SCARANARI et al. (2008). Os autores, ao avaliarem um filme de PEBD de 100 μm por espectrorradiometria, encontraram valores de transmitância entre 85 e 95 % ao longo do espectro compreendido de 400 a 700 nm, valores maiores que os apresentados na Figura 11, que variaram entre 70 e 75 % para a mesma região do espectro. Essa diferença pode ser explicada pela estrutura do filme de PEBD utilizado, que é mais espesso (150 μm) e possui internamente uma malha de reforço (Figura 2), o que potencializa o efeito de sombreamento do filme com redução de sua transmitância.

Foram observadas pequenas variações nas propriedades físicas entre os filmes de PEBD novo e usado. As amostras do filme usado foram retiradas ao término do experimento em janeiro, mês que teve alta incidência de chuvas, o que provavelmente reduziu o acúmulo de sujeira sobre o filme, um dos principais fatores redutores da transmitância dos materiais de cobertura de ambientes protegidos.

A transmitância da tela termorrefletora nova ficou em torno de 50 % ao longo da faixa do espectro avaliada, valor coerente à taxa nominal de sombreamento fornecida pelo fabricante. OREN-SHAMIR et al. (2001), ao analisarem a transmitância de uma tela termorrefletora de 50 % de sombreamento, obtiveram valores menores de transmitância quando comparados aos valores observados na Figura 12. ROCHA (2007), durante cultivo protegido com tela termorrefletora (40 % de sombreamento) em Juazeiro/BA, observou atenuação de 51 % na faixa da RFA. No entanto, destaca-se que os autores obtiveram esses resultados em ensaios realizados no campo, ou seja, com variação horária da inclinação de incidência da radiação e sem controle do espectro da radiação, condições diferenciadas da determinação por espectrorradiometria empregada nos materiais do presente experimento.

Essas variações podem justificar os valores menores de transmitância, uma vez que o nível de sombreamento tende a aumentar quando a direção da radiação se distancia do perpendicularismo.

SCARANARI et al. (2009) avaliaram, por meio de espectrorradiometria, uma malha negra com nível de sombreamento de 50 % e observaram transmitância na faixa da RFA em torno de 42 %. Dado que os autores utilizaram a mesma metodologia de medição (espectrorradiometria) e a malha negra também possuía nível de sombreamento igual a 50 %, a diferença entre os resultados mostra que a tela termorrefletora possui maior eficiência na transmissão de radiação difusa, devido à maior refletância dos fios retorcidos metalizados por alumínio que a constituem.

A tela termorrefletora apresentou variação das propriedades físicas ao longo do tempo, com redução da transmitância e refletância e aumento da absorbância. Após o uso durante o experimento, a transmitância média caiu de 50 % para 43 %, provavelmente devido ao acúmulo de poeira no material, que reduziu a refletância dos fios de 31 % para 12 %, com consequente redução da parcela de radiação difusa que é transmitida pela tela.

As propriedades físicas da tela termorrefletora usada, na região da RFA, se aproximaram aos resultados obtidos por AL-HELAL e ABDEL-GHANY (2010) para uma malha negra com 50 % de sombreamento, cujos valores de transmitância, refletância e absorbância foram de 47, 8 e 45 %, respectivamente, enquanto que os valores médios obtidos para a tela termorrefletora foram 43, 12 e 45 % para as mesmas propriedades. Essa comparação revela que o acúmulo de poeira nos fios da tela alteram suas propriedades físicas aproximando-as às observadas em malhas negras. Esse resultado sugere que a lavagem da tela termorrefletora entre ciclos da cultura poderia ser feita a fim de recuperar parte da eficiência difusiva da tela.

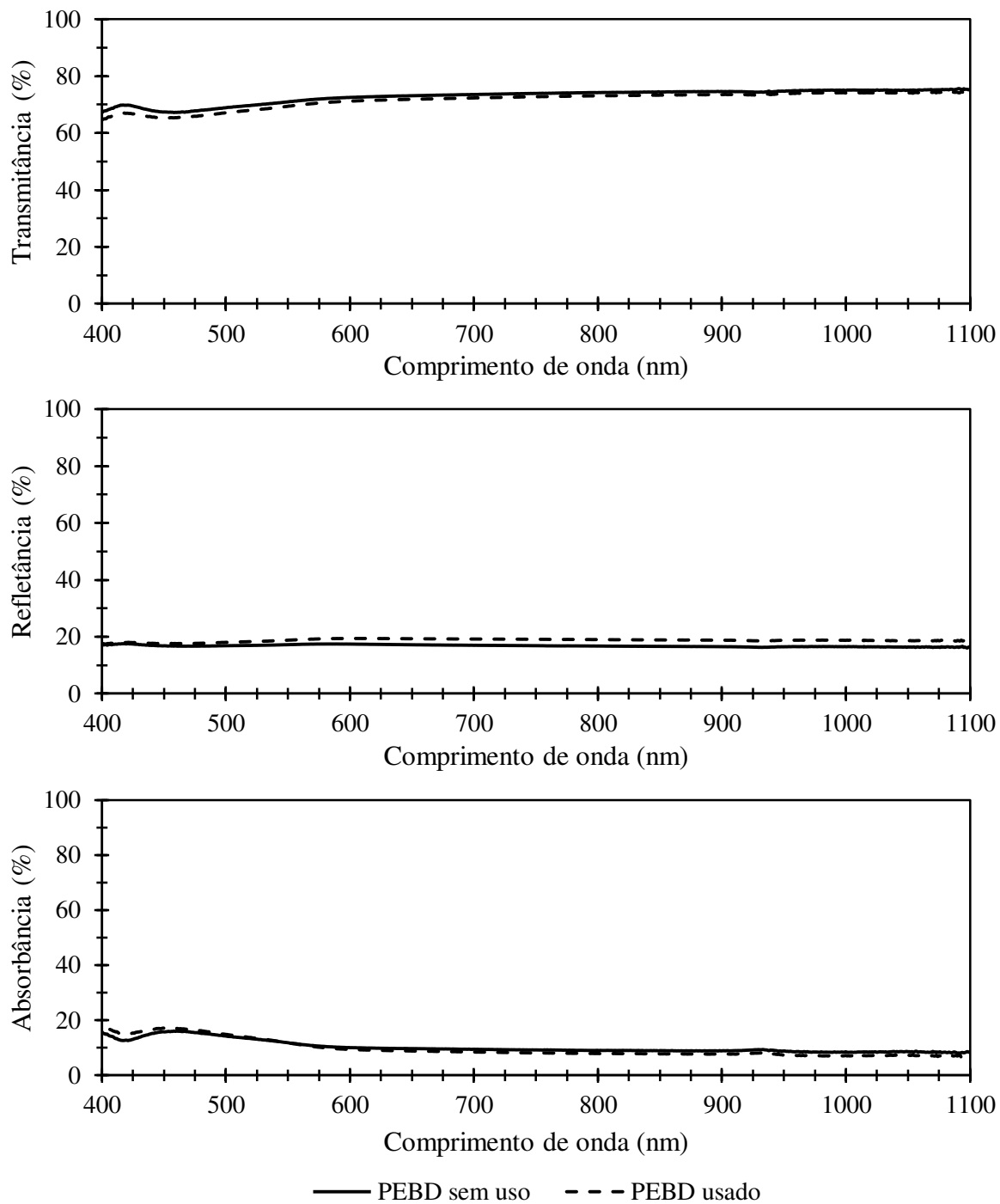


Figura 11: Transmitância, refletância e absorvância do filme de PEBD no início e ao término do experimento.

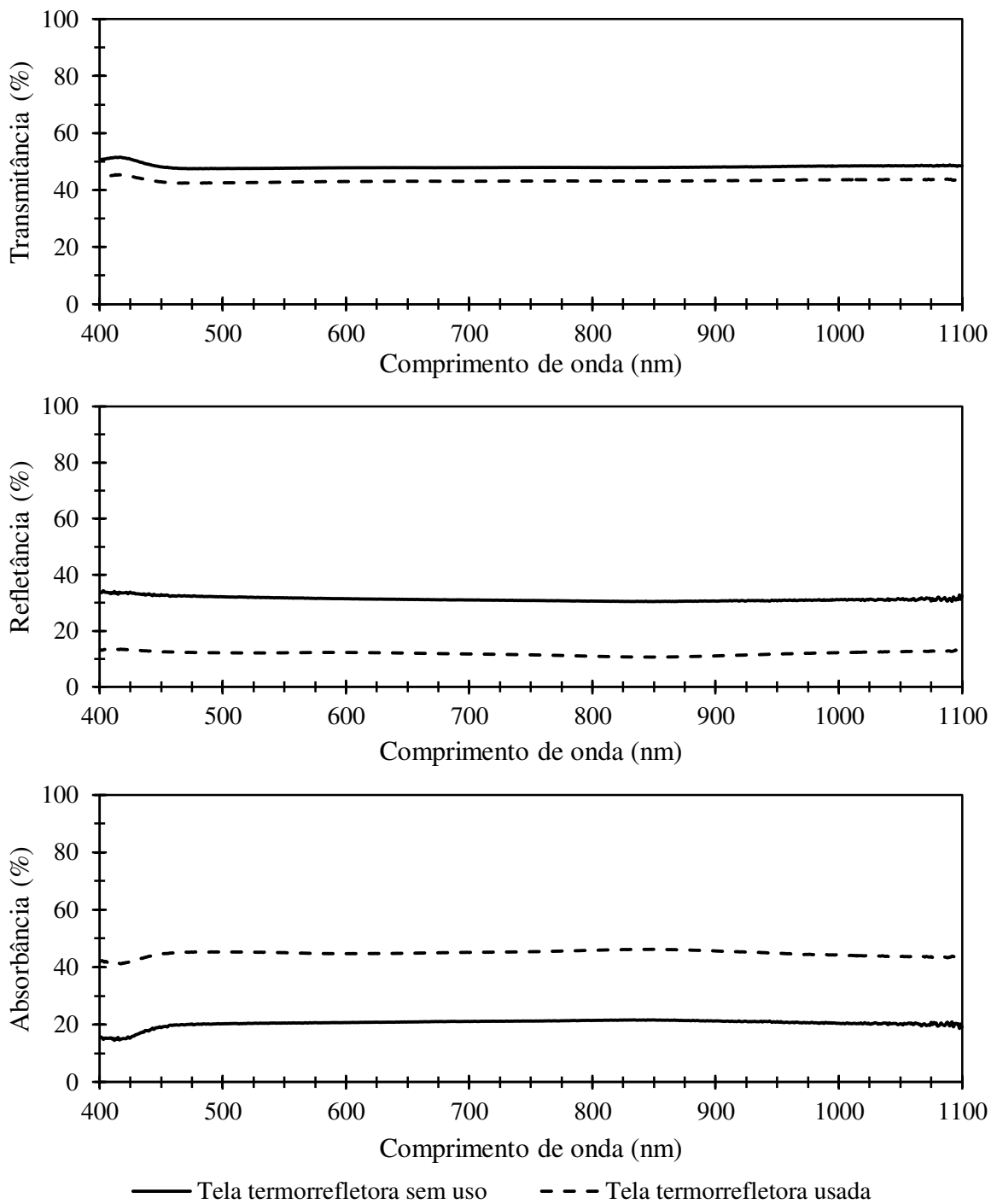


Figura 12: Trânsmitância, refletância e absorbância da tela termorrefletora no início e ao término do experimento.

A Figura 13 apresenta a curva de refletância da tela ráfia branca utilizada na cobertura do solo de ambos os ambientes protegidos. A curva representa a análise da tela nova, ou seja, de amostras retiradas antes do início do experimento.

O valor médio de refletância na faixa de 400 a 1.100 nm foi de 55,8 %. HASSON (1990) obteve para o solo descoberto, sob condições de ambiente protegido, refletância da radiação global na faixa de 20 %. Essa diferença sugere forte interferência da tela ráfia no saldo de radiação, pois aumenta a reflexão de ondas curtas. Além do mais, pode-se inferir que haverá menor emissão de ondas longas comparativamente ao solo exposto, por se tratar de material de cor mais clara que o solo, característica diretamente relacionada à emissividade das superfícies.

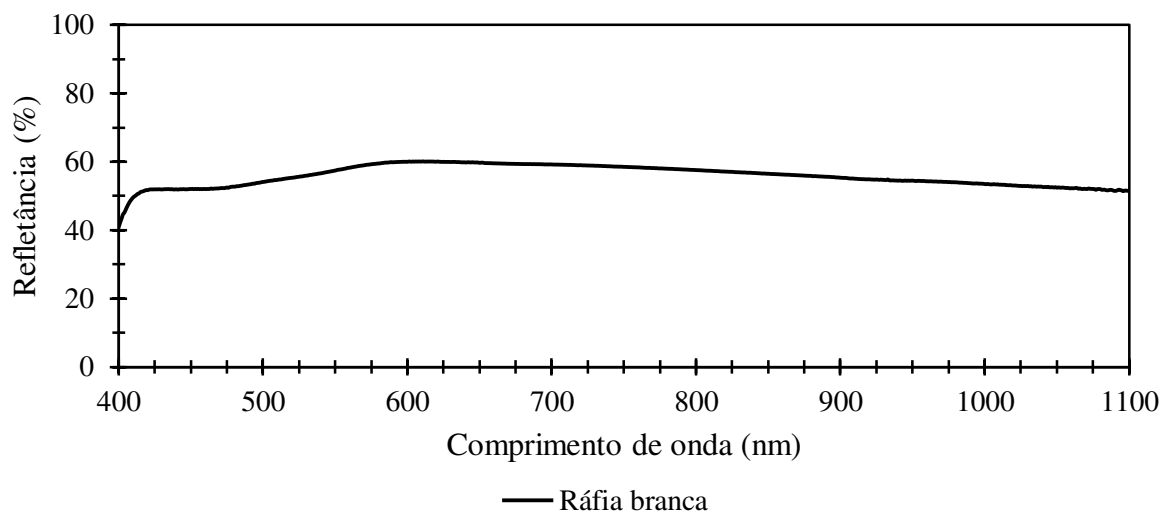


Figura 13: Refletância da tela ráfia branca nova.

4.2. Análise das variáveis microclimáticas

4.2.1. Radiação solar global

A Figura 14 apresenta a variação da radiação solar global diária (RSGD, expressa em $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) registrada no interior dos ambientes protegidos. A RSGD representa a integral da curva diária dos valores instantâneos da radiação solar global (RSG, em W m^{-2}). Devido a problemas no sistema de descarga de dados dos aparelhos de aquisição de dados, os registros de RSG e RFA foram realizados somente no período compreendido entre 25/11/2011 e 21/01/2012.

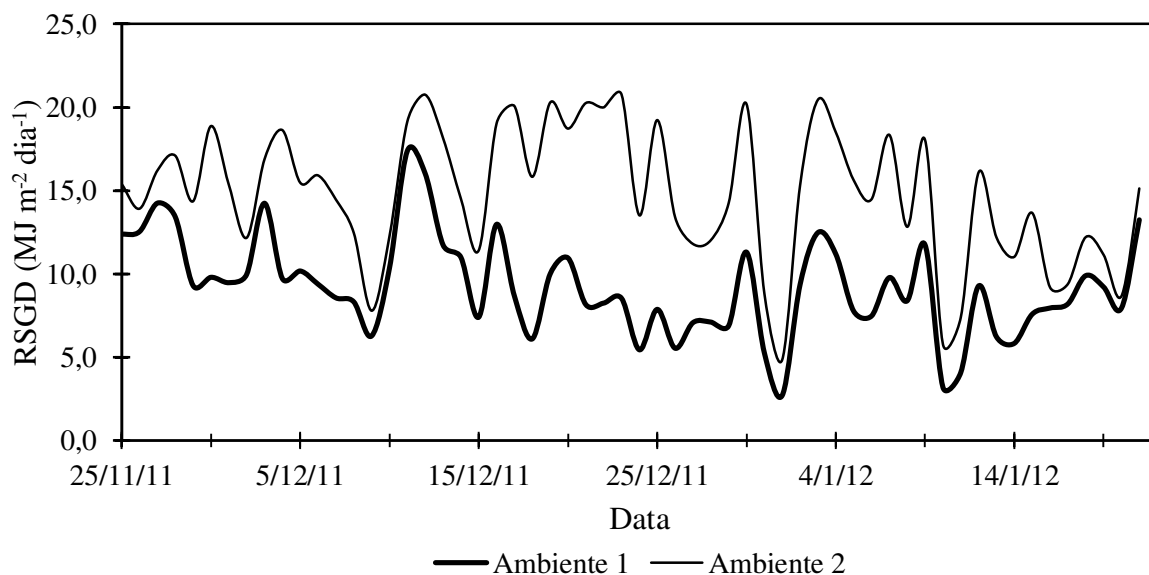


Figura 14: Radiação solar global diária (RSGD, MJ m⁻² dia⁻¹) registrada no interior dos ambientes protegidos, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.

A variação da RSG no interior dos ambientes protegidos, ao longo de um dia de céu claro, está representada na Figura 15. As curvas evidenciam o efeito promovido pela tela termorrefletora na atenuação da radiação solar, devido aos processos de absorção e reflexão (GUISELINI et al., 2010; SETHI e SHARMA, 2007) de parte da radiação solar incidente.

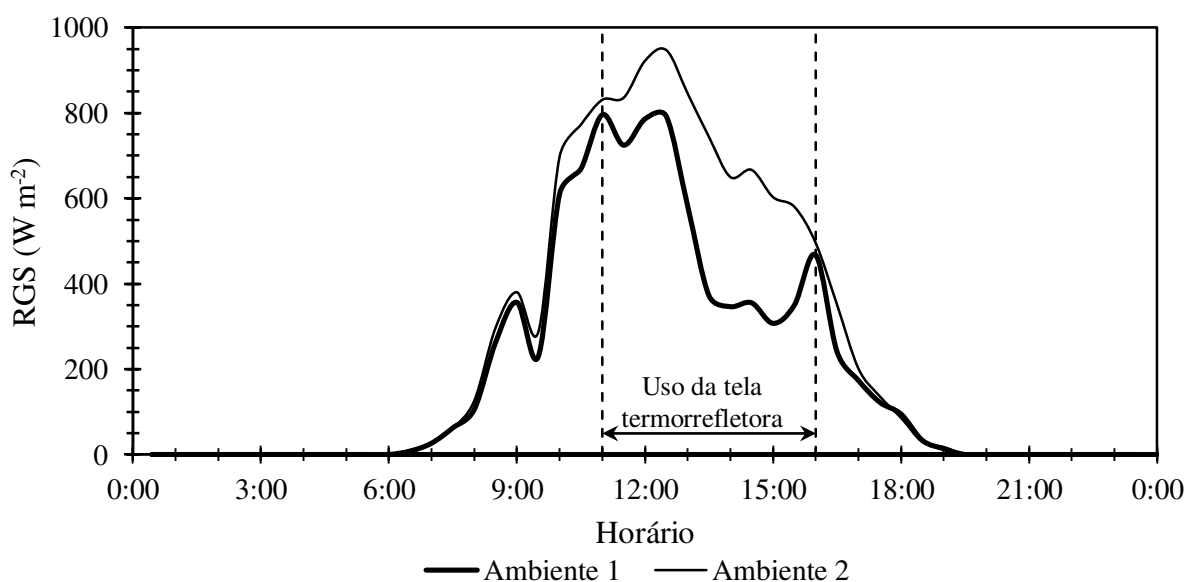


Figura 15: Variação da radiação global solar (RGS, W m⁻²) nos ambientes protegidos ao longo de um dia de céu claro (28/11/2012), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.

A Tabela 7 sintetiza os valores médios da RSGD e da RSG registrados no interior dos ambientes protegidos, no período de 25/11/2011 a 21/01/2012. Conforme esperado, devido ao efeito ilustrado na Figura 15, os valores médios da RSGD e da RSG registrados no Ambiente 1 foram inferiores àqueles observados no Ambiente 2.

Tabela 7: Valores médios da radiação solar global diária (RSGD, MJ m⁻² dia⁻¹) e da radiação solar global (RSG, W m⁻²) registrados nos ambientes protegidos estudados, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.

Período	RSGD (MJ m ⁻² dia ⁻¹) ⁽¹⁾		RSG (W m ⁻²) ⁽¹⁾⁽²⁾	
	Ambiente 1	Ambiente 2	Ambiente 1	Ambiente 2
25/11/11 – 21/01/12	9,2b	14,6a	260,7b	415,2a

(1) médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

(2) valor médio do período compreendido entre 8h e 16h.

VÁSQUEZ et al. (2005), ao estudarem o microclima de um ambiente protegido com cobertura de polietileno transparente de alta densidade em Piracicaba/SP, durante os meses de outubro a janeiro, observaram valor médio de RSGD igual a 14,3 MJ m⁻² dia⁻¹, valor próximo ao observado no Ambiente 2.

HOLCMAN (2009), durante experimentação em ambiente coberto por PEBD associado à tela termorrefletora (40 % de sombreamento) em Piracicaba/SP, encontrou, no período de agosto a outubro, valor médio de RSGD igual a 10,7 MJ m⁻² dia⁻¹, valor superior ao obtido no Ambiente 1. Essa variação pode ser parcialmente explicada pela menor nível de sombreamento da tela empregada pela autora. PANDORFI (2006), ao contrário, em cultivo realizado entre os meses de agosto e outubro em ambiente coberto com PEBD associado à tela termorrefletora (50 % de sombreamento) no município de Piracicaba/SP, obteve valor médio de RSGD igual a 3,1 MJ m⁻² dia⁻¹, valor bastante inferior ao obtido no presente estudo.

COSTA e LEAL (2011) encontraram valor médio de RSG igual a 501,0 W m⁻² durante cultivo em casa de vegetação coberta por PEBD durante os meses de março a outubro, em Campinas/SP. PEZZOPANE et al. (2004) observaram média de RSG de 278,0 W m⁻² sob tela plástica com sombreamento de 50 %, em Alegre/ES, entre os meses de setembro e dezembro.

Com base nos dados da Tabela 7, observa-se que a tela termorrefletora promoveu redução de aproximadamente 37 % da RSGD e da RSG quando comparado ao valor do

Ambiente 2. Esse resultado é similar ao encontrado por HOLCMAN (2009) ao comparar o plástico difusor ao PEBD associado à tela termorrefletora, com a diferença que a tela empregada no trabalho da autora possuía nível de sombreamento de apenas 40 % e foi empregada de forma permanente. LEITE (2006) observou redução de 32 % no valor médio da RSG (entre 8h e 16h) entre ambiente protegido coberto com PEBD e ambiente com PEBD associado à tela de sombreamento de cor pérola (50 % de sombreamento), resultado inferior ao observado no presente experimento apesar do autor ter feito uso em tempo integral da tela, o que pode indicar maior difusibilidade de luz da tela perolizada em relação à termorrefletora.

HOLCMAN e SENTELHAS (2012) observaram redução de 76 % da RSG registrada em ambiente coberto com PEBD e tela termorrefletora (70 % de sombreamento) comparado a ambiente coberto somente com PEBD. A atenuação da RSG registrada pelos autores foi superior ao nível nominal de sombreamento da tela empregada, ao passo que no presente trabalho o percentual de redução da radiação no ambiente com tela (Ambiente 1) frente ao ambiente sem tela (Ambiente 2) foi inferior ao nível de sombreamento da tela utilizada. Essa diferença entre os níveis de atenuação pode estar associada ao fato de que o trabalho dos autores citados fez uso da tela termorrefletora de forma permanente, ou seja, sem manejo de abertura e fechamento, enquanto que no cultivo realizado neste trabalho foi feito o manejo, minimizando o efeito médio de atenuação da radiação que atinge o dossel das plantas.

Apesar da redução da RSGD devido ao uso da tela termorrefletora, o valor médio registrado no Ambiente 1 de $9,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ficou acima do valor mínimo líquido (denominado de limite trófico) de radiação solar diária ($8,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) estabelecido pela FAO (1990) como suficiente para a produção mínima necessária de fotoassimilados, abaixo do qual a fotossíntese pode se tornar menor que a respiração (TAIZ e ZEIGER, 2004), comprometendo o crescimento e acúmulo de fitomassa no fruto (FAGAN et al., 2006).

Notou-se, portanto, que o manejo de abertura/fechamento da tela termorrefletora foi eficiente em restringir a radiação incidente nos horários mais quentes de dias ensolarados sem, no entanto, reduzi-la a valor médio abaixo do limite trófico, resultado não observado nos trabalhos citados que fizeram uso de malhas de forma permanente.

4.2.2. Radiação fotossinteticamente ativa

A Figura 16 apresenta a variação da radiação fotossinteticamente ativa diária (RFAD, expressa em moles $\text{m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ e $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) registrada no interior dos ambientes protegidos nas alturas de 2,00 m (dossel das plantas) e 1,0 m. A RFAD representa a integral da curva diária da radiação fotossinteticamente ativa (RFA, em $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ e W m^{-2}). Os valores da RFA e da RFAD estão expressos em densidade de fótons fotossinteticamente ativos (moles $\text{m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) e em unidade de energia ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$). STEIDLE NETO et al. (2008) destacam que para fins fisiológicos, costuma-se expressar a RFA em termos de densidade de fluxos fotossintéticos ($\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$) e, para aplicações meteorológicas, a RFA é expressa em termos de densidade de fluxo de energia radiante (W m^{-2}). No entanto, não se observou padronização na representação da RFA nos trabalhos científicos publicados. Vários trabalhos expressam a RFA em termos de fótons fotossintéticos e outros em unidade de fluxo de energia.

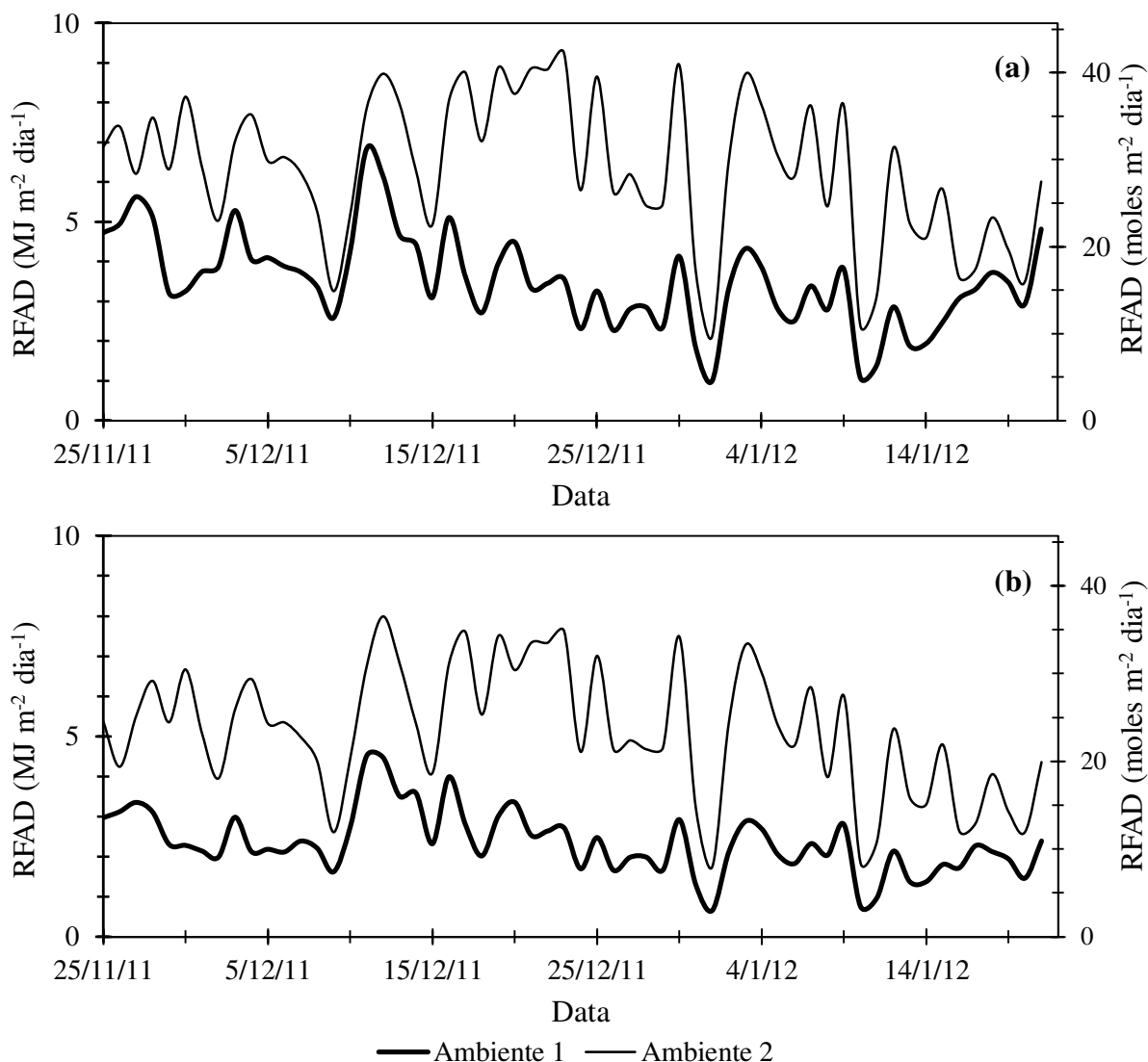


Figura 16: Radiação fotossinteticamente ativa diária (RFAD, $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e $\text{moles m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) registrada no interior dos ambientes protegidos nas alturas de 2,0 m (a) e 1,0 m (b), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.

A variação da RFA no interior dos ambientes protegidos, ao longo de um dia de céu claro, está representado na Figura 17. Conforme esperado, a variação da RFA acompanhou a tendência das curvas da RSG, de forma que o ambiente com tela termorrefletora (Ambiente 1) registrou os menores valores de RFA ao longo do período de coleta de dados. No entanto, observou-se que a 1,0 m de altura, a curva de RFA do Ambiente 1 apresentou valores inferiores à curva do Ambiente 2, inclusive nas horas do dia em que não houve uso da tela termorrefletora. Esse resultado pode estar associado ao sombreamento promovido pelas plantas, uma vez que os sensores foram instalados nos corredores entre linhas cultivo e, no

período de coleta de dados, as plantas de todas as cultivares já haviam ultrapassado 1,0 m de altura.

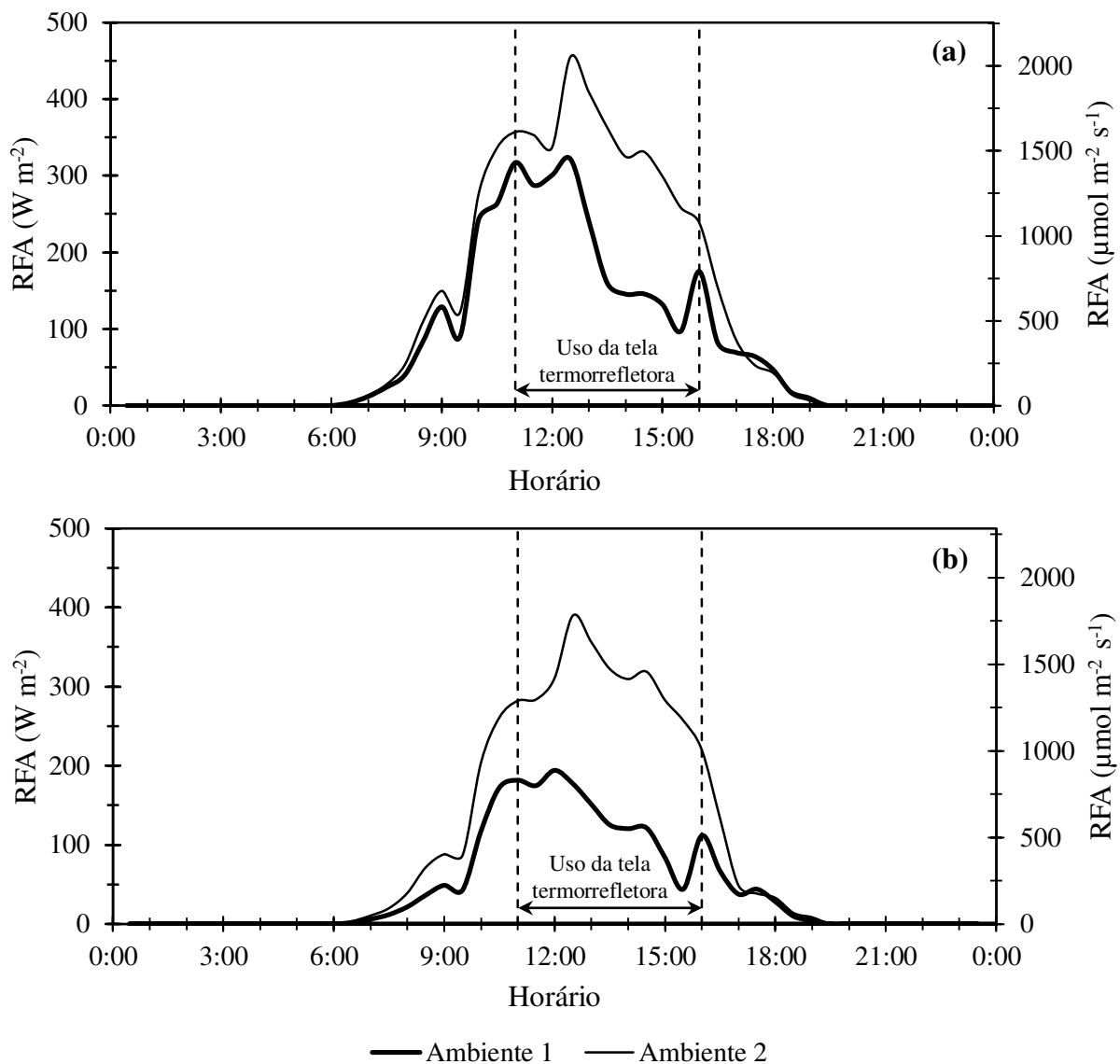


Figura 17: Variação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA, $W m^{-2}$ e $\mu mol m^{-2} s^{-1}$) registrada no interior dos ambientes protegidos nas alturas de 2,0 m (a) e 1,0 m (b), ao longo de um dia de céu claro (28/11/2012), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.

A Tabela 8 apresenta os valores médios da RFAD e da RFA registrados no interior dos ambientes protegidos nas alturas de 1,0 e 2,0 m, durante o período de coleta de dados (25/11/2011 a 21/01/2012).

Notou-se que a redução da RFA registrada entre os sensores posicionados a 2,00 e 1,00 m foi maior no Ambiente 1, com redução de 33% frente a uma redução de apenas 18% no Ambiente 2, indicativo de um maior sombreamento devido a uma provável maior área foliar das plantas do Ambiente 1.

Tabela 8: Valores médios da radiação fotossinteticamente ativa diária (RFAD, MJ m⁻² dia⁻¹ e moles m⁻² dia⁻¹) e da radiação fotossinteticamente ativa (RFA, W m⁻²) registrados nos ambientes protegidos estudados, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.

Altura do sensor	RFAD (MJ m ⁻² dia ⁻¹ e moles m ⁻² dia ⁻¹) ⁽¹⁾		RFA (W m ⁻² e μmol m ⁻² s ⁻¹) ⁽¹⁾⁽²⁾	
	Ambiente 1	Ambiente 2	Ambiente 1	Ambiente 2
2,0 m (dossel)	3,5 (16,0) b	6,4 (29,0) a	82,6 (377,6) b	147,9 (675,8) a
1,0 m	2,3 (10,7) b	5,1 (23,5) a	55,2 (252,1) b	121,3 (554,4) a

(1) médias seguidas de letras distintas na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

(2) valor médio do período compreendido entre 6h e 18h.

A Tabela 8 mostra que o valor médio diário de RFA que atingiu o dossel das plantas ficou abaixo do ponto de saturação luminosa no ambiente com tela termorrefletora (Ambiente 1), enquanto que no Ambiente 2 a média se aproximou ao limite inferior da faixa de saturação luminosa compreendida entre 700 e 1.500 μmol s⁻¹ m⁻², de acordo com valores citados por ROCHA (2007) e PAPADOPOULOS e HAO (1997) para diferentes genótipos de tomateiro. No entanto, entre 9h e 15h, período no qual as plantas são mais ávidas pela realização da fotossíntese (COSTA e LEAL, 2009), o valor de RFA ultrapassou, no Ambiente 2, o valor de 1.500 μmol s⁻¹ m⁻² em 79 % dos dias registrados, ao passo que no Ambiente 1 os valores máximos de RFA ficaram entre 700 e 1.500 μmol s⁻¹ m⁻² em 68% dos dias e, em apenas 20 % dos dias ficaram acima de 1.500 μmol s⁻¹ m⁻². ANDRIOLO (2000) destaca que a alta radiação, somada a ocorrência de altas temperaturas, pode degradar os pigmentos de clorofila, reduzir a fotoassimilação de hidratos de carbono e aumentar a respiração da planta, desacelerando o crescimento e diminuindo o acúmulo de fitomassa.

HOLCMAN e SENTELHAS (2012) observaram redução de 80 % da RFA entre ambiente coberto com PEBD e ambiente com PEBD e tela termorrefletora de 70 % de sombreamento, em cultivo realizado em Piracicaba/SP. MARY (2005) relatou redução de

55 % em valores de RFA coletados às 12h, entre casas de vegetação com cobertura de PEBD com e sem tela termorrefletora (60 % de sombreamento), em Campinas/SP. SCARANARI et al. (2008) observaram reduções de 50 e 53 % na RFA em ambientes com PEBD associados ao uso de telas de sombreamento (50 %) nas cores preta e vermelha em relação a ambiente testemunha coberto por PEBD. A redução de 45 % obtida no presente experimento foi inferior aos resultados obtidos pelos autores citados, provavelmente pelo menor nível de sombreamento (50 %) da tela empregada e pelo manejo de abertura e fechamento da tela, o que não aconteceu nos trabalhos mencionados.

Os resultados mostraram que o uso de tela termorrefletora em dias de céu claro não reduziu os valores máximos da RFA a níveis abaixo do ponto de saturação luminosa do tomateiro na maior parte dos dias registrados, ao mesmo tempo em que evitou valores excessivamente elevados no Ambiente 1, o que possivelmente minimizou a elevação da temperatura da planta, dado que a radiação excedente, não utilizada na fotossíntese, é absorvida pelas folhas na forma de calor sensível, com possíveis reflexos negativos na taxa fotossintética.

4.2.3. Relação entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação solar global

A Figura 18 apresenta as regressões lineares entre a RFAD e a RSGD, nos Ambientes 1 e 2, cujos pontos representam os valores integrais diários registrados no período de coleta.

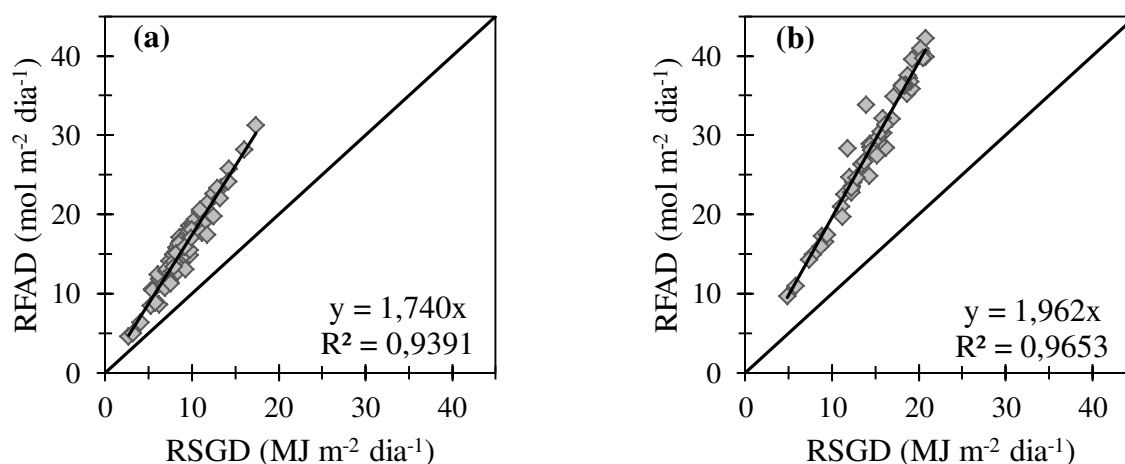


Figura 18: Relação RFAD/RSGD no interior dos ambientes protegidos, durante o período de 25/11/2011 a 21/01/2012, sendo: (a) Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e (b) Ambiente 2 = PEBD.

O valor da razão RFAD/RSGD encontrado para o Ambiente 2 igual a $1,962 \text{ mol MJ}^{-1}$ está de acordo com os resultados obtidos por PEZZOPANE et al. (2004) no interior de ambiente com cobertura plástica, em Alegre/ES. FRISINA (2002) também encontrou valor próximo ao observado, em ambiente com cobertura de PEBD de $100 \mu\text{m}$. Por outro, lado STEIDLE NETO et al. (2008) encontraram valor sensivelmente inferior ($\text{RFA/RSG} = 1,623 \text{ mol.MJ}^{-1}$) em estufa coberta por PEBD de $150 \mu\text{m}$, em Viçosa/MG.

A Figura 18 evidencia uma redução da razão RFAD/RSGD no ambiente com tela termorrefletora (Ambiente 1) em relação ao Ambiente 2. Esse comportamento está em consonância aos resultados encontrados por KITTAS et al. (1999) e HOLCMAN e SENTELHAS (2012). Os autores observaram que o uso da tela termorrefletora promoveu a redução da razão RFA/RSG quando comparado a ambientes similares, com exceção da presença da tela. GUISELINI (2002), ao contrário, não encontrou diferenças entre um ambiente coberto com plástico leitoso comparado a um ambiente com plástico leitoso associado à tela termorrefletora.

No entanto, a razão RFA/RSG também está relacionada com as condições meteorológicas e o clima local, conforme resultados obtidos por FINCH et al. (2004). Os autores observaram variação de $1,780$ a $2,410 \text{ mol MJ}^{-1}$ em função da estação do ano, tendendo a razões menores nos períodos secos e frios e maiores nos períodos quentes e chuvosos. Essa constatação pode explicar parcialmente as diferenças encontradas entre o presente estudo e os trabalhos citados, pois a razão RFA/RSG não depende exclusivamente dos materiais de cobertura, mas também do local e época de realização do cultivo.

4.2.4. Temperatura

A Figura 19 ilustra as temperaturas máxima, mínima e média diárias do ar registradas nos ambientes protegidos e no ambiente externo ao longo do cultivo experimental. A Tabela 9 apresenta os registros de temperatura em valores médios mensais e a comparação das médias do período completo de cultivo por meio de testes de Tukey. Devido a problemas de programação dos sensores de temperatura, os dados referentes aos períodos de 01 a 09/08/2011 e de 03 a 08/10/2011 deixaram de ser registrados. Portanto, os valores médios dos meses de agosto e outubro apresentados na Tabela 9 desconsideram esses períodos, enquanto

que a média de janeiro de 2012 contempla os dados até o dia 21, data referente à última colheita e ao término do período de cultivo experimental.

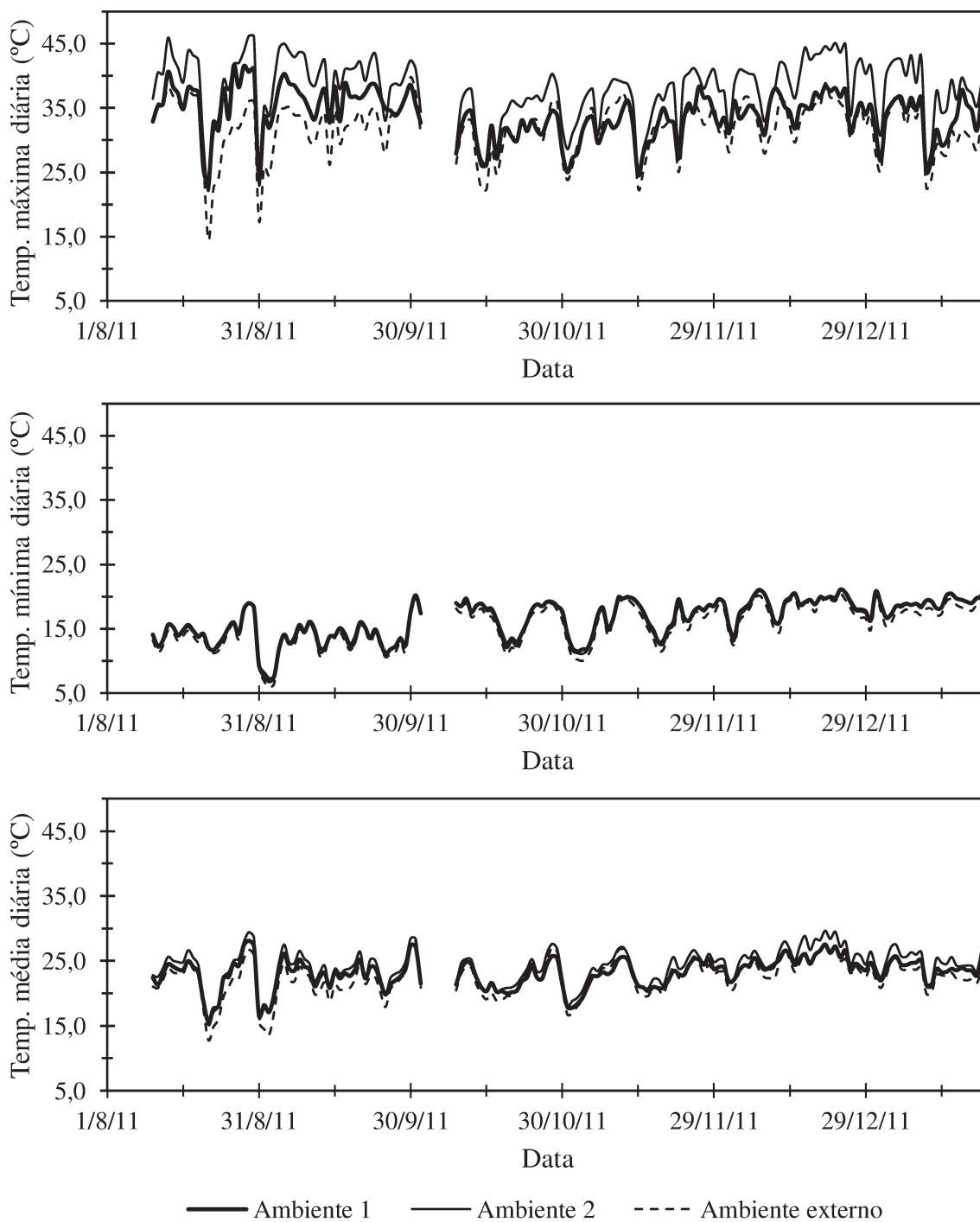


Figura 19: Temperaturas máxima, mínima e média diárias registradas nos ambientes protegidos e no ambiente externo ao longo do cultivo experimental, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletores e Ambiente 2 = PEBD.

Tabela 9: Valores médios mensais e do período completo das temperaturas máximas, mínimas e médias diárias registradas nos ambientes protegidos e no ambiente externo, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.

Temperatura (°C)	Ambiente	2011					2012	Período completo ⁽¹⁾
		ago	set	out	nov	dez	jan	
Máxima	1	35,4	36,3	31,1	32,3	35,0	33,2	33,9b
	2	38,7	40,1	34,3	36,3	40,1	37,6	38,0a
	Externo	31,6	32,4	30,2	32,0	33,5	30,9	31,9c
Mínima	1	14,4	13,2	17,2	16,5	18,8	18,9	16,5a
	2	14,3	12,9	17,0	16,3	18,7	18,9	16,3ab
	Externo	13,8	12,6	16,3	15,5	17,9	17,8	15,6b
Média	1	22,6	22,7	22,3	22,6	24,8	23,7	23,2b
	2	23,4	23,5	23,0	23,7	26,1	24,9	24,1a
	Externo	21,3	21,2	21,9	22,5	24,2	22,7	22,4c

(1) médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Com relação a temperatura média do ar, a Figura 19 e a Tabela 9 mostram que, ao longo de todo o período experimental, os valores registrados nos Ambientes 1 e 2 foram superiores aos observados no ambiente externo, resultado coerente aos relatados por diversos autores (COSTA et al., 2004; VÁSQUEZ et al., 2005; PEZZOPANE et al., 1995; SHIRAHIGE, 2009; PANDORFI, 2006). A cobertura plástica atua como barreira termo-física promovendo a retenção de energia e o conseqüente acúmulo de ar quente e vapor d'água (LOPES e STRIPIARI, 1998) nos ambientes protegidos.

Com base no período completo de cultivo, o valor da temperatura média do ar no Ambiente 2 foi 1,7 °C superior ao registrado no ambiente externo, enquanto que a diferença entre os Ambientes 1 e externo foi de 0,8 °C, evidenciando o efeito da atenuação da radiação solar global promovido pela tela termorrefletora sobre os valores de temperatura. HOLCMAN e SENTELHAS (2012), durante cultivo em Piracicaba/SP, encontraram diferença de aproximadamente 0,7 °C entre os valores médios de temperatura registrados em ambiente coberto com PEBD (150 µm) e o ambiente externo. No entanto, os autores não observaram atenuação da temperatura em ambiente com PEBD e tela termorrefletora (70 % de sombreamento), de forma que a diferença em relação ao ambiente externo se manteve em

0,7 °C. HOLCMAN (2009), em experimentação realizada em Piracicaba/SP, observou diferença de 0,7 °C entre ambiente coberto com plástico difusor e o ambiente externo, ao passo que a diferença diminuiu para apenas 0,1 °C na comparação entre o ambiente com PEBD associado à tela termorrefletora (40 % de sombreamento) e o ambiente externo.

Quando a comparação foi feita entre os ambientes protegidos, observou-se que as temperaturas médias registradas no Ambiente 2 foram sempre superiores ao Ambiente 1, resultado esperado devido à maior transmitância à RSG do Ambiente 2. Diversos autores (SCARANARI et al., 2008; GUISELINI, 2002; HOLCMAN, 2009) observaram resultados similares.

As temperaturas mínimas diárias registradas nos ambientes protegidos foram estatisticamente iguais. As temperaturas mínimas ocorreram durante o período da madrugada, horário em que a tela termorrefletora do Ambiente 1 estava recolhida, de forma que ambos os ambientes protegidos possuíam características equivalentes de transmitância às ondas longas de reirradiação, o que justifica os valores de temperatura mínima próximos entre os ambientes. Em relação ao ambiente externo, os valores de temperatura mínima diária nos ambientes protegidos foram ligeiramente superiores, embora sem significância estatística no caso do Ambiente 2. PEZZOPANE et al. (1995) observaram resultado semelhante durante cultivo em ambiente protegido com cobertura de PEBD, em Campinas/SP. Outros autores (PANDORFI, 2006; HOLCMAN, 2009; SHIRAHIGE, 2009) fizeram constatações semelhantes, enquanto que FARIAS et al. (1993) obtiveram resultado contrário. Mesmo com transmitância do PEBD à radiação de ondas longas na ordem de 70 % (CERMEÑO, 1994), no período noturno, quando a quantidade de energia é baixa, uma pequena variação no balanço de radiação líquida pode diminuir a taxa de resfriamento (PEZZOPANE et al., 1995), o que justifica os valores ligeiramente maiores observados nos ambientes protegidos.

As médias das temperaturas máximas apresentaram as diferenças mais acentuadas entre os ambientes protegidos e o ambiente externo. Normalmente, as temperaturas máximas ocorrem nos horários de alta incidência da radiação solar, período no qual as características de transmitância dos materiais de cobertura dos ambientes influenciam mais acentuadamente na definição das temperaturas do ar.

As temperaturas máximas registradas nos ambientes protegidos foram superiores às registradas no ambiente externo, no decorrer de todo o ciclo da cultura. A elevação das

temperaturas máximas nos ambientes sob cobertura plástica em relação ao ambiente a céu aberto foi relatada por diversos autores (ROCHA, 2007; CALIMAN et al., 2005; SHIRAHIGE, 2009). A cobertura plástica limita à convecção natural do ar quente, restringindo a troca de calor sensível com o ambiente externo, de forma a potencializar o efeito de aumento de temperatura desses ambientes. Além desse fator, a área relativamente grande dos ambientes em formato próximo a um quadrado, a densidade de plantas e o fechamento lateral dos ambientes com duas telas antiafídeo também limitaram as trocas gasosas promovidas pelo vento e pela convecção natural. DUARTE et al. (2011) e BARTZANAS et al. (2002) constataram incrementos nos valores de temperatura em ambientes com telas instaladas nas laterais comparativamente a ambientes com laterais completamente abertas. O Ambiente 2 propiciou expressivo aumento do valor médio das máximas em relação ao ambiente externo, com diferença de 6,1 °C, resultado similar ao observado por SHIRAHIGE (2009).

Na comparação entre os ambientes protegidos, o Ambiente 2 apresentou temperaturas máximas superiores aos valores do Ambiente 1. Essa constatação condiz com o esperado, dado à redução da RSG devido ao uso da tela (Figura 15). A radiação solar incidente é a variável climática de maior impacto no aumento de temperatura do ar, conforme expresso em balanços de energia propostos por diferentes autores, como o modelo de HELLICKSON e WALKER (1983), testado e validado por COSTA et al. (2004) para estufas plásticas naturalmente ventiladas instaladas em Campinas/SP.

O uso da tela termorrefletora é responsável pelo aumento da reflexão da radiação solar, o que permite o controle da temperatura. GEOOLA et al. (2009) verificaram que o coeficiente global de transferência de calor do PEBD associado a uma tela termorrefletora (60 % de sombreamento) apresentou valor 30 % menor em relação ao valor do PEBD, informação que corrobora com o resultado obtido, dada a redução potencial no acúmulo de energia sensível proporcionada pela tela termorrefletora.

A Figura 20 apresenta a variação da temperatura do ar nos ambientes protegidos e no ambiente externo, ao longo de um dia de céu claro. O efeito da tela termorrefletora, estendida às 11h e recolhida às 16h, é claramente observado pelo aumento do diferencial de temperatura entre os ambientes protegidos no período das 12h às 17h, período deslocado no tempo em relação ao período de uso da tela devido à inércia térmica. A diferença máxima de temperatura

entre os Ambientes 1 e 2 e o ambiente externo foram de 4,2 °C e 7,1 °C, respectivamente. Entre os ambientes protegidos, a diferença máxima foi de 5,9 °C. Esses resultados são sensivelmente superiores aos observados por HOLCMAN (2009), diferenças que podem estar associadas à maior restrição às trocas gasosas propiciada pelos ambientes de maiores dimensões empregados no presente estudo. GUISELINI (2002), ao comparar um ambiente coberto com plástico difusor a um ambiente com o mesmo plástico associado à tela termorrefletora, observou no período das 8h às 12h, em um dia de céu claro, valores de temperatura maiores no ambiente com a presença da tela, resultado contrário ao observado no presente experimento.

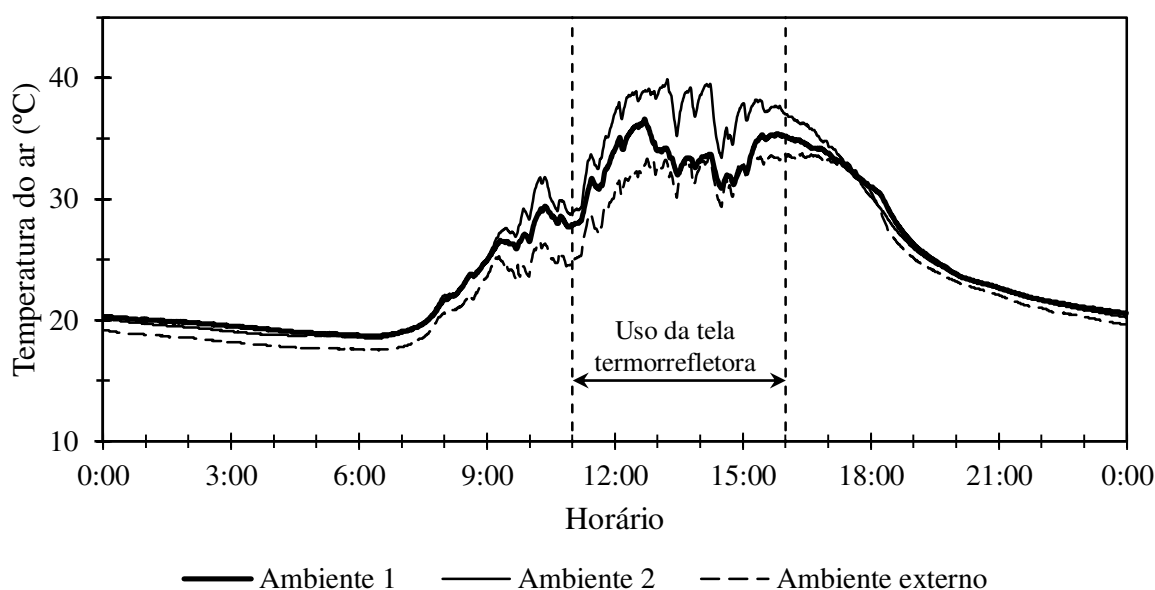


Figura 20: Variação da temperatura do ar nos ambientes protegidos e no ambiente externo ao longo de um dia de céu claro (28/11/2012), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.

A análise da Figura 21, na qual são apresentadas as relações entre as temperaturas médias dos ambientes e a externa, expõe claramente que o Ambiente 2 proporcionou maior elevação da temperatura do ar em relação ao ambiente externo. Os coeficientes angulares das curvas de regressão mostram que as temperaturas internas nos Ambientes 1 e 2 foram cerca de 3,3 e 7,8 % superiores às do ambiente externo, respectivamente. PANDORFI (2006) registrou incrementos de temperatura maiores, com elevação na ordem de 7 % em ambiente com tela termorrefletora frente ao ambiente externo. HOLCMAN (2009) obteve aumento máximo de 5,6 % em ambiente com PEBD e tela termorrefletora com 60 % de sombreamento.

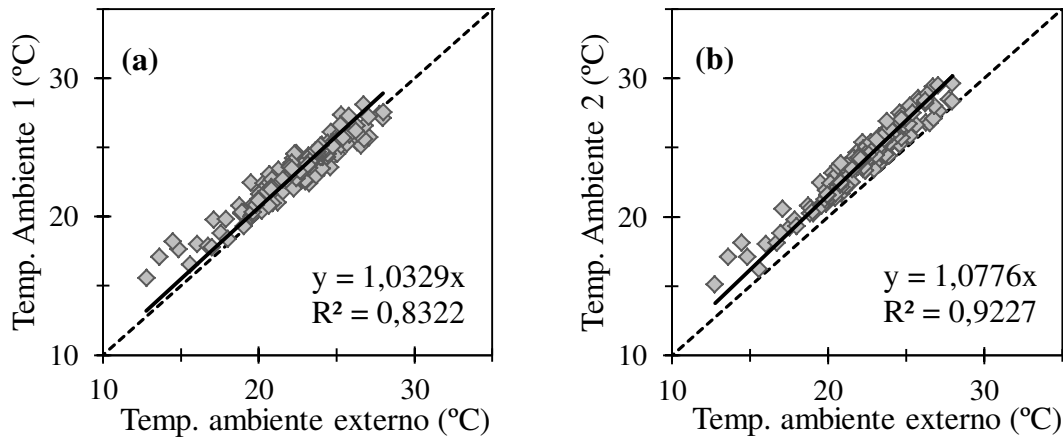


Figura 21: Relação entre a temperatura do ar nos ambientes protegidos e no ambiente externo, sendo: (a) Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e (b) Ambiente 2 = PEBD.

Observou-se que a tela termorrefletora cumpriu a finalidade de atenuação da temperatura do ar, com redução significativa dos valores registrados no Ambiente 1 em relação ao Ambiente 2, principalmente nas médias das máximas diárias.

No entanto, destaca-se que o desempenho térmico dos ambientes foi negativamente influenciado pela baixa troca gasosa que favoreceu o acúmulo de energia sensível, motivo pelo qual os ambientes estudados apresentaram maiores elevações da temperatura frente ao ambiente externo quando comparados aos trabalhos citados que adotaram ambientes com menor área e menor fechamento lateral. Ao longo do cultivo, foram realizadas tentativas de medição da velocidade do ar no centro dos ambientes com uso de anemômetro manual e, na grande maioria das vezes, a velocidade não atingiu o valor mínimo exigido pelo equipamento ($0,2 \text{ m s}^{-1}$) para realização da medição, mesmo em situações em que a velocidade externa do vento media superava $2,5 \text{ m s}^{-1}$, evidenciando a restrição à movimentação do ar imposta pela estrutura.

4.2.5. Umidade relativa e déficit de pressão de vapor

A Figura 22 apresenta as curvas das umidades relativas máxima, mínima e média diárias do ar, nos ambientes protegidos e no ambiente externo, registradas ao longo do cultivo experimental. Os valores médios mensais e a comparação estatística das médias do período completo, por meio de testes de Tukey, estão sintetizados na Tabela 10. Assim como os dados de temperatura, os valores de umidade relativa do ar referentes aos períodos de 01 a 09/08/2011 e de 03 a 08/10/2011 deixaram de ser registrados nos ambientes protegidos. No

ambiente externo, houve necessidade de troca do registrador devido a inconsistências nos valores coletados, de forma que os dados foram coletados somente a partir de 12/12/2011.

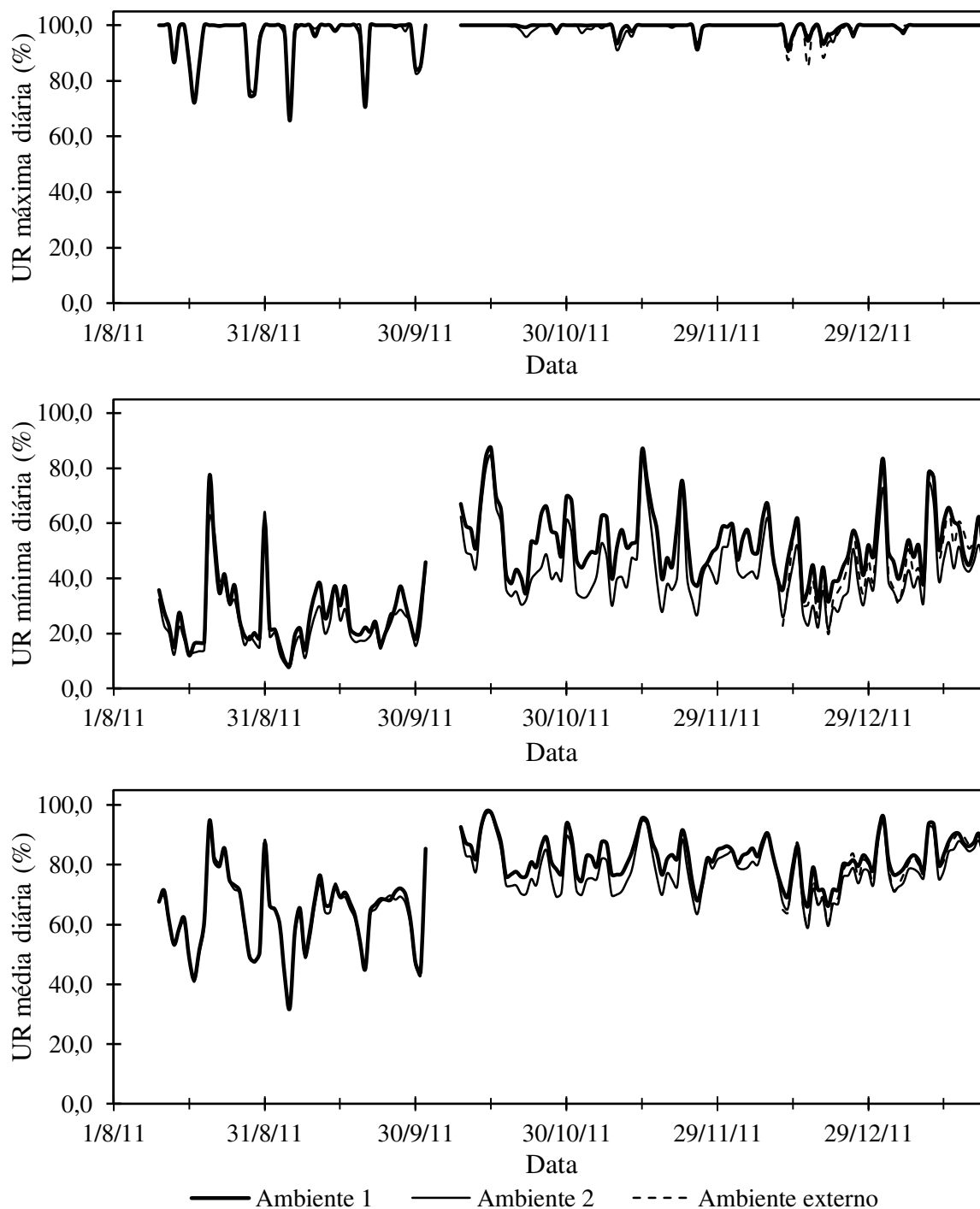


Figura 22: Umidades relativas máxima, mínima e média diárias registradas nos ambientes protegidos e no ambiente externo ao longo do cultivo experimental, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletores e Ambiente 2 = PEBD.

Tabela 10: Valores médios mensais e do período completo das umidades relativas máximas, mínimas e médias diárias registradas nos ambientes protegidos e no ambiente externo, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora; Ambiente 2 = PEBD.

Umidade relativa (%)	Ambiente	2011					2012	Período completo ⁽¹⁾
		ago	set	out	nov	dez	jan	
Máxima	1	94,3	96,8	99,3	99,3	98,8	99,8	98,1a
	2	94,7	97,3	98,8	98,8	98,7	99,8	98,1a
	Externo	--	--	--	--	97,0 ⁽²⁾	100,0	--
Mínima	1	29,4	24,0	56,7	53,4	48,4	55,4	44,3a
	2	27,1	20,7	48,3	43,4	39,1	46,1	37,1b
	Externo	--	--	--	--	40,0 ⁽²⁾	52,9	--
Média	1	65,1	62,5	83,3	82,3	79,2	85,1	76,1a
	2	64,6	61,4	79,6	77,4	75,6	81,9	73,2b
	Externo	--	--	--	--	73,7 ⁽²⁾	84,2	--

(1) médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

(2) valores médios de 12/12/11 a 31/12/12.

A Figura 22 e a Tabela 10 mostram que os valores máximos de umidade relativa foram próximos entre os ambientes protegidos durante todo o ciclo. Os valores máximos de umidade relativa, com exceção de dias chuvosos, ocorreram durante a madrugada, nos horários de menor temperatura. Esse resultado foi condizente com o esperado, dado que a umidade relativa é dependente e inversamente proporcional à temperatura (HOLCMAN, 2009; COSTA et al., 2004). Os valores médios das máximas do ciclo completo em ambos os ambientes protegidos foram iguais a 98,1 %, condição próxima às encontradas por HOLCMAN (2009) e ROCHA (2007). SHIRAHIGE (2009) encontrou valor inferior, com média das máximas igual a 80,9 % em ambiente protegido coberto com PEBD de 150 μm .

Os valores médios de umidade relativa, conforme esperado, também apresentaram comportamento inversamente proporcional aos valores de temperatura, de forma que o Ambiente 2 apresentou valores médios de umidade relativa iguais ou inferiores aos registrados no Ambiente 1. As menores temperaturas do Ambiente 1 ocasionaram menores valores de pressão de saturação de vapor d'água (e_s), que resultaram nos valores mais elevados de umidade relativa. Resultados similares foram observados por HOLCMAN (2009), GUISELINI (2002), PANDORFI (2006) e ROCHA (2007).

As maiores diferenças, no entanto, ocorreram entre os valores mínimos de umidade relativa, com diferença média entre os ambientes de 7,2 %, acompanhando a acentuada diferença entre as temperaturas máximas registradas nos ambientes. Os autores HOLCMAN e SENTELHAS (2012) e HOLCMAN (2009) obtiveram resultados semelhantes.

Notou-se na Tabela 10 um aumento gradual dos valores máximos, mínimos e médios de umidade relativa ao longo dos meses de cultivo em ambos os ambientes, resultado possivelmente ocasionado pelo aumento da evapotranspiração, devido ao crescimento das plantas. Baseando-se em um processo psicrométrico de adição de vapor com manutenção da temperatura de bulbo seco, o aumento da evapotranspiração eleva a umidade absoluta do ar e, conseqüentemente, a pressão parcial de vapor d'água (e_a) e a umidade relativa.

A Figura 23 apresenta a variação da umidade relativa do ar, nos ambientes protegidos, ao longo de um dia de céu claro. O efeito da tela termorrefletora, estendida às 11h e recolhida às 16h, é claramente observado pelo aumento do diferencial de umidade relativa entre os ambientes, efeito inversamente proporcional ao perfil de temperaturas apresentados na Figura 20.

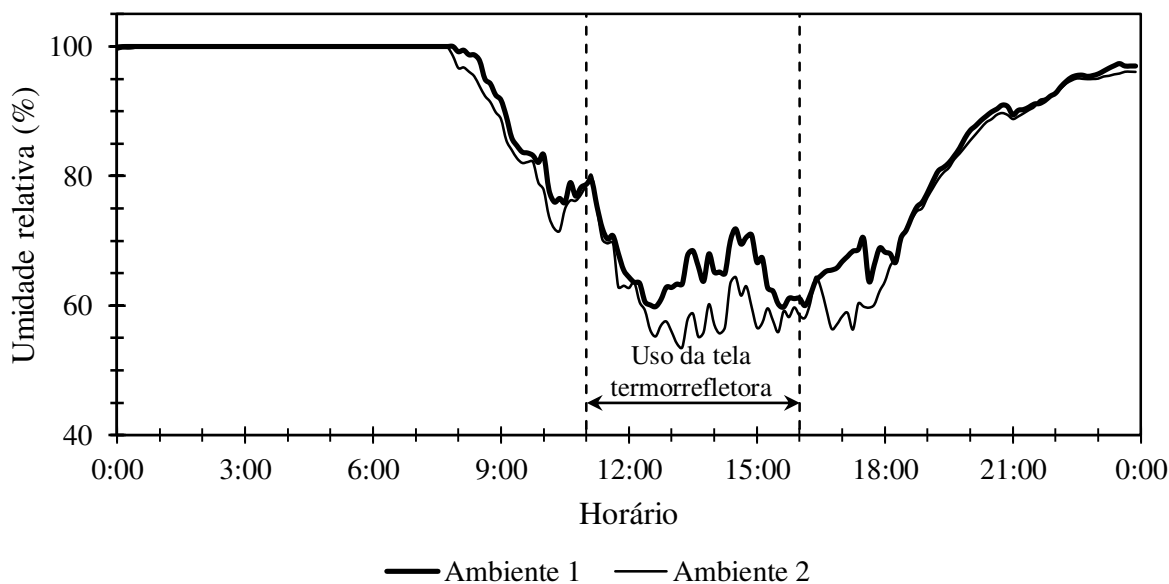


Figura 23: Variação da umidade relativa do ar nos ambientes protegidos ao longo de um dia de céu claro (28/11/2012), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.

A diferença de umidade relativa entre os ambientes atingiu o ápice de 19,1 %, tendo o Ambiente 1 apresentado valores superiores ao Ambiente 2 ao longo de todo o período com incidência de radiação solar. As diferenças de umidade relativa entre os ambientes foram superiores às encontradas por HOLCMAN (2009), resultado esperado por acompanhar o perfil de temperaturas.

Ao fim da tarde, observou-se que as curvas de umidade relativa foram crescentes e os valores atingiram a saturação ao longo da noite, efeito devido à queda de temperatura, que reduz a e_s , e à retenção de vapor d'água causada pela cobertura plástica dos ambientes protegidos.

A Tabela 11 apresenta os valores das pressões parcial e de saturação de vapor d'água (e_a e e_s) e o respectivo DPV do ar no interior dos ambientes protegidos durante os meses de cultivo. Os valores foram obtidos a partir do programa computacional de cálculos psicrométricos *Psicro 2009* (COMPAGNON et al., 2009), adotando como variáveis de entrada dados de temperatura, umidade relativa e a altitude local. Calcularam-se os valores para as condições críticas diurna e noturna e para a condição média diária. A condição crítica noturna foi estimada a partir dos valores mínimos de temperatura associados aos valores máximos de umidade relativa, ao passo que a condição crítica diurna foi obtida com base na temperatura máxima e umidade relativa mínima. Os valores de e_a apresentaram tendência de aumento no decorrer do experimento, comportamento que, a exemplo dos valores de umidade relativa, podem ser explicados pelo aumento da evapotranspiração da cultura em razão do desenvolvimento da cultura e aumento da área foliar. O DPV acompanhou os registros de temperatura e foi maior no Ambiente 2, nas condições crítica diurna e média. A condição crítica noturna foi semelhante entre os ambientes, dado a similaridade dos valores médios de temperatura mínima e umidade relativa máxima.

SCARANARI et al. (2008) também observaram redução do valor médio do DPV devido ao uso do sombreamento. Os autores registraram, em experimento de aclimatação de mudas de bananeira, valores médios de DPV de 0,728 kPa e 0,690 kPa para ambientes protegidos com PEBD (100 μ m) e PEBD associado à malha negra (50% de sombreamento), respectivamente.

Tabela 11: Pressões parcial (e_a) e de saturação (e_s) do vapor d'água e déficit de pressão de vapor do ar (DPV) nos ambientes protegidos, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.

Condição	Ambiente	2011					2012	Período completo	
		ago	set	out	nov	dez	jan		
Crítica noturna	1	e_a	1,546 ⁽¹⁾	1,468	1,947	1,863	2,142	2,178	1,840
		e_s	1,639	1,516	1,961	1,876	2,168	2,182	1,876
		DPV	0,093	0,048	0,014	0,013	0,026	0,004	0,036
	2	e_a	1,543	1,447	1,913	1,830	2,127	2,178	1,817
		e_s	1,629	1,487	1,936	1,852	2,155	2,182	1,852
		DPV	0,086	0,040	0,023	0,022	0,028	0,004	0,035
Crítica diurna	1	e_a	1,689	1,449	2,560	2,581	2,720	2,816	2,342
		e_s	5,744	6,035	4,515	4,832	5,619	5,083	5,286
		DPV	4,055	4,586	1,955	2,251	2,899	2,267	2,944
	2	e_a	1,863	1,534	2,611	2,619	2,897	2,987	2,456
		e_s	6,875	7,410	5,405	6,035	7,410	6,479	6,620
		DPV	5,012	5,876	2,794	3,416	4,513	3,492	4,164
Média	1	e_a	1,784	1,723	2,241	2,255	2,477	2,492	2,162
		e_s	2,740	2,757	2,690	2,740	3,128	2,928	2,841
		DPV	0,956	1,034	0,449	0,485	0,651	0,436	0,679
	2	e_a	1,858	1,776	2,234	2,266	2,554	2,577	2,196
		e_s	2,876	2,893	2,807	2,928	3,379	3,146	2,999
		DPV	1,018	1,117	0,573	0,662	0,825	0,569	0,803

(1) valores expressos em kPa.

A Figura 24 apresenta a variação da e_a e e_s do ar nos ambientes protegidos ao longo de um dia de céu claro. Observa-se que o Ambiente 2 apresentou valores de DPV bastante superiores aos do Ambiente 1, resultado que acompanhou os valores de temperatura visto que o aumento da temperatura eleva a capacidade máxima do ar em reter vapor d'água, com conseguinte elevação dos valores de e_s .

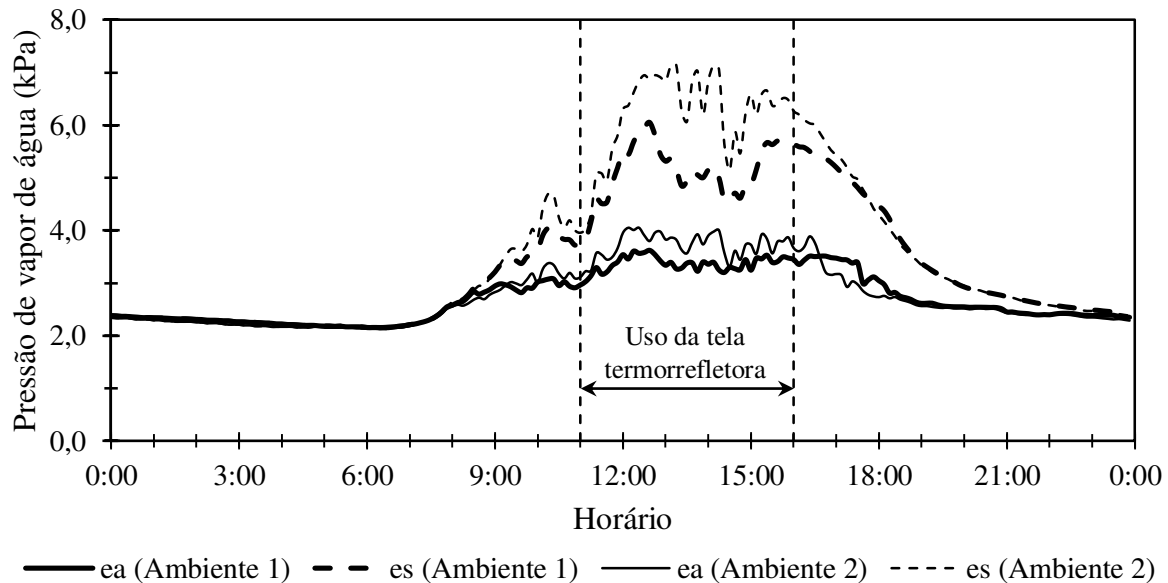


Figura 24: Variação das pressões parcial (e_a) e de saturação (e_s) de vapor d'água do ar nos ambientes protegidos ao longo de um dia de céu claro (28/11/2012), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.

A curva da e_a do ar no Ambiente 2 apresentou, nos horários de incidência de radiação solar, valores superiores aos registrados no Ambiente 1. Esse resultado pode estar associado a uma maior evapotranspiração das plantas no Ambiente 2, devido aos maiores valores de DPV e radiação solar incidente. A maior evapotranspiração promove aumento da umidade absoluta com consequente aumento da e_a do ar. GUISELINI (2002), ao avaliar a evapotranspiração da gérbera em ambientes protegidos, encontrou correlação positiva entre as variáveis microclimáticas temperatura e radiação solar global e a evapotranspiração. JOLLIET e BAILEY (1992) encontraram correlação positiva da radiação solar e do DPV com a taxa de evapotranspiração do tomateiro.

4.2.6. Adequação do microclima dos ambientes às exigências climáticas do tomateiro

O uso da tela termorrefletora reduziu significativamente a incidência da RSG e da RFA no Ambiente 1 em comparação ao Ambiente 2. No entanto, no período de coleta de dados, o valor médio da RSGD ficou acima do limite trófico (FAO, 1990) em ambos os ambientes. Já a média diária da RFA ficou abaixo da faixa de saturação luminosa em ambos os ambientes protegidos, embora a média do Ambiente 2 tenha se aproximado do limite inferior dessa faixa. Entretanto, nos horários da maior incidência, os níveis de RFA no Ambiente 1

atingiram a faixa de saturação luminosa na maioria dos dias registrados, ao passo que no Ambiente 2 esse limite foi ultrapassado em 80 % dos dias.

Com relação à variável climática temperatura do ar, ambos os ambientes apresentaram temperaturas médias compatíveis com a faixa ótima recomendada para o cultivo do tomateiro, que segundo CERMEÑO (1994) está entre 20 e 24 °C. No entanto, a média das máximas do Ambiente 2 superou em 4,0 °C o limite de 34 °C considerado por GIORDANO e SILVA (2000) aceitável para a cultura, o que resultou em maior abortamento de flores e menor pegamento de frutos nesse ambiente comparativamente ao Ambiente 1, cuja média das máximas ficou dentro do limite aceitável.

As temperaturas mínimas do ar, cujas médias foram estatisticamente iguais entre os ambientes, ficaram dentro das faixas recomendadas (LOPES e STRIPIARI, 1998; MORETTI, et al., 2000 e GIORDANO e SILVA, 2000).

A umidade relativa média registrada em ambos os ambientes ficou dentro das faixas consideradas ótimas por CERMEÑO (1994) e ANDRIOLO (2002), que citam o limite superior de 80 %. No entanto, seguindo as recomendações de LOPES e STRIPIARI (1998) e MAKISHIMA e CARRIJO (1998) que consideram o limite superior de 70 %, os valores nos Ambientes 1 e 2 ficaram 6,1 e 3,2 % acima do limite recomendado.

Os valores máximos de umidade relativa do ar, condição de difícil controle, ultrapassaram as faixas recomendadas e atingiram a saturação com frequência, favorecendo o surgimento de orvalho nas plantas. A baixa taxa de renovação do ar dos ambientes possivelmente favoreceu os altos valores de umidade relativa.

Os valores mínimos de umidade relativa, condição associada à ocorrência de altos valores de temperatura, também foram críticos. O Ambiente 2 apresentou média das mínimas abaixo do limite recomendado, que varia de 40 a 50 % de acordo com os diferentes autores citados (LOPES e STRIPIARI, 1998; MAKISHIMA e CARRIJO, 1998; CERMEÑO, 1994; ANDRIOLO, 2002). O Ambiente 1, por outro lado, apresentou média das mínimas de 44,3 %, respeitando o limite mínimo recomendado.

As dimensões, a densidade de plantas e as telas de fechamento antiafídeo empregadas nos ambientes protegidos provavelmente favoreceram a baixa taxa de renovação de ar, o que potencializou o efeito do próprio filme plástico de cobertura no acúmulo de carga térmica, resultando em expressivas elevações da temperatura do ar nos ambientes protegidos em

relação ao ambiente externo. Além disso, menores valores de circulação do ar estão relacionados a menores valores das taxas fotossintética líquida e transpiratória (SHIBUYA e KOZAI, 1998; THONGBAI et al., 2010), dado ao aumento da resistência da camada limítrofe que circunda as folhas (THONGBAI et al., 2010; KITAYA et al., 2003)

A baixa troca gasosa também pode ter ocasionado outros efeitos indesejados, como a redução de concentração de CO₂, que segundo THONGBAI et al. (2010) sofre reduções significativas em ambientes protegidos, com redução na taxa líquida de fotossíntese (KITAYA et al., 2004; ZISKA e at., 1991).

4.3. Análise das características de cultivo

4.3.1. Dimensões médias dos frutos

A Tabela 12 apresenta os valores médios dos diâmetros equatorial e longitudinal dos frutos das diferentes cultivares avaliadas nos Ambientes 1 e 2.

Tabela 12: Diâmetros equatorial e longitudinal médios dos frutos das cultivares avaliadas nos diferentes ambientes protegidos, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.

Grupo de tomate	Cultivar	Diâmetro equatorial (mm)		Diâmetro longitudinal (mm)	
		Ambiente 1	Ambiente 2	Ambiente 1	Ambiente 2
Minitomate	TSV796	24,1	22,1	29,8	31,1
	TSV787	34,9	33,5	33,5	32,8
Italiano	Pizzadoro	51,1	50,4	61,0	65,0
	TSV780	48,3	49,1	66,5	66,4
Caqui	Inox	62,0	60,4	50,4	50,4
	Alambra	67,6	63,9	52,4	51,4

A Tabela 13 sintetiza os resultados do teste F das análises de variância conjunta dos 3 grupos de tomate para as características diâmetro equatorial e diâmetro longitudinal. Em nenhuma das análises foi constatado efeito significativo da interação “cultivar x ambiente”, tornando desnecessária a análise dos desdobramentos.

Tabela 13: Valores do teste F das análises de variância conjunta dos diferentes grupos de tomate para as variáveis dimensionais dos frutos.

Fonte de variação	Grupos de tomate					
	Minitomate		Italiano		Caqui	
	Ø equatorial	Ø long.	Ø equatorial	Ø long.	Ø equatorial	Ø long.
Cultivares	266,9 ^{***}	13,3 ^{***}	6,3 [*]	5,1 [*]	37,2 ^{***}	6,5 [*]
Ambientes	6,5 [*]	0,2 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,7 ^{ns}	12,9 ^{***}	0,9 ^{ns}
Cultivares x Ambientes	0,2 ^{ns}	1,7 ^{ns}	0,8 ^{ns}	1,8 ^{ns}	2,0 ^{ns}	0,6 ^{ns}

ns = efeito não significativo; * efeito significativo a 5%; *** efeito significativo a 0,1%.

As Tabelas 14 e 15 apresentam, respectivamente, as comparações entre as médias das cultivares e entre as médias dos ambientes protegidos pelo teste de Tukey. Conforme esperado, as comparações de médias confirmaram os resultados obtidos nas análises de variância conjunta, dado que ambos os fatores de tratamento possuem apenas dois níveis.

As cultivares pertencentes ao grupo minitomate diferiram entre si tanto no diâmetro equatorial como no diâmetro longitudinal, em função dos formatos diferenciados entre as cultivares. Os frutos da cultivar TSV796 são alongados (oblongos), ao passo que a cultivar TSV787 produz frutos arredondados, apresentando, por conseguinte, diâmetro equatorial maior.

HOLCMAN (2009) avaliou duas cultivares do grupo minitomate em condições de ambiente protegido. A autora observou para a cultivar de frutos arredondados Sweet Million, valores médios de 21,2 e 23,7 mm dos diâmetros equatorial e longitudinal, respectivamente, enquanto que para a cultivar Sweet Grape, de frutos oblongos, foram registradas médias iguais a 24,8 e 31,6 mm. AZEVEDO et al. (2010), em experimentação a fim de avaliar a influência de diferentes sistemas de condução e espaçamento de plantas em produção orgânica de cultivares do grupo minitomate, obtiveram valores médios dos diâmetros equatorial e longitudinal iguais a 25,2 e 24,0 mm, respectivamente, para a cultivar Super Sweet, ao passo que os frutos da cultivar Perinha foram de 25,9 e 33,1 mm.

As cultivares dos grupos italiano e caqui também apresentaram diferenças significativas nas dimensões médias dos frutos (diâmetros equatorial e longitudinal). As diferenças dimensionais entre cultivares do mesmo grupo são devidas, provavelmente, às

características genéticas das respectivas cultivares, conforme destacado por FERREIRA et al. (2004), CHARLO et al. (2009) e SHIRAHIGE et al. (2010).

Os valores médios dos frutos da cultivar Alambra observados são semelhantes aos obtidos por CHARLO et al. (2009). Os autores encontraram, em cultivo realizado em casa de vegetação entre os meses de maio e novembro em Jaboticabal/SP, valores médios dos diâmetros equatorial e longitudinal iguais a 65,0 e 51,0 mm, respectivamente. Por outro lado, SANTOS et al. (2011), ao avaliarem diversas cultivares do grupo caqui em condições de campo, obtiveram frutos maiores para a cultivar Alambra, cujos valores médios foram iguais a 71,7 e 58,7 mm para os diâmetros equatorial e longitudinal, respectivamente. Os autores encontraram para as 36 cultivares do grupo caqui avaliadas variação do diâmetro equatorial de 60,0 a 74,9 mm e do diâmetro longitudinal de 53,4 a 66,4 mm.

SHIRAHIGE et al. (2010), ao estudarem o efeito do raleio de frutos em condições de ambiente protegido, avaliaram as dimensões médias dos frutos de 6 cultivares do grupo italiano. Os autores encontraram valores de diâmetro equatorial de 49,0 a 63,0 mm e de diâmetro longitudinal entre 72,0 e 96,0 mm. Segundo ALVARENGA (2004), as cultivares dos grupos italiano ou saladete têm comprimento de fruto que varia de 70,0 a 100,0 mm. As dimensões médias dos frutos das cultivares do grupo italiano avaliadas neste experimento apresentaram valores baixos comparativamente aos valores encontrados pelos autores citados. As diferenças se devem, provavelmente, às características genéticas das cultivares, além de fatores como fertirrigação e variáveis microclimáticas.

Tabela 14: Dimensões médias dos frutos em função das cultivares estudadas.

Grupo de tomate	Cultivar	Diâmetro equatorial (mm)		Diâmetro longitudinal (mm)	
		Média ⁽¹⁾	CV (%)	Média ⁽¹⁾	CV (%)
Minitomate	TSV796	23,1b	8,23	30,4b	8,12
	TSV787	34,2a		33,2a	
Italiano	Pizzadoro	50,8a	5,78	63,0b	8,12
	TSV780	48,7b		66,4a	
Caqui	Inox	61,2b	4,07	50,4b	3,93
	Alambra	65,7a		51,9a	

(1) médias seguidas de letras distintas na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os ambientes influenciaram significativamente nas cultivares dos grupos minitomate e caqui, cujos frutos apresentaram diâmetro equatorial maior no Ambiente 1. No entanto, não foi observado efeito significativo nos valores médios do diâmetro longitudinal dessas cultivares. Já no caso das cultivares do grupo italiano, não foram observados efeitos significativos entre os ambientes estudados em ambas as dimensões características dos frutos. Segundo MONDIN (1988), a produção de uma cultura é função da interação entre o genótipo da cultivar com as condições ambientais, o que justifica a insensibilidade das cultivares do grupo italiano em relação aos ambientes avaliados e, ao mesmo tempo, a variação significativa observada para os demais grupos de tomate.

SELEGUINI et al. (2006) avaliaram a influência do espaçamento de plantas e número de racemos em cultivo protegido da cultivar Duradouro, pertencente ao grupo caqui, e observaram que as plantas em condições de maior sombreamento (menor espaçamento de cultivo) apresentaram acréscimos lineares na produção total e na produção de frutos graúdos e médios. O número de frutos pequenos, no entanto, não foi afetado pelo espaçamento entre plantas. Este resultado está de acordo com os obtidos, em que os frutos no Ambiente 1, com menor incidência de radiação solar devido à tela termorrefletora, apresentaram tamanho igual ou superior aos observados no Ambiente 2. No entanto, os resultados obtidos diferem de HOLCMAN (2009), que não observou diferenças significativas nas dimensões dos frutos de cultivares do grupo minitomate (Sweet Million e Sweet Grape) entre ambiente com PEBD associado à tela termorrefletora e ambiente coberto com plástico difusor sem malhas de sombreamento.

Tabela 15: Dimensões médias dos frutos dos diferentes grupos de tomate em função dos ambientes estudados, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.

Grupo de tomate	Ambiente	Diâmetro equatorial (mm)		Diâmetro longitudinal (mm)	
		Média ⁽¹⁾	CV (%)	Média ⁽¹⁾	CV (%)
Minitomate	1	29,5a	8,23	31,6a	8,12
	2	27,8b		32,0a	
Italiano	1	49,7a	5,78	63,8a	8,12
	2	49,8a		65,7a	
Caqui	1	64,8a	4,07	51,4a	3,93
	2	62,1b		50,9a	

(1) médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.3.2. Massa média dos frutos

Os valores médios da massa dos frutos produzidos pelas diferentes cultivares avaliadas nos Ambientes 1 e 2 estão apresentados na Tabela 16. A análise de variância conjunta (Tabela 17) mostra que não houve efeito significativo da interação “cultivar x ambiente” em nenhum dos grupos de tomate.

Tabela 16: Massa média dos frutos das cultivares avaliadas nos diferentes ambientes protegidos, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.

Grupo de tomate	Cultivar	Massa (g)	
		Ambiente 1	Ambiente 2
Minitomate	TSV796	9,9	9,3
	TSV787	23,4	21,6
Italiano	Pizzadoro	88,2	89,5
	TSV780	86,4	87,6
Caqui	Inox	112,0	103,4
	Alambra	141,1	119,8

Tabela 17: Valores do teste F das análises de variância conjunta dos diferentes grupos de tomate para a massa média dos frutos.

Fonte de variação	Grupos de tomate		
	Minitomate	Italiano	Caqui
Cultivares	402,0 ^{***}	0,2 ^{ns}	34,5 ^{***}
Ambientes	3,4 ^{ns}	0,09 ^{ns}	14,9 ^{***}
Cultivares x Ambientes	0,9 ^{ns}	1,3 _x 10 ⁻⁴ ^{ns}	2,7 ^{ns}

ns = efeito não significativo; * efeito significativo a 5%; *** efeito significativo a 0,1%.

A comparação, por meio de teste de Tukey, entre as massas médias das cultivares dos diferentes grupos de tomate está apresentada na Tabela 18. As massas médias dos frutos das cultivares do grupo minitomate diferiram estatisticamente entre si, resultado esperado devido aos diferentes formatos de fruto dos genótipos avaliados. Os valores médios observados de ambas as cultivares do grupo minitomate apresentaram conformidade com as informações fornecidas pela empresa de sementes.

Os frutos das cultivares do grupo caqui também diferiram significativamente entre si, enquanto que os valores médios de massa dos frutos das cultivares do grupo italiano foram estatisticamente iguais.

SOBREIRA et al. (2010) avaliaram, em condições de ambiente protegido no município de Alegre/ES, a qualidade de sabor e outras características agrônômicas dos frutos de 33 acessos de tomate, sendo 15 pertencentes ao grupo minitomate e os demais ao grupo caqui. Os frutos do grupo minitomate apresentaram grande variação entre os diferentes acessos, com massas médias entre 2,7 e 37,3 g, assim como os frutos produzidos pelos acessos do grupo caqui, com variação de 14,3 a 212,0 g. No entanto, apenas os acessos do grupo minitomate CCAUFES 25, CCAUFES 64, CCAUFES 80, CCAUFES 81 eram comerciais, os quais apresentaram valores médios de massa dos frutos iguais a 13,4, 26,4, 12,2 e 2,7 g, respectivamente. HOLCMAN (2009), em ensaio realizado em ambientes protegidos, obteve frutos com massas médias iguais a 9,8 e 9,6 g para as cultivares do grupo minitomate Sweet Million e Sweet Grape, respectivamente. AZEVEDO et al. (2010), em cultivo realizado sob condições de campo, obtiveram valores médios da massa dos frutos das cultivares do grupo minitomate Super Sweet e Perinha Água Branca com variação de 7,2 a 7,9 g e de 5,9 a 8,5 g, respectivamente, em função dos diferentes sistemas de condução avaliados.

As massas médias obtidas para os frutos do grupo italiano estão coerentes aos valores obtidos por CARVALHO e TESSARIOLI NETO (2005). Os autores, durante cultivo em ambiente protegido com cobertura de PEBD em Piracicaba/SP, encontraram massa média dos frutos da cultivar Andréa, do grupo italiano, entre 73,6 e 83,5 g, variação dada em função do espaçamento e número de ramos empregados na condução. No entanto, SHIRAHIGE et al. (2010), ao estudarem o efeito do raleio de frutos em 6 cultivares do grupo italiano em condições de ambiente protegido, obtiveram valores de massa dos frutos entre 126,3 e 169,1 g, valores consideravelmente superiores aos obtidos neste experimento.

Em cultivo protegido, CHARLO et al. (2009) encontraram valor médio da massa dos frutos da cultivar Alambra igual a 96,8 g, valor próximo ao obtido neste trabalho. SANTOS et al. (2011), pelo contrário, ao avaliarem diversas cultivares do grupo caqui em condições de campo, obtiveram frutos maiores para a cultivar Alambra, com massa média igual a 120,8 g. Os autores ainda testaram outras 35 cultivares do grupo caqui, para as quais encontraram valores de massa média do fruto variando de 93,4 a 177,3 g. Em ambiente protegido do tipo túnel alto com cobertura plástica, GUALBERTO et al. (2007) avaliaram o desempenho de 9 cultivares do grupo caqui e obtiveram frutos com massas médias entre 134,0 e 176,0 g.

Tabela 18: Massa média dos frutos em função das cultivares estudadas.

Grupo de tomate	Cultivar	Massa (g)	
		Média ⁽¹⁾	CV (%)
Minitomate	TSV796	9,6b	13,96
	TSV787	22,6a	
Italiano	Pizzadoro	88,9a	17,41
	TSV780	90,0	
Caqui	Inox	107,7b	11,29
	Alambra	130,4a	

(1) médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Os ambientes promoveram efeito significativo sobre as cultivares do grupo caqui (Tabela 19). A massa média dos frutos dessas cultivares foi 13,4 % maior no Ambiente 1 em relação ao Ambiente 2.

As demais cultivares, pertencentes aos grupos minitomate e italiano, no entanto, não apresentaram diferenças entre os ambientes com relação à massa média dos frutos. Os frutos do grupo minitomate, embora tenham apresentado diâmetro equatorial maior no Ambiente 1, não foram estatisticamente maiores na variável massa média, efeito devido provavelmente ao maior coeficiente de variação da massa dos frutos em comparação às dimensões médias. HOLCMAN (2009) quantificou a massa dos frutos de cultivares do grupo minitomate produzidos em ambiente com cobertura de PEBD associada à tela termorrefletora e em ambiente com plástico difusor. Em consonância com os resultados no presente estudo, a autora não encontrou efeito significativo causado pelo sombreamento sobre a massa média dos frutos.

ROCHA (2007), no entanto, observou que o sombreamento proporcionado por diferentes telas teve reflexos sobre a massa dos frutos de tomates do grupo caqui e Santa Cruz, os quais apresentaram maiores médias quando comparados ao ambiente a céu aberto.

O excesso de radiação, condição frequente no Ambiente 2 cujos valores facilmente ultrapassavam o ponto de saturação do tomateiro (ROCHA, 2007 e PAPADOPOULOS e HAO, 1997), associado aos altos valores de temperatura e DPV do ar, pode ter ocasionado o aumento da taxa transpiratória da planta resultando em fechamento estomático e diminuição da fotossíntese (ANDRIOLO, 2000), com consequentes reflexos na produção e disponibilidade de fotoassimilados para os frutos, o que pode afetar seu tamanho.

HO (1996) destaca que além do suprimento de assimilados, a temperatura e o status de água na planta influenciam na taxa de expansão do fruto, afirmação coerente com os resultados observados por PEARCE et al. (1993).

ADAMS et al. (2001) avaliaram o efeito da temperatura sobre a produção de tomate. Os autores estudaram o desenvolvimento dos frutos da cultivar Liberto em quatro ambientes mantidos a diferentes temperaturas (14, 18, 22 e 26 °C). Os resultados indicaram frutos maiores no ambiente mantido a 18 °C, com massa média igual a 57,7 g, seguido pelos ambientes a 22, 26 e 18 °C, com massas iguais a 51,3, 23,9 e 18,3 g, respectivamente. MAX et al. (2009) observaram menor índice de frutos de tamanho não comercial em ambiente com resfriamento evaporativo frente a ambiente com ventilação natural/mecânica. Embora a redução de temperatura proporcionada pelo resfriamento evaporativo tenha sido pequena, os

autores citam que a polinização possivelmente foi favorecida, justificando a redução no índice de frutos não comerciais.

O efeito do DPV do ar sobre a massa média dos frutos de tomate foi estudado por LEONARDI et al. (2000). Os autores avaliaram a cultivar Raissa, pertencente ao grupo caqui, em ambientes protegidos mantidos a diferentes valores médios de DPV (1,6 e 2,2 kPa). Os resultados mostraram que os frutos produzidos sob condições de menor DPV foram estatisticamente maiores que os frutos das plantas submetidas a maiores DPV. Os autores atribuíram a diferença à maior transpiração do fruto causada pelos maiores valores de DPV, além do refluxo de água dos frutos para a haste devido à inversão do gradiente de potencial hídrico, efeito devido ao possível aumento da transpiração da planta no ambiente com maior DPV.

MAX et al. (2009) encontraram correlação positiva entre a temperatura média diária durante o período de antese (florescimento) e o número de frutos de tamanho não comerciais. Os autores observaram que temperaturas acima de 28 °C durante a antese tiveram reflexos sensíveis no aumento de frutos com tamanhos não comerciais.

Tabela 19: Massa média dos frutos dos diferentes grupos de tomate em função dos ambientes estudados, sendo: Ambiente 1 = PEED + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEED.

Grupo de tomate	Ambiente	Massa (g)	
		Média ⁽¹⁾	CV (%)
Minitomate	1	16,7a	13,96
	2	15,5a	
Italiano	1	87,3a	17,41
	2	88,6a	
Caqui	1	126,6a	11,29
	2	111,6b	

(1) médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

4.3.3. Teor médio de sólidos solúveis

O teor de sólidos solúveis é uma das principais propriedades que caracterizam o sabor do tomate (SOBREIRA et al., 2010), visto que é nesta fração que se encontram os açúcares e os ácidos (SHIRAHIGE et al., 2010). A Tabela 20 apresenta os teores médios de sólidos

solúveis dos frutos das cultivares avaliadas nos Ambientes 1 e 2. As análises de variância conjunta para os diferentes grupos de tomate estão sintetizadas pela Tabela 21. Não houve efeito significativo da interação “cultivar x ambiente” em nenhum dos grupos de tomate.

Tabela 20: Teor médio de sólidos solúveis dos frutos das cultivares avaliadas nos diferentes ambientes protegidos, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.

Grupo de tomate	Cultivar	°Brix	
		Ambiente 1	Ambiente 2
Minitomate	TSV796	7,6	7,4
	TSV787	6,8	7,1
Italiano	Pizzadoro	4,5	5,0
	TSV780	4,5	5,1
Caqui	Inox	4,0	4,6
	Alambra	3,4	4,1

Os teores médios de sólidos solúveis das cultivares do grupo minitomate foram, respectivamente, de 7,5 e 7,0 °Brix para as cultivares TSV796 e TSV797, médias estatisticamente diferentes entre si (Tabela 22). Esses valores são inferiores aos encontrados por HOLCMAN (2009), que obteve, em condições de ambiente protegido, valores médios de sólidos solúveis totais de 9,7 e 8,7 °Brix para as cultivares Sweet Grape e Sweet Million, respectivamente. No entanto, os valores encontrados foram superiores aos obtidos por SOBREIRA et al. (2010), que obtiveram valores médios de sólidos solúveis entre 1,8 e 6,6 °Brix, ao avaliarem 15 acessos do grupo minitomate em condições de ambiente protegido.

SHIRAHIGE et al. (2010) avaliariam o efeito do raleio de frutos em 6 cultivares do grupo italiano em ambiente protegido, para as quais encontraram teores de sólidos solúveis entre 4,1 e 4,9 °Brix, valores coerentes aos obtidos para as cultivares Pizzadoro e TSV780. Os resultados obtidos também estão de acordo com os observados por CARVALHO e TESSARIOLI NETO (2005), que avaliaram a cultivar Andréia em cultivo protegido.

Os frutos da cultivar Alambra apresentaram teor médio de sólidos solúveis baixo comparativamente ao valor obtido por CHARLO et al. (2009). Os autores observaram, sob condições de ambiente protegido, valor médio igual a 5,0 °Brix. A cultivar Inox apresentou

média de 4,3 °Brix, valor estatisticamente superior ao da cultivar Alambra (Tabela 22). SELEGUINI et al. (2006), durante cultivo protegido da cultivar do grupo caqui Duradouro, encontraram valores de sólidos solúveis superiores aos obtidos pelas cultivares testadas, com valores entre 4,5 e 4,7 °Brix, em função do espaçamento entre plantas e número de racemos.

Segundo GIORDANO et al. (2000), os valores médios de °Brix recebidos pela indústria de processamento no Brasil têm sido em torno de 4,5 °Brix, valor próximo aos encontrados para as cultivares dos grupos italiano e caqui estudadas. No entanto, o autor classificou esse valor como baixo e destaca que existem cultivares que possuem maior potencial genético, apresentando teores de sólidos solúveis próximos a 6,0 °Brix, valor também influenciado, além da genética, pela adubação, temperatura e irrigação (GIORDANO et al., 2000).

Tabela 21: Valores do teste F das análises de variância conjunta dos diferentes grupos de tomate para o teor de sólidos solúveis dos frutos.

Fonte de variação	Grupos de tomate		
	Minitomate	Italiano	Caqui
Cultivares	11,281 ^{**}	0,611 ^{ns}	35,337 ^{***}
Ambientes	0,059 ^{ns}	26,627 ^{***}	52,788 ^{***}
Cultivares x Ambientes	1,602 ^{ns}	0,300 ^{ns}	1,282 ^{ns}

ns = efeito não significativo; * efeito significativo a 5%; ** efeito significativo a 1%

*** efeito significativo a 0,1%.

Tabela 22: Teor médio de sólidos solúveis dos frutos em função das cultivares estudadas.

Grupo de tomate	Cultivar	°Brix	
		Média ⁽¹⁾	CV (%)
Minitomate	TSV796	7,5a	8,20
	TSV787	7,0b	
Italiano	Pizzadoro	4,7a	7,71
	TSV780	4,8a	
Caqui	Inox	4,3a	7,62
	Alambra	3,8b	

(1) médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Os ambientes estudados promoveram efeito significativo (Tabela 23) somente sobre os frutos das cultivares do grupo italiano e caqui, cujos teores médios de sólidos solúveis foram superiores no Ambiente 2. A redução do teor de sólidos solúveis devido ao emprego de malhas de sombreamento também foi observada por WADA et al. (2006) e LEONARDI et al. (2000). Contrariamente aos resultados obtidos, OTONI et al. (2012) não observaram variação significativa para cultivares do grupo caqui. HOLCMAN (2009), a exemplo do resultado obtido, não obteve variação no teor de sólidos solúveis de frutos do grupo minitomate em função do uso da tela termorrefletora.

A diferença de teor de sólidos solúveis dos frutos entre os ambientes pode ter como fatores determinantes a radiação solar e a umidade relativa, conforme relatado por YINLI et al. (2011). Os referidos autores observaram correlação positiva entre o teor de sólidos solúveis e a radiação solar, ou seja, o aumento da radiação solar provocou aumento do teor de sólidos solúveis, enquanto que a umidade relativa apresentou correlação negativa. MORETTI et al. (2000) também destacam que a alta intensidade luminosa está relacionada com maiores teores de açúcares nos frutos.

LEONARDI et al. (2000), em ensaio a fim de avaliar o efeito do déficit de pressão de vapor sobre a produção da cultivar Raissa, observou que a redução na massa fresca do fruto no ambiente com maiores valores de DPV está associada à uma significativa redução no conteúdo de água no fruto, no entanto, sem redução no peso seco dos mesmos, o que ocasionou como consequência a redução no teor de sólidos solúveis.

Tabela 23: Teor médio de sólidos solúveis dos frutos dos diferentes grupos de tomate em função dos ambientes estudados, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.

Grupo de tomate	Ambiente	° Brix	
		Média ⁽¹⁾	CV (%)
Minitomate	1	7,2a	8,20
	2	7,2a	
Italiano	1	4,5b	7,71
	2	5,1a	
Caqui	1	3,7b	7,62
	2	4,3a	

(1) médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

De forma geral, independentemente do ambiente protegido, o teor de sólidos solúveis pode ter sido influenciado pela fertirrigação. Não houve variação na formulação com a entrada da fase produtiva, de forma que não houve complementação, por exemplo, de potássio, conforme recomendado por diversos autores (CARVALHO et al., 2004; PIRES et al., 2009). Segundo CARVALHO et al. (2004), a deficiência de K pode inibir a biossíntese de açúcares, ácidos orgânicos e vitamina C e reduzir a porcentagem de sólidos solúveis no tomate.

4.3.4. Altura média das plantas

As Figuras 25, 26 e 27 representam, respectivamente, as curvas de crescimento das cultivares dos grupos minitomate, italiano e caqui, em função do número de dias após o transplante (DAT) das mudas. As comparações, por meio de testes de Tukey, das alturas médias das plantas entre cultivares e entre ambientes em função dos DAT, estão apresentadas nas Tabelas 24, 25 e 26, referentes aos grupos minitomate, italiano e caqui, respectivamente.

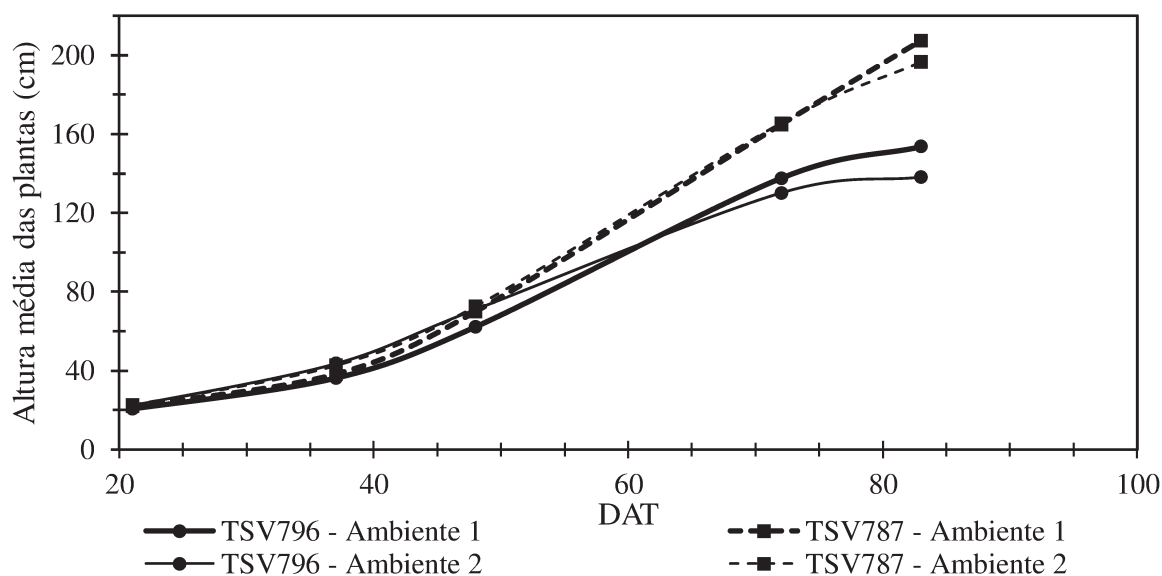


Figura 25: Altura média das plantas das cultivares do grupo minitomate nos ambientes estudados em função do número de dias após transplante (DAT), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.

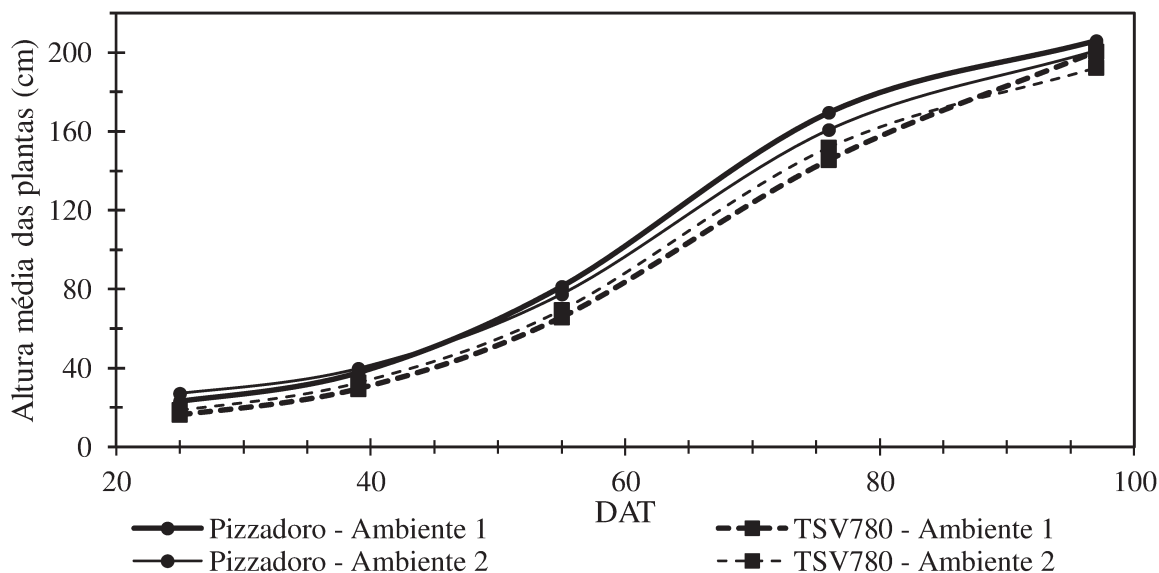


Figura 26: Altura média das plantas das cultivares do grupo italiano nos ambientes estudados em função do número de dias após transplântio (DAT), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletores e Ambiente 2 = PEBD.

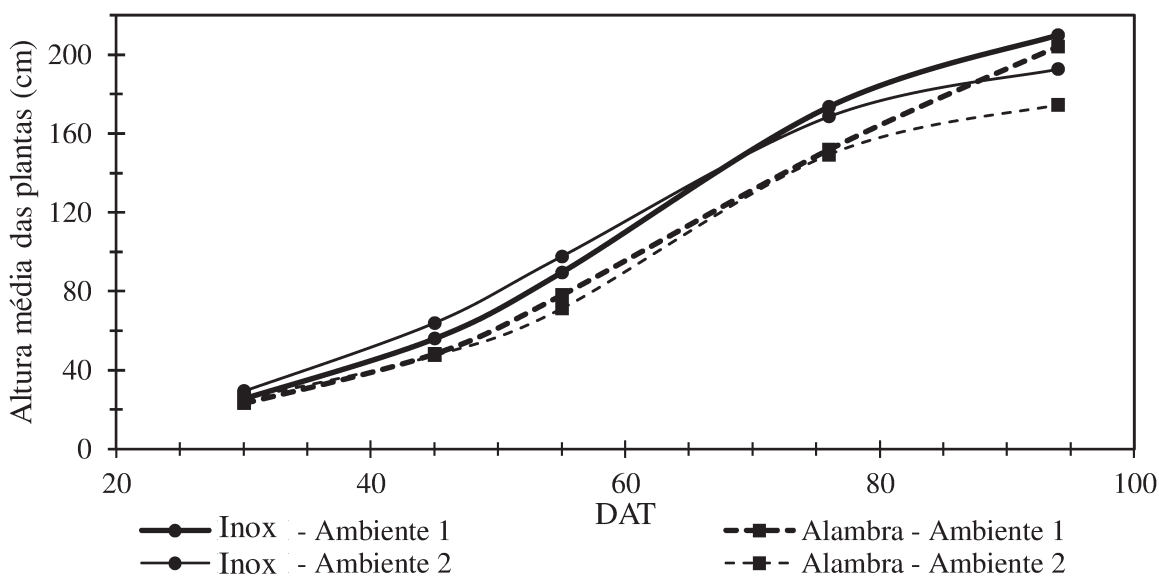


Figura 27: Altura média das plantas das cultivares do grupo caqui nos ambientes estudados em função do número de dias após transplântio (DAT), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletores e Ambiente 2 = PEBD.

Tabela 24: Altura média das plantas das cultivares do grupo minitomate nos ambientes estudados em função do número de dias após transplântio (DAT), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.

DAT	Cultivares ⁽¹⁾		Ambientes ⁽¹⁾		CV (%)
	TSV796	TSV787	1	2	
21	21,5a	22,3b	21,3a	22,4a	11,5
37	39,9a	40,4b	37,2b	43,0a	15,4
48	66,6b	71,3a	66,1b	71,8a	15,8
72	133,8b	165,1a	151,2a	147,8a	10,7
83	145,9b	201,9a	180,4a	167,3b	11,8

(1) médias seguidas de letras distintas na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 25: Altura média das plantas das cultivares do grupo italiano nos ambientes estudados em função do número de dias após transplântio (DAT), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.

DAT	Cultivares ⁽¹⁾		Ambientes ⁽¹⁾		CV (%)
	Pizzadoro	TSV780	1	2	
25	25,1a	17,4b	19,7b	22,8a	9,0
39	38,7a	31,0b	33,6a	36,2a	13,8
55	79,4a	67,6b	73,6a	73,5a	13,6
76	165,2a	148,7b	157,5a	156,3a	6,9
97	203,5a	196,4a	203,3a	196,6b	8,1

(1) médias seguidas de letras distintas na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 26: Altura média das plantas das cultivares do grupo caqui nos ambientes estudados em função do número de dias após transplântio (DAT), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD.

DAT	Cultivares ⁽¹⁾		Ambientes ⁽¹⁾		CV (%)
	Inox	Alambra	1	2	
30	27,3a	24,3b	24,2b	27,4a	10,9
45	59,8a	47,5b	52,0a	55,7a	13,1
55	93,6a	74,6b	83,8a	84,4a	13,5
76	171,0a	150,5b	162,6a	158,9a	7,5
94	201,3a	189,3b	207,0a	183,6b	7,2

(1) médias seguidas de letras distintas na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

As plantas das cultivares do grupo minitomate apresentaram alturas médias estatisticamente iguais nas comparações feitas nas primeiras idades, aos 21 e 37 DAT. No entanto, a análise aos 48 DAT mostra que a altura média das plantas da cultivar TSV787 ultrapassou a cultivar TSV796, diferença crescente com o avanço da idade das plantas, atingindo diferença de 56 cm aos 83 DAT. Esse comportamento pode ser justificado pelas características intrínsecas de crescimento das cultivares, dado que a cultivar TSV796 é de crescimento semi-indeterminado ao passo que a cultivar TSV787 apresenta crescimento indeterminado.

Entre as cultivares do grupo italiano, a cultivar Pizzadoro apresentou maiores valores médios de altura de planta nas primeiras idades analisadas (25, 39, 45 e 76 DAT). No entanto, aos 97 DAT, momento no qual as plantas atingiram o arame de condução, ambas as cultivares apresentaram alturas estatisticamente iguais. Já no caso do grupo caqui, as plantas da cultivar Alambra foram maiores em todas as idades analisadas (30, 45, 55, 76 e 94 DAT).

Com relação à influência dos ambientes sobre a altura das plantas, observa-se que para os três grupos de tomate as plantas no Ambiente 2 foram estatisticamente maiores nas primeiras idades avaliadas. No entanto, houve inversão desse comportamento com a idade e, nos três grupos de tomate, as plantas no Ambiente 1 foram maiores na última idade avaliada, momento em que ao menos uma das cultivares de cada grupo atingiu o arame de condução, ou seja, cerca de 2,0 m.

Diversos autores observaram plantas maiores em condições de maior sombreamento. OTONI et al. (2012) testou a influência de diferentes níveis de sombreamentos (0, 18, 30 e 50%) no desenvolvimento vegetativo e produção de tomateiros do grupo caqui, Dominador e Giovanna. O autor observou que a altura das plantas aumentou conforme a elevação do nível de sombreamento. SELEGUINI et al. (2006), durante cultivo protegido da cultivar do grupo caqui Duradouro, observaram aos 70 DAT aumento linear da altura das plantas com a redução do espaçamento. CARDOSO (2007), ao estudar o efeito da densidade de plantio da cultivar do grupo caqui Rebeca, encontrou maior altura média de plantas para maiores densidades de plantio.

A redução da radiação solar promovida pelo Ambiente 1 pode ter proporcionado efeito de estiolamento nas plantas, ocasionando plantas com alturas maiores neste ambiente. Os maiores valores de temperatura também podem promover reflexos no crescimento das

plantas (CALIMAN et al., 2005). GIORDANO et al. (2000) destacam que, em condições de temperaturas elevadas, as plantas apresentam menor porte.

Além do mais, a elevada evapotranspiração da cultura sob condições de altas temperaturas, baixa umidade relativa e excesso de radiação solar pode promover o fechamento estomático, consequência da resposta fisiológica da planta para reduzir a perda excessiva de água. O fechamento estomático, por sua vez, reduz a fotossíntese e afeta o crescimento da planta (ANDRIOLO, 2000).

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no presente estudo, conclui-se que:

- a) O emprego da tela termorrefletora com manejo de abertura/fechamento reduziu significativamente o valor médio de radiação solar global e radiação fotossinteticamente ativa;
- b) Ambos os ambientes protegidos promoveram aumento da temperatura do ar comparativamente ao ambiente externo;
- c) O emprego da tela termorrefletora proporcionou frutos do grupo minitomate com diâmetro equatorial maior, no entanto, sem diferenças no diâmetro equatorial, massa média e teor de sólidos solúveis;
- d) O emprego da tela termorrefletora não apresentou influencia sobre as dimensões (diâmetros equatorial e longitudinal) e massa média dos frutos do grupo italiano. O teor de sólidos solúveis sofreu redução com o uso da tela termorrefletora;
- e) O emprego da tela termorrefletora proporcionou frutos do grupo caqui com maior diâmetro equatorial e maior massa média, enquanto o diâmetro longitudinal não sofreu variação e o teor de sólidos solúveis sofreu redução;
- f) O emprego da tela termorrefletora proporcionou plantas maiores para as cultivares dos três grupos de tomate estudados (minitomate, italiano e caqui).

6. SUGESTÕES

Com base nos resultados obtidos, são feitas algumas sugestões relativas a alterações construtivas nos ambientes protegidos a fim de melhorar a troca gasosa por meio de ventilação natural:

- a) Empregar ambientes protegidos com proporção entre laterais e frontais diferente, evitando ambientes com formato próximo a quadrado, de forma a reduzir as distâncias entre as áreas de entrada e saída do vento, facilitando a troca gasosa com o ambiente externo;
- b) Incorporar aberturas zenitais ao longo das cumeeiras como forma de possibilitar a troca gasosa por meio do processo convectivo;
- c) Utilizar apenas 1 tela antiafídeo como fechamento lateral dos ambientes protegidos.

Também sugere-se estudar a viabilidade de outros sistemas de controle microclimático, como ventilação mecânica e resfriamento evaporativo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, S. R.; COCKSHULL, K. E., CAVE, R. J. Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. **Annals of Botany**, v. 88, p. 869-877, 2001.
- ALBRIGHT, L. D. **Environment control for animals and plants**. St. Joseph: ASAE, 1990. 453 p.
- AL-HELAL, I. M.; ABDEL-GHANY, A. M. Responses of plastic shading nets to global and diffuse PAR transfer: Optical properties and evaluation. **NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences**, v. 57, p. 125-132, 2010.
- ALVARENGA, M. A. R. Exigências climáticas. In: ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. Lavras: Ed. UFLA, 2004. 393 p.
- ALVARENGA, M. A. R. Origem, botânica e descrição da planta. In: ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. Lavras: Ed. UFLA, 2004. 393 p.
- ALVARENGA, M.A.R. **Tomate: Produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. 2 ed. 2013. 455p.
- ANDRIOLO, J.L. Fisiologia da produção de hortaliças em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v.18, p.26-33, suplemento, 2000.
- ANDRIOLO, J.L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: UFSM, 1999. 142p.
- ANDRIOLO, J.L. **Olericultura geral: princípios e técnicas**. Santa Maria: UFSM, 2002. 158p.
- AZEVEDO, V. F.; ABOUD, A. C. S.; CARMO, M. G. F. Row spacing and pruning regimes on organically grown cherry tomato. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 4, p. 389-394, out./dez., 2010.
- BAEZA, E.; PÉREZ-PARRA, J. J.; LÓPEZ, J. C.; GÁZQUEZ, J. C.; MONTERO, J. I. Numerical analysis of buoyancy driven natural ventilation in multi-span type greenhouses. **Acta Horticulturae**, v. 797, p. 111-116, 2008.
- BARTZANAS, T.; BOULARD, T.; KITTAS, C. Numerical simulation of the airflow and temperature distribution in a tunnel greenhouse equipped with insect-proof screen in the openings. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 34, p. 207-221, 2002.
- CALIMAN, F. R. B.; SILVA, D. J. H.; FONTES, P. C. R.; STRINGHETA, P. C.; MOREIRA, G. R.; CARDOSO, A. A. Avaliação de genótipos de tomateiro cultivados em ambiente protegido e em campo nas condições edafoclimáticas de Viçosa. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 2, p. 255-259, abr./jun., 2005.

CARDOSO, F. B. **Produtividade e qualidade de tomate com um e dois cachos em função da densidade de plantio, em hidroponia**. 49 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

CARVALHO, J. G.; BASTOS, A. R. R.; ALVARENGA, M. A. R. Nutrição mineral e adubação. In: ALVARENGA, M. A. R. Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia. Lavras: Ed. UFLA, 2004. 393 p.

CARVALHO, L. A.; TESSARIOLI NETO, J. Produtividade de tomate em ambiente protegido, em função do espaçamento e número de ramos por planta. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 4, p. 986-989, out./dez., 2005.

CASTILLA, N. **Invernaderos de plástico: tecnología y manejo**. Madrid: Mundi-Prensa, 2005. 462 p.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA. **Clima dos Municípios Paulistas**. <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_495.html>, 26/02/2012.

CERMEÑO, Z. S. **Construcción de invernaderos**. Madri: Ediciones Mundi-Prensa, 1994. 445 p.

CHARLO, H. C. O.; SOUZA, S. C.; CASTOLDI, R.; BRAZ, L. T. Desempenho e qualidade de frutos de tomateiro em cultivo protegido com diferentes números de hastes. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 144-149, abr./jun., 2009.

COMPAGNON, A. M.; GAVA, R.; DALPASQUALE, V. A.; MARTINS, C. H. **Psicro 2009: Programa Computacional para Determinação das Propriedades Psicrométricas do Ar**. 2009.

COMPANHIA DE ENTREPÓSITOS E ARMAZÉNS GERAIS DE SÃO PAULO. Centro de Qualidade em Horticultura. Programa Brasileiro para Modernização da Horticultura: Normas de classificação de tomates. São Paulo, 2003. (CQH Doc. 26)

COSTA, E.; LEAL, P. A. M. Medidas radiométricas em casas de vegetação com cobertura plástica na região de Campinas – SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 448-457, 2011.

COSTA, E.; LEAL, P. A. M. Produção de alface hidropônica em três ambientes de cultivo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 358-369, 2009.

COSTA, E.; LEAL, P. A. M.; CARMO JR., R. R. Modelo de simulação da temperatura e umidade relativa do ar no interior de estufa plástica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 57-67, 2004.

DRAKE, B. G.; GONZÁLEZ-MELER, M. A.; LONG, S. P. More efficient plants: a consequence of rising atmospheric CO₂?. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 48, p. 609-639, 1997.

DUARTE, L. A.; SCHOFFEL, E. R.; MENDEZ, M. E. G.; SCHALLENBERGER, E. Alterações na temperatura do ar mediante telas nas laterais de ambientes protegidos cultivados com tomateiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande/PB, v. 15, n. 2, p. 148-153, 2011.

FAGAN, E. B.; GIEHL, R. F. H.; EISERMANN, A. C.; MEDEIROS, S. L. P.; BRACKMANN, A.; SIMON, J.; JASNIEWICZ, L. R.; SANTOS, O. S. Expansão de frutos de meloeiro hidropônico em dois intervalos entre irrigações. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.12, n.3, p. 257-297, jul./set., 2006.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Protected cultivation in the Mediterranean climate. Roma: FAO, 1990. 313p. (Plant Production and Protection Paper, 90).

FARIAS, J. R. B.; BERGAMASCHI, H.; MARTINS, S. R.; BERLATO, M. A. Efeito da cobertura plástica sobre a radiação solar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 31-36, 1993.

FATNASSI, H.; BOULARD, T.; BOUIRDEN, L. Simulation of climatic conditions in full-scale greenhouse fitted with insect-proof screens. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 118, p. 97-111, 2003.

FERNANDES, C.; ARAÚJO, J. A. C.; CORÁ, J. E. Impacto de quatro substratos e parcelamento da fertirrigação na produção de tomate sob cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 559-563, dez., 2002.

FERREIRA, S. M. R.; FREITAS, R. J. S.; LAZZARI, E. N. Padrão de identidade e qualidade do tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) de mesa. **Ciência Rural**, v. 34, n. 1, p. 329-335, jan./fev., 2004.

FIELD, C. B.; JACKSON, R. B.; MOONEY, H. A. Stomatal responses to increased CO₂: implications from the plant to the global scale. **Plant, Cell and Environment**, v. 18, p. 1241-1225, 1995.

FINCH, D. A.; BAILEY, W. G.; MCARTHUR, L. J. B.; NASITWITWI, M. Photosynthetically active radiation regimes in a southern African savanna environment. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 122, p. 229-238, 2004.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAOSTAT. < <http://faostat.fao.org/>>, 12/02/2013.

FRISINA, V. A. **Modelagem das radiações global, difusa e fotossinteticamente ativa em ambiente protegido e suas relações com o crescimento e produtividade da cultura de pimentão (*Capsicum annuum* L.)**. 177 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Julio Mesquita Filho”, Botucatu, 2002.

GARCÍA, M. L.; MEDRANO, E.; SÁNCHEZ-GUERRERO, M. C.; LORENZO, P. Climatic effects of two cooling systems in greenhouses in the Mediterranean area: external mobile shading and fog system. **Biosystems Engineering**, v. 108, p. 133-143, 2011.

GENT, M. P. N. Effect of degree and duration of shade on quality of greenhouse tomato. **HortScience**, v. 42, n. 3, p. 514-520, 2007.

GEOOLA, F.; KASHTI, Y.; LEVI, A.; BRICKMAN, R. A study of the overall heat transfer coefficient of greenhouse cladding materials with thermal screens using the hot box method. **Polymer Testing**, v. 28, p. 470-474, 2009.

GIORDANO, L. B.; RIBEIRO, C. S. C. Origem, botânica e composição química do fruto. In: SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. (org.). **Tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia/Embrapa Hortaliças, 2000. 168 p.

GIORDANO, L. B.; SILVA, J. B. C. Clima e época de plantio. In: SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. (org.). **Tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia/Embrapa Hortaliças, 2000. 168 p.

GIORDANO, L. B.; SILVA, J. B. C.; BARBOSA, V. Escolha de cultivares e plantio. In: SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. (org.). **Tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia/Embrapa Hortaliças, 2000. 168 p.

GRANDE, L.; LUZ, J. M. Q.; MELO, B.; LANA, R. M. Q.; CARVALHO, J. O. M. O cultivo protegido de hortaliças em Uberlândia-MG. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 2, p. 241-244, abr./jun., 2003.

GUALBERTO, R.; OLIVEIRA, P. S. R.; GUIMARAES, A. M. Desempenho de cultivares de tomateiro para mesa em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, vol. 25, n. 2, p. 244-246, abr./jun., 2007.

GUISELINI, C. **Microclima e produção de gérbera em ambientes protegidos com diferentes tipos de cobertura**. 71 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

GUISELINI, C.; SENTELHAS, P. C.; PANDORFI, H.; HOLCMAN, E. Manejo da cobertura de ambientes protegidos: radiação solar e seus efeitos na produção da gérbera. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande/PB, v. 14, n. 6, p. 645-652, 2010.

HAHN, F. Fuzzy controller decreases tomato cracking in greenhouses. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 77, p. 21-27, 2011.

HASSON, A. M. Radiation components over bare and planted soils in a greenhouse. **Solar Energy**, v. 44, n. 1, p. 1-6, 1990.

HELLICKSON, M. A.; WALKER, J. N. **Ventilation of agricultural structures**. St. Joseph: ASAE, 1983. 372 p.

HO, L. C. The mechanism of assimilate partitioning and carbohydrate compartmentation in fruit in relation to the quality and yield of tomato. **Journal of Experimental Botany**, v. 47, p. 1239-1243, 1996.

HOLCMAN, E. **Microclima e produção de tomate tipo cereja em ambientes protegidos com diferentes coberturas plásticas**. 128 p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

HOLCMAN, E.; SENTELHAS, P. C. Microclimate under different shading screens in greenhouses cultivated with bromeliads. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande/PB, v. 16, n. 8, p. 858-863, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Lavoura temporária 2011. <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/>>, 10/02/2013.

JARVIS, A. J.; MANSFIELD, T. A.; DAVIES, W. J. Stomatal behaviour, photosynthesis and transpiration under rising CO₂. **Plant, Cell and Environment**, v. 22, p. 639-648, 1999.

JOLLIET, O.; BAILEY, B. J. The effect of climate on tomato transpiration in greenhouses: measurements and models comparison. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 58, p. 43-62, 1992.

KITAYA, Y.; SHIBUYA, T.; YOSHIDA, M.; KIYOTA, M. Effects of air velocity on photosynthesis of plant canopies under elevated CO₂ levels in a plant culture system. **Advances in Space Research**, v. 34, p. 1466-1469, 2004.

KITAYA, Y.; TSURUYAMA, J.; SHIBUYA, T.; YOSHIDA, M.; KIYOTA, M. Effects of air current speed on gas exchange in plant leaves and plant canopies. **Advances in Space Research**, v. 31, n. 1, p. 177-182, 2003.

KITTAS, C.; BAILLE, A.; GIAGLARAS, P. Influence of covering material and shading on the spectral distribution of light in greenhouse. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 7, p. 341-351, 1999.

LAKSO, A. N.; BIERHUIZEN, J. F.; MARTAKIS, G. F. P. Light responses of photosynthesis and transpiration of two tomato cultivars under ambient and altered CO₂ e O₂. **Scientia Horticulturae**, v. 23, p. 119-128, 1984.

LEITE, C. A. **Utilização de malhas coloridas na produção de flores de alta, média e baixa exigência em radiação solar**. 116 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola, área de Água e Solo) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

LEONARDI, C.; GUICHARD, S.; BERTIN, N. High vapour pressure deficit influences growth, transpiration and quality of tomato fruits. **Scientia Horticulturae**, v. 84, p. 285-296, 2000.

LICOR. Environmental research systems: Light measurement. <<http://www.licor.com/env/products/light>>, em 01/02/2013.

LOPES, M. C.; STRIPIARI, P. C. A cultura do tomateiro. In: GOTO, R.; TIVELLI, S. W. (Ed.). **Produção de hortaliças em ambiente protegido**. São Paulo: UNESP, 1998. p. 257-319.

MAJDOUBI, H.; BOULARD, T.; FATNASSI, H.; BOUIRDEN, L. Airflow and microclimate patterns in a one-hectare canary type greenhouse: an experimental and CFD assisted study. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, p. 1050-1062, 2009.

MAKISHIMA, N.; CARRIJO, O.A. **Cultivo protegido do tomateiro**. 20 p. Circular Técnica – EMBRAPA Hortaliças, Dez, 1998.

MAX, J. F. J.; HORST, W. J.; MUTWIWA, U. N.; TANTAU, H. J. Effects of greenhouse cooling on growth, fruit yield and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in a tropical climate. **Scientia Horticulturae**, v. 122, p. 179-186, 2009.

MONDIN, M. **Influência de espaçamentos, métodos de plantio e de sementes nuas e peletizadas, na produção de duas cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.)**. 59 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1988.

MORETTI, C. L.; CALBO, A. G.; HENZ, G. P. Fisiologia e manejo pós-colheita. In: SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. (org.). **Tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia/Embrapa Hortaliças, 2000. 168 p.

OREN-SHAMIR, M.; GUSSAKOVSKY, E. E.; SHPIEGEL, E.; NISSIM-LEVI, A.; RATNER, K.; OVADIA, R.; GILLER, Y. E.; SHAHAK, Y. Coloured shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 76, n. 3, p. 353-361, 2001.

OTONI, B. S.; MOTA, W. F.; BELFORT, G. R.; SILVA, A. R. S.; VIEIRA, J. C. B.; ROCHA, L. S. Produção de híbridos de tomateiro cultivados sob diferentes porcentagens de sombreamento. **Revista Ceres**, v. 59, n. 6, p. 816-825, nov./dez., 2012.

PANDORFI, C. G. **Manejo da cobertura de ambientes protegidos: alterações micrometeorológicas e efeitos na produção e na qualidade da gérbera**. 96 p. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

PAPADOPOULOS, A. P.; HAO, X. Effects of three greenhouse cover materials on tomato growth, productivity, and energy use. **Scientia Horticulturae**, v. 70, p. 165-178, 1997.

- PEARCE, B. D.; GRANGE, R. I.; HARDWICK, K. The growth of young tomato fruit. I. Effects of temperature and irradiance on fruit grown in controlled environments. **Journal of Horticultural Science e Biotechnology**, v. 68, n. 1, p. 1-12, 1993.
- PEZZOPANE, J. E. M.; OLIVEIRA, P. C.; REIS, E. F.; LIMA, J. S. S. Alterações microclimáticas causadas pelo uso de tela plástica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 9-15, 2004.
- PEZZOPANE, J. E. M.; PEDRO JUNIOR, M. J.; ORTOLANI, A. A. Modificações microclimáticas provocadas por estufa com cobertura plástica. **Bragantia**, 1995, v. 54, n. 2, p. 419-425, 1995.
- PIRES, R. C. M.; FURLANI, P. R.; SAKAI, E.; LOURENÇÃO, A. L.; SILVA, E. A.; TORRE NETO, A.; MELO, A. M. T. Desenvolvimento e produtividade do tomateiro sob diferentes frequências de irrigação em estufa. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. 228-234, 2009.
- PURQUERIO, L. F. V. **Crescimento, produção e qualidade de rúcula (*Eruca sativa* Miller) em função do nitrogênio e da densidade de plantio**. 138 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Julio Mesquita Filho”, Botucatu, 2005.
- RETO, M. A. S. Plásticos propõem aos agricultores explorar seus benefícios além do simples abrigo do tipo guarda-chuva. **Revista Plástico Moderno**, v. 425, mar., 2010.
- RICO-GARCÍA, E.; LOPEZ-CRUZ, I. L.; HERRERA-RUIZ, G.; SOTO-ZARAZÚA, G. M.; CASTAÑEDA-MIRANDA, R. Effect of temperature on greenhouse natural ventilation under hot conditions: computational fluid dynamics simulation. **Journal of Applied Sciences**, v. 8, n. 24, p. 4543-4551, 2008.
- ROCHA, R. C. **Uso de diferentes telas de sombreamento no cultivo protegido do tomateiro**. 105 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Julio Mesquita Filho”, Botucatu, 2007.
- SÁNCHEZ-GUERRERO, M. C.; LORENZO, P.; MEDRANO, E.; CASTILLA, N.; SORIANO, T.; BAILLE, A. Effect of variable CO₂ enrichment on greenhouse production in mild winter climates. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 132, p. 244-252, 2005.
- SANTOS, F. B.; RIBEIRO, A.; SIQUEIRA, W. J.; MELO, A. M. T. Desempenho agrônômico de híbridos F₁ de tomate de mesa. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 3, p. 304-310, jul./set., 2011.
- SCARANARI, C.; LEAL, P. A. M.; MAZZAFERA, P. Shading and periods of acclimatization of micropropagated banana plantlets cv. Grande Naine. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 66, n. 3, p. 331-337, 2009.

SCARANARI, C.; LEAL, P. A. M.; PELLEGRINO, G. Q. Estudo de simulações de microclimas em casas de vegetação visando à aclimação de mudas micropropagadas de bananeira cv Grande Naine. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 1001-1008, 2008.

SELEGUINI, A.; SENO, S.; FARIA JÚNIOR, M. J. A. Espaçamento entre plantas e número de racimos para tomateiro em ambiente protegido. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, n. 3, p. 359-363, jul./set., 2006.

SETHI, V. P.; SHARMA, S. K. Survey of cooling technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. **Solar Energy**, v. 81, p. 1447-1459, 2007.

SHIBUYA, T.; KOZAI, T. Effects of air current velocity on net photosynthetic and evapotranspiration rates of a tomato plug sheet under artificial light. **Environment Control in Biology**, v. 36, n. 3, p. 131-136, 1998.

SHIRAHIGE, F. H. **Produtividade e qualidade de híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) dos segmentos Santa Cruz e Italiano em função do raleio de frutos, em ambiente protegido**. 80 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

SHIRAHIGE, F. H.; MELO, A. M. T.; PURQUERIO, L. F. V.; CARVALHO, C. R. L.; MELO, P. C. T. Produtividade e qualidade de tomates Santa Cruz e Italiano em função do raleio de frutos. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 3, p. 292-298, jul./set., 2010.

SOBREIRA, F. M.; ALMEIDA, G. D.; COELHO, R. I.; RODRIGUES, R.; MATTA, F. P. Qualidade de sabor de tomates dos tipos salada e cereja e sua relação com caracteres morfoagronômicos dos frutos. **Ciência e Agrotecnologia**, 2010, v. 34, n. 4, p. 1015-1023, jul./ago., 2010.

SOL PACK. **Linha Sol Pack Hortalças**.

<http://www.solpack.com.br/catalogos/hortalicas/hortalicas_flash/>, em 05/03/2013.

STANGHELLINI, C.; DAI, J.; KEMPKES, F. Effect of near-infrared-radiation reflective screen materials on ventilation requirement, crop transpiration and water use efficiency of a greenhouse rose crop. **Biosystems Engineering**, v. 110, p. 261-271, 2011.

STEIDLE NETO, A. J.; ZOLNIER, S.; MAROUELLI, W. A.; CARRIJO, O. A. Razão entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global no cultivo do tomateiro em casa-de-vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande/PB, v.12, n.6, p. 626-631, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.

TEITEL, M. The effect of screened openings on greenhouse microclimate. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 143, p. 159-175, 2007.

TEITEL, M.; ZISKIND, G.; LIRAN, O.; DUBOVSKY, V.; LETAN, R. Effect of wind direction on greenhouse ventilation rate, airflow patterns and temperature distributions. **Biosystems Engineering**, v. 101, p. 351-369, 2008.

THIMIJJAN, R.W.; HEINS, R.D. Photometric, radiometric and quantum light units of measure: a review of procedures for interconversion. **HortScience**, v. 18, n. 6, p.818-822, 1983.

THONGBAI, P.; KOZAI, T; OHYAMA, K. CO₂ and air circulation effects on photosynthesis and transpiration of tomato seedlings. **Scientia Horticulturae**, v. 126, p. 338-344, 2010.

VÁSQUEZ, M. A. N.; FOLEGATTI, M. V.; DIAS, N. S.; SILVA, C. R. Efeito do ambiente protegido cultivado com melão sobre os elementos meteorológicos e sua relação com as condições externas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 137-143, 2005.

WADA, T.; IKEDA, H.; MATSUSHITA, K.; KAMBARA, A.; HIRAI, H.; ABE, K. Effects of shading in summer on yield and quality of tomatoes grown on a single-truss system. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, v. 75, n. 1, p. 51-58, 2006.

WANG, S.; BOULARD, T.; HAXAIRE, R. Air speed profiles in a naturally ventilated greenhouse with a tomato crop. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 96, p. 181-188, 1999.

YINLI, L.; LIN XINGJUN, W. Z.; INOSAKO, K.; YAMADA, S.; YANMEI, B.; INOUE, M. The correlation between microenvironment and tomato fruit quality in greenhouse. In: International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks, p. 1779-1782, 2011.

ZISKA, L. H.; HOGAN, K. P.; SMITH, A. P.; DRAKE, B. G. Growth and photosynthetic response of nine tropical species with long-term exposure to elevated carbon dioxide. **Oecologia**, v. 86, p. 383-389, 1991.