

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE ABRIGOS PARA CULTIVO
PROTEGIDO: INFLUÊNCIA DO MATERIAL DE COBERTURA
SOBRE VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS

Max José de Araujo Faria Junior

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia,
UNESP, Câmpus de Ilha Solteira, para
obtenção do Título de Livre-Docente na
Disciplina de Construções e Instalações
Rurais.

1210001239



ILHA SOLTEIRA - SP
Junho de 2001



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE ABRIGOS PARA CULTIVO
PROTEGIDO: INFLUÊNCIA DO MATERIAL DE COBERTURA
SOBRE VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS

MAX JOSÉ DE ARAUJO FARIA JUNIOR

1210001239



Tese apresentada à Faculdade de Engenharia, UNESP, Câmpus de Ilha Solteira, para obtenção do Título de Livre-Docente na Disciplina de Construções e Instalações Rurais.

Proc. 040/2001 - NPD 118/01

UNESP - "CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA"	
SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO	
DATA DE CHECADA	DATA DE TÓRNO
<i>02/10/01</i>	<i>30/10/01</i>
LIBERADO POR	TERMO
<i>Ailza</i>	<i>Te. 1239</i>
AQUIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
<i>hloação</i> <i>autor</i> <i>R\$ 10,00</i>	

ILHA SOLTEIRA - SP

Junho de 2001

0304003
CONSTRUÇÕES RURAIS E
AMBIÊNCIA



Faria Junior, Max José de Araujo
F224c Contribuição ao estudo de abrigos para cultivo protegido : influência do material
de cobertura sobre variáveis microclimáticas / Max José de Araujo Faria Junior. -- Ilha
Solteira, 2001

x, 104p. : il.

Tese (livre-docência)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de
Ilha Solteira. Disciplina de Construções e Instalações Rurais.

Bibliografia: p.92-102

1. Ambiente protegido 2. Estufa 3. Material de cobertura 4. Microclima 5. Ambiência

À minha querida esposa

MÁRCIA,

pelo amor, carinho, companheirismo e, sobretudo, compreensão
em nossa caminhada e nossas conquistas

e

aos nossos amados filhos

VICTOR e FLÁVIO,

nosso precioso tesouro e sentido de nossas vidas

DEDICO

Aos meus queridos pais

MAX e SÔNIA

por sua luta, amizade e, principalmente, amor e ensinamentos

e

aos meus sogros

HENRIQUE e SHEYLA

pela amizade e apoio

OFEREÇO

Aos meus sobrinhos

GUILHERME, BRUNO e BEATRIZ,

cujos momentos de convívio não tem preço, por sua felicidade inocente e
contagante, de que somente as crianças são possuidoras,

e

à minha avó

ANA,

pelo seu carinho e história de vida

MINHA GRATIDÃO

À minha sobrinha

GABRIELA (*in memoriam*)

pequena flor que a todos encantou em sua breve passagem, para sempre
marcada em nossas memórias e corações,

POR SUA LUTA PELA VIDA,

MINHA HOMENAGEM



AGRADECIMENTOS

Aos meus irmãos (PAULO SÉRGIO, RITA, MAURÍCIO e ANA CECÍLIA) e cunhados (MÔNICA, IVO, MARCO, DANIELA, ANA CLÁUDIA, HENRIQUE e ROSÂNGELA), pela amizade que nos une e constante incentivo.

Ao professor SALATIÉR BUZETTI, por responder pela Coordenação do Programa de Pós-graduação em Agronomia, nos permitindo, desta forma, condições de dedicação integral na elaboração da tese.

Ao professores LUIZ DE SOUZA CORREA e SHIZUO SENO, pelo convite para participação em projetos de pesquisa, por eles coordenados, dos quais resultou parte deste trabalho.

Ao professor RICARDO ANTONIO FERREIRA RODRIGUES, pelas sugestões.

Aos engenheiros agrônomos RERISON CATARINO DA HORA e ROBERTO ALEXANDRO ROSSETO DE SOUZA, alunos do Programa de Pós-graduação em Agronomia, pelo apoio na realização do trabalho.

Ao Departamento de Ciências do Solo e Engenharia Rural, da Faculdade de Engenharia, Câmpus de Ilha Solteira, pela oportunidade oferecida.

À FAPESP, pelos auxílios financeiros concedidos, que possibilitaram a realização dos trabalhos.

Principalmente, a **DEUS**, pelas conquistas que nos permitiu até o momento.



ÍNDICE

RESUMO	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
3. USO DE TELAS DE SOMBREAMENTO EM ESTUFA COBERTA COM FILME DE POLIETILENO: EFEITOS SOBRE O MICROCLIMA	19
3.1. OBJETIVOS	19
3.2. MATERIAL E MÉTODO	19
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
3.3.1. Radiação solar	23
3.3.2. Temperatura do ar	30
3.3.3. Variáveis psicrométricas - umidade relativa do ar e déficit de saturação de vapor d'água	36
3.4. CONCLUSÕES	46
4. UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES FILMES PLÁSTICOS COMO COBERTURA DE ABRIGOS PARA CULTIVO PROTEGIDO, EM ILHA SOLTEIRA (SP)	47
4.1. OBJETIVOS	47
4.2. MATERIAL E MÉTODO	47
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	50



4.3.1. Radiação solar	50
4.3.2. Temperatura do ar	55
4.3.3. Variáveis psicrométricas - umidade relativa do ar e déficit de saturação de vapor d'água	60
4.4. CONCLUSÕES	64
5. MODIFICAÇÕES MICROCLIMÁTICAS SOB TELADOS COM DIFERENTES MALHAS, EM SELVÍRIA (MS)	66
5.1. OBJETIVOS	66
5.2. MATERIAL E MÉTODO	66
5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
5.3.1. Radiação	69
5.3.1.1. Radiação global	69
5.3.1.2. Radiação fotossinteticamente ativa	75
5.3.2. Temperatura do ar	81
5.3.3. Umidade relativa do ar e déficit de saturação de vapor d'água	84
5.4. CONCLUSÕES	89
6. CONCLUSÕES GERAIS	91
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
ABSTRACT	103



RESUMO

Neste trabalho, estão relatados os resultados de três experimentos, em que se estudou o efeito de diferentes materiais de cobertura sobre o microclima interno de abrigos para cultivo protegido.

No primeiro, conduzido em Ilha Solteira (SP), entre 02/10/1999 e 16/08/2000, estudou-se o comportamento de variáveis microclimáticas em estufa sem sombreamento, em estufa com sombreamento de 18% (tela plástica preta aplicada diretamente sobre o filme plástico) e em campo aberto. Foram determinados os valores médios, máximos e mínimos de temperatura e umidade relativa do ar; médias de déficit de saturação de vapor d'água e totais diários de radiação solar, em cada ambiente. Foram observadas reduções sensíveis nos níveis de radiação no interior abrigos, principalmente, naquele com tela de sombreamento e foram estabelecidas as relações entre a disponibilidade de radiação no abrigos e em campo aberto. Não foram encontradas diferenças marcantes, entre os ambientes, nas demais variáveis climáticas estudadas, à exceção das temperaturas máximas que se apresentaram ligeiramente superiores em ambiente protegido.



No segundo experimento, avaliou-se o ambiente interno de estufas cobertas com filme térmico difusor de luz e com filme de polietileno de baixa densidade, comparado ao campo aberto, em Ilha Solteira (SP), no período de 19/08/2000 a 20/05/2001. Foram determinados os valores médios, máximos e mínimos de temperatura e umidade relativa do ar; médias de déficit de saturação de vapor d'água e totais diários de radiação solar, em cada ambiente. De modo geral, as maiores alterações microclimáticas em ambiente protegido ocorreram com as temperaturas máximas e umidades relativas mínimas, além das significativas reduções no aporte de radiação global, em comparação ao campo aberto. O filme térmico difusor de luz reduziu a disponibilidade de radiação global em 16,2%, em termos médios, em relação à obtida no abrigo coberto com filme convencional de polietileno.

No terceiro experimento, caracterizou-se o microclima sob telados com diferentes malhas (2x2 mm e 2x1 mm), em comparação ao campo aberto, entre 18/10/2000 e 15/05/2001, em Selvíria (MS). Foram determinados os valores médios, máximos e mínimos de temperatura do ar, de umidade relativa do ar e de déficit de saturação de vapor d'água, e totais diários de radiação solar global e fotossinteticamente ativa, em cada ambiente. As telas empregadas não promoveram modificações na temperatura e umidade relativa do ar, bem como no déficit de saturação de vapor d'água, porém, diminuíram a disponibilidade de radiação global e de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) nos abrigos, em relação ao campo aberto. A tela com malha de 2x1 mm reduziu os níveis de radiação global e RFA, respectivamente, em 21,5% e 12,2%, em relação àqueles sob tela com malha de 2x2 mm. Foram verificadas estreitas relações entre a RFA e radiação global.



1. INTRODUÇÃO

Estima-se que a área de produção de culturas em ambiente protegido, no mundo, seja da ordem de 200.000 ha (WITTWER, 1993). No Brasil; esta tecnologia, introduzida na década de 70, apresentou grande expansão nos anos 90, culminando com uma área protegida de 1.390 ha, ao final da década (DELLA VECCHIA & KOCH, 1999).

O emprego destas estruturas de proteção objetiva manter os fatores de crescimento das plantas (luz, temperatura, umidade e CO₂) em níveis adequados, de modo a prover condições satisfatórias de desenvolvimento e de produção às culturas, ao longo do ano.

O cultivo protegido tem possibilitado a obtenção de rendimentos muito superiores àqueles verificados em campo aberto, para a maioria dos produtos hortícolas, bem como tem reduzido, de forma marcante, os riscos de produção no período de entressafra ou, mesmo, em locais considerados inadequados para o cultivo convencional. Isto resulta da proteção física oferecida às plantas, mas sobretudo das alterações microclimáticas obtidas com a utilização dos abrigos.

Inúmeros trabalhos de pesquisa tem mostrado que o ambiente interno dos abrigos, naqueles casos em que não se faz uso de outras estratégias condicionamento ambiental (calefação ou resfriamento, ventilação forçada e iluminação artificial, entre outros), é fortemente dependente das condições meteorológicas externas e de aspectos relacionados ao seu projeto e construção (arquitetura, material de cobertura e de fechamento, orientação, etc).

O Brasil apresenta vasta extensão territorial, com seu maior eixo na direção norte-sul, resultando em grande diversidade climática, o que impossibilita a adoção de um único modelo de abrigo como adequado.

A avaliação do desempenho dos modelos utilizados pelos agricultores, bem como de alternativas para cobertura dos abrigos, frente às condições climáticas locais e demandas das culturas, constituem-se em importante etapa na definição de projetos que permitam a máxima expressão dos cultivos, em termos de produtividade.

Neste trabalho são apresentados os resultados de três ensaios, nos quais se procurou caracterizar o ambiente formado no interior de abrigos sujeitos a condições construtivas distintas, no que diz respeito ao material de cobertura e de fechamento, com o intuito de fornecer subsídios para elaboração de projetos mais apropriados para a região.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A radiação solar é fundamental para o crescimento das plantas, por ser necessária para a fotossíntese, processo básico da produção vegetal, e por se constituir no principal fator que afeta a transpiração. PAPADAKIS et al. (2000) relatam que, de maneira aproximada, o incremento de 1% na disponibilidade de radiação resulta em um aumento de 1% na produtividade de algumas culturas, embora esta regra seja verdadeira somente quando os níveis de saturação nos cloroplastos não tenham sido alcançados. Assim, o nível de radiação no interior dos abrigos é determinante nos resultados esperados, em termos de produção, e pequenas alterações na transmissividade, ou transmitância, pode ter efeito significativo no desenvolvimento das plantas.

O fluxo de radiação que atravessa a cobertura está relacionado a uma série de fatores físicos e dependentes do tempo, bem como a fatores ligados ao projeto e construção dos abrigos, como:

- a) *hora do dia, dia do ano e a latitude do local.* Fatores relacionados à posição relativa do sol, que determinam o ângulo de incidência dos raios, e tem relação estreita com a disponibilidade de radiação no interior dos abrigos, como relatado

por KOZAI (1977), KOZAI & KIMURA (1977), GIACOMELLI & ROBERTS (1993), FARIAS et al. (1993b), SERRANO CERMEÑO (1994) e BURIOL et al. (1995);

- b) *condições meteorológicas locais*. A predominância de radiação solar difusa ou direta, interfere na transmissividade da cobertura, conforme apresentado por GIACOMELLI & ROBERTS (1993) e RICIERI & ESCOBEDO (1996);
- c) *propriedades do material de cobertura*. Os materiais comumente empregados na cobertura (vidro, plásticos rígidos estruturados, filmes plásticos de diversas natureza, telas plásticas) apresentam distintas transmitâncias aos diferentes comprimentos de onda, como estudado por DUNCAN & WALKER (1975), GODBEY et al. (1979), NIJSKENS et al. (1985), BUREK et al. (1989), YATES (1989), BLISKA JUNIOR & HONÓRIO (1994), GÜNAY (1994), POLLET & PIETERS (1999), KITTAS et al. (1999) e COHEN & FUCHS (1999), e, ainda, no que se refere aos materiais plásticos, podem ter sua transmissividade reduzida com o tempo de uso, em função de degradação, como detalhadamente discutido por DILARA & BRIASSOULIS (2000);
- d) *geometria da cobertura*, como reportado por KOZAI (1977), ROBLEDO DE PEDRO & MARTIN VICENTE (1988), SEMEDO (1988), KURATA (1990), ALPI & TOGNONI (1991) e LI et al. (1995);
- e) *orientação do abrigo*, como relatado nos trabalhos de KOZAI (1977), KOZAI & KIMURA (1977), SKOV (1989), KURATA (1990), ASSIS & ESCOBEDO (1998), PAPADAKIS et al. (1998) e PIETERS & DELTOUR (1999);

esses dois últimos por permitirem ângulos mais favoráveis, ou não, de incidência dos raios solares, afetando diretamente a capacidade de transmissão de radiação pela cobertura.

De modo geral, como reportado por MARTINS et al. (1999), para as condições brasileiras, ocorre uma redução de 5 a 35% na disponibilidade de radiação no interior dos abrigos, em comparação ao campo aberto, dependendo da região, do tipo de material da cobertura e ângulo de elevação do sol. Estes autores alertam que estas atenuações na radiação incidente podem ser relevantes, principalmente, no inverno e em altas latitudes, e que é importante garantir o limite trófico das distintas espécies, e assim a produção de assimilados necessários para manter a cultura, ou seja, uma energia radiante disponível de aproximadamente $8,4 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, com o que estão de acordo CASTILLA et al. (1997) e ANDRIOLO (2000).

Para PAPADAKIS et al. (2000), o material de cobertura ideal deveria permitir 100% de transmissividade à radiação fotossinteticamente ativa (RFA), compreendida na faixa de comprimento de ondas entre 0,4 e 0,7 μm , aquela efetivamente utilizada pelas plantas durante o processo de fotossíntese, responsável pela conversão de energia radiante em energia química. Nenhum material, até hoje desenvolvido, exibe tal propriedade, e deste modo, medidas da RFA, bem como o estabelecimento de relações entre ela e a radiação global disponível (ALADOS et al., 1996; AL-SHOOSHAN, 1997 e UDO & ARO, 1999), que possam resultar em estimativas confiáveis da RFA, são importantes, tendo em vista que há estreita relação desta variável climática com o desenvolvimento e produtividade das culturas.

GIACOMELLI et al. (1988), estudando a relação entre a transmissão da radiação solar global (285 a 2800 nm) e a transmissão da radiação fotossinteticamente ativa, em New Brunswick, NJ, entre abril e agosto de 1987, em uma estufa tipo arco geminada, com cobertura dupla com filme de polietileno, observaram que a transmitância

foi de 67,4% para a radiação total e de 67,1% para a RFA. Ao nível das plantas, no interior da estufa, a RFA disponível correspondeu a 44,8% daquela no exterior, o que significou uma redução de cerca de 33% em relação à radiação que atravessou a cobertura, em virtude do sombreamento causado pela estrutura e sistemas internos de controle ambiental.

TULLER & PETERSON (1988) investigaram, no Canadá, a distribuição espectral da radiação, no interior de uma estufa geminada, coberta com fibra de vidro, e outra, tipo túnel, coberta com polietileno, obtendo transmitâncias entre 59,6 e 73,3%, e de 70,9 a 86,4%, na faixa de 300 a 1100 nm; de 58,8 a 73,8% e de 71,2 a 85,1%, na faixa da RFA (400 a 700 nm), respectivamente, para o modelo geminado e para o túnel de polietileno.

SETELHAS et al. (1997) pesquisaram o efeito de diferentes tipos de cobertura (manta branca de algodão e fibra de vidro, polietileno de baixa densidade – Pebd, policloreto de vinila – PVC, tela branca de nylon – clarite 50%, tela preta de nylon – sombrite 50% e tela verde de nylon – 50% de sombreamento) na disponibilidade de radiação em mini-estufas, em Piracicaba (SP), e constataram que a maior atenuação à radiação global foi verificada para a tela preta (55,4%), seguida da tela verde (41,2%), da manta (37,4%), PVC (35%), tela branca (26,6%) e Pebd (20%), enquanto a sequência decrescente de atenuação à RFA (400 a 700 nm) foi : tela preta (48,8%), manta (39,6%), tela verde (38,8%), PVC (29,9%), tela branca (18,6%) e Pebd (13,3%).

PEZZOPANE et al. (1997), em Alegre (ES), observaram que tela plástica, com especificação comercial de 50% de sombreamento, provocou uma atenuação média de 42% na radiação solar incidente e 45% na radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e verificaram, em dias sem presença de nuvens, uma variação da atenuação em função do



movimento aparente do sol. Ainda, após ajustarem um modelo linear simples, passando pela origem das coordenadas, para estimar a RFA em função da radiação global incidente, encontraram coeficientes angulares similares para a condição exterior (2,06) e sob tela (1,97), mostrando não ter ocorrido atenuação seletiva da RFA, em relação à radiação global.

Também, VOLTOLINI et al. (1997) quantificaram a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) horária transmitida por telas de polipropileno (sombrite) com malhas de 30, 50, e 70% de sombra, em Pelota (RS), e constataram que as transmissividades foram maiores em dias de céu limpo que em dias nublados. Os níveis de sombreamento corresponderam a 35,2%, 54,1% e 77,0%, em dia de céu limpo, e a 39,7%, 63,2% e 81,4%, em dia de céu nublado, respectivamente, para as telas de 30, 50 e 70% de sombra.

O microclima dos abrigos, também, é diretamente influenciado pela disponibilidade de radiação, uma vez que esta se constitui na principal (quando não, na única) fonte de energia. Durante o dia, a cobertura, a estrutura e, principalmente, a superfície do solo absorvem parte da radiação solar incidente (ondas curtas) e sua temperatura aumenta. O ar, em contato com estas superfícies, absorve calor a uma taxa que depende das diferenças de temperatura, dos coeficientes de transferência de calor e dos níveis de ventilação, resultando na elevação de sua temperatura (ALPI & TOGNONI, 1991; SERRANO CERMEÑO, 1994; HANAN, 1998 e PAPADAKIS et al., 2000).

Vários pesquisadores procuraram caracterizar o ambiente formado no interior de abrigos para cultivo protegido, através de levantamento de variáveis agrometeorológicas.



HERTER & REISSER JUNIOR. (1987), em ensaio na região de Pelotas, RS, constataram que a variação de temperatura noturna apresentou valores muito próximos, interna e externamente, com pequena diferença favorável ao interior, em estufas tipo capela. Observaram, ainda, que grandes diferenças ($4,0-4,3^{\circ}\text{C}$) foram obtidas a favor das temperaturas máximas no interior da estufa. Para o perfil horizontal de temperatura, verificaram valores decrescentes da parte central para as laterais, enquanto no perfil vertical, os menores valores foram observados próximos ao solo. Estes autores concluíram que o ganho de energia, auferido durante o dia, não alterou, em valores consideráveis, a temperatura mínima.

Também, BURIOL et al. (1997) verificaram valores crescentes de temperatura, do solo para o teto, durante o dia, e o inverso durante a noite, em estufas tipo arco, com área de 240 m^2 , em Santa Maria, RS.

Normalmente, as variações de temperatura, verificadas no interior das estufas, notadamente, no sentido vertical, são causa direta dos fenômenos de transmissão de calor por irradiação, condução e, principalmente, convecção. Deste modo, ocorre um gradiente de temperatura, no interior da estufa, variando de um mínimo, nas proximidades do solo, até um máximo, junto ao teto (ALPI & TOGNONI, 1991).

REIS & HORINO (1988), estudando o impacto causado por dois modelos de estufa plástica de polietileno (uma de teto reto e inclinado, e outra em forma de túnel), em Brasília (DF), sobre as condições de temperatura, umidade e luz, na produção de tomate e pepino, e, ainda, sobre as mesmas condições, sem proteção plástica, verificaram que, com relação à luz no topo e no meio (parte média) das respectivas culturas, as parcelas sem proteção receberam 74 a 83% da luz total do sol no topo e de 11 a 31% no meio; sob a estufa de teto reto e inclinado, receberam de 50 a 63% de luz no topo e de 8 a



12% no meio; e na estufa túnel, as culturas receberam de 37 a 55% de luz no topo e de 5 a 13% em sua parte mediana. Verificaram, ainda, que não houve diferença significativa nos valores de temperatura e umidade relativa observados.

Trabalhando com uma estufa tipo arco, em Bagdá, Iraque, AL-RIAH et al. (1989) verificaram que, durante os meses de janeiro a abril de 1987, as médias mensais das temperaturas diárias do ar foram sempre superiores na estufa (entre 1,1 e 3,2°C) e que as médias mensais da radiação solar global diária foram maiores no ambiente externo. Estabeleceram, ainda, as relações entre a radiação global dentro e fora da estufa, entre a global e a líquida de ondas curtas e entre a global e a líquida total, no interior do túnel, e concluíram que as radiações global, líquida de ondas curtas, e líquida total, na estufa, podem ser estimadas com sucesso, a partir da radiação global medida no ambiente externo; resultados semelhantes aos encontrados por HASSON (1990), que trabalhou com o mesmo tipo de abrigo.

Trabalhos de CASTILLA et al. (1990), LÓPEZ-GALVEZ et al. (1991) e CASTILLA & LÓPEZ-GALVEZ (1994), investigando os efeitos de diferentes modelos de estufas (teto plano, teto assimétrico e teto simétrico geminado) sobre o desenvolvimento de algumas culturas e sobre parâmetros meteorológicos, na Espanha, mostraram que a arquitetura interfere significativamente nas condições ambientais internas, resultando em diferentes respostas dos cultivos e, por conseguinte, diferentes resultados econômicos. As principais diferenças observadas se referiram à quantidade de radiação que alcançou as plantas, bem como nas temperaturas observadas no interior do abrigos, sendo estas, ainda, bastante influenciadas pelas condições de ventilação (área e posição das aberturas), como, também, obtido por RAULT (1990) e TEITEL & TANNY (1999), e discutido por ZABELTIZ (1990) e MONTERO & ANTÓN (1994a).



GRODZKY et al. (1991) compararam o ambiente micrometeorológico de dois modelos de estufas plásticas (capela e triunfo) com o do ambiente externo, em Curitiba (PR), em 1989. Os resultados permitiram afirmar que a radiação recebida foi interceptada em 40%, não afetando, porém, o desenvolvimento das plantas. Verificaram, ainda, que as amplitudes térmica e de umidade relativa do ar foram grandes, nas estufas, atingindo, algumas vezes, graduações limitantes.

Conforme MARTINS (1992), que trabalhou com uma estufa capela de 8 x 25 m, durante o verão, em Jaboticabal (SP), os maiores valores de temperatura máxima do ar foram obtidos no ambiente protegido, porém, houve pequeno efeito da cobertura plástica sobre a temperatura mínima e umidade relativa do ar. A amplitude térmica do solo foi menor na estufa, quando comparada àquela em campo aberto.

MARTINS et al. (1992) caracterizaram o microclima formado numa estufa capela de 10 x 50 m, coberta com filme de polietileno de 0,1 mm de espessura, em Pelotas, RS, no período de outubro a dezembro de 1988. Através de suas observações, concluíram que a temperatura média do ar, no interior da estufa, em todos os meses, não diferiu daquela em campo aberto (2 a 3 °C). Os valores de umidade relativa do ar, dentro e fora da estufa, durante o dia, não apresentaram diferenças, enquanto à noite, foram verificados valores mais elevados no ambiente protegido. A transparência do plástico empregado, à radiação solar, foi de 81,5%.

BURIOL et al. (1993), estudando o efeito do ambiente protegido sobre a temperatura mínima do ar, em Santa Maria (RS), em épocas distintas do ano, constataram que, em uma estufa capela de 10 x 25 m, as temperaturas mínimas, medidas a 5 e a 150 cm do solo, foram superiores no interior da estufa e que as diferenças entre as mínimas, dentro e fora da estufa, dependeram do manejo da ventilação.



De acordo com as observações de FARIAS et al. (1993a), realizadas de setembro de 1989 a janeiro de 1990, os valores médios de temperatura e umidade relativa do ar, verificados no interior de uma estufa capela, de 10 x 50 m, localizada em Capão do Leão (RS), e aqueles do ambiente externo, ficaram bastante próximos. Com relação à umidade relativa, foram detectadas as maiores médias das máximas e as menores médias das mínimas, no interior da estufa. No que se referiu à temperatura do ar, observou-se que o maior efeito da cobertura plástica ocorreu sobre as máximas, de modo que as médias destas, por decêndio, fossem entre 1,2 e 4,4 °C superiores às verificadas a céu aberto, enquanto os valores médios internos e externos, de temperatura mínima, foram muito semelhantes.

ABOU-HADID & EISSA (1994), pesquisando os regimes diários de temperatura e umidade relativa do ar em uma estufa plástica e em campo aberto, no Egito, nos anos agrícolas de 1991-92 e 1992-93, verificaram que, no inverno, as temperaturas no interior do abrigo foram mais elevadas que aquelas em campo aberto, entre 8 h e 18 h, ocorrendo o inverso durante a noite. A temperatura mínima interna foi, em média, 4 °C menor que a externa, denotando a baixa capacidade do abrigo em conservar a energia recebida durante o dia. A umidade relativa, ao ar livre, foi mais elevada que na estufa, entre 2 h e 14 h. A umidade relativa mínima, no cultivo protegido, ocorreu às 14 h, coincidindo com a temperatura máxima.

Estudando o efeito de diferentes coberturas plásticas (polietileno aditivado para proteção contra raios ultra-violeta – UV; polietileno aditivado para proteção contra raios ultra-violeta e com barreiras ao infra-vermelho – UV+IR; polietileno aditivado para proteção contra raios ultra-violeta, com barreiras ao infra-vermelho e anti-gotejo – UV+IR+antigotejo) sobre as variáveis microclimáticas em estufas, na Turquia,

BAYTORUM et al. (1994) constataram que a transmissividade das coberturas com polietileno suplementado com UV e UV+IR se situaram entre 78 a 80%, enquanto para o material com aditivo anti-gotejo, os valores encontrados estiveram ao redor de 70%, para radiação na faixa entre 290 e 3000 nm; ao passo que a transmissividade à luz (390-780 nm) foi semelhante, entre todos os materiais pesquisados, situando-se ao redor de 75%. As temperaturas, em todos os tratamentos, apresentaram variações diárias muito próximas e valores inferiores aos registrados em campo aberto, inclusive com mínimas negativas, indicando que somente o uso de material aditivado com barreiras ao Infravermelho não foi suficiente para garantir condições adequadas de desenvolvimento para as plantas. As médias de umidade relativa foram elevadas, não se verificando efeito dos diferentes materiais de cobertura testados.

Também, comparando diferentes materiais de cobertura (polietileno normal - PEbd, polietileno térmico - PEbd+IR e etileno vinil acetato - EVA), na região da Eslovênia, CERNE et al. (1994) verificaram que as maiores temperaturas foram registradas no abrigo coberto com EVA, seguido por aquele com PEbd+IR e, com as temperaturas mais baixas, pela estufa coberta com PEbd normal. O desempenho do EVA e do PEbd+IR foi atribuído à sua menor transparência às radiações de onda longa (7,5 a 12,5 μm), cerca de três vezes inferior àquela do polietileno normal.

CAMACHO et al. (1995), avaliando elementos meteorológicos em uma estufa tipo túnel alto, coberta com filme de polietileno e orientada na direção norte-sul, no Município de Capão do Leão (RS), observaram que, no período de 1/11/92 a 30/11/93, a transmissividade à radiação solar global foi, em média, de 78%, variando de 65 a 89%, sendo maior na primavera que no outono. Constataram, ainda, que durante o dia, a maior



transmissividade da cobertura ocorreu nas horas próximas do meio-dia, e que a fração difusa da radiação solar foi maior no interior da estufa. Em relação à temperatura do ar, o maior efeito da cobertura ocorreu sobre as máximas, verificando-se valores superiores internamente, enquanto as temperaturas mínimas, dentro do túnel, foram inferiores às obtidas externamente, entre junho e outubro, denotando a incapacidade do abrigo em proporcionar um adequado armazenamento de energia, o que foi atribuído à grande transparência do material de cobertura às radiações de ondas longas.

PEZZOPANE et al. (1995), estudando as variações da radiação líquida e da temperatura das folhas de seringueira no período noturno, dentro e fora de uma estufa de polietileno tipo arco, em Campinas (SP), sob condições de noite com céu limpo, nublado e parcialmente nublado, observaram que a perda de energia radiante durante o período noturno foi sempre menor no interior da estufa, principalmente em noites de céu limpo, e que a temperatura das folhas foi sempre maior no interior dos abrigos, em dias nublados ou não.

REIS & CARRIJO (1996) monitoraram a temperatura interna de uma estufa tipo arco, coberta com filme de polietileno e fechada nas laterais até 1 m de altura, cultivada com tomate, durante a primavera-verão, em Brasília (DF) e verificaram que, das 20 h de um dia até as 15 h do dia seguinte, a temperatura a céu aberto foi maior que na estufa, o que pode ser explicado, segundo os autores, pela redução na quantidade de radiação solar no interior do abrigo, causada pelo plástico, e pelo resfriamento causado pelo transporte de calor para as áreas externas, pela ação dos ventos advectivos. Entre 15 h e 20 h de um mesmo dia, a temperatura interna da estufa foi superior à externa, devido à transformação da radiação solar em calor, ao acúmulo de energia, e à redução da velocidade dos ventos advectivos.

FARIA JUNIOR (1994), estudando as condições ambientais nos modelos de estufa arco e capela, comparadas àquelas de campo aberto, em Ilha Solteira (SP), no período de julho a outubro, em 1991 e 1992, verificou que as estufas não diferiram em nenhuma das variáveis climáticas analisadas (temperatura máxima, mínima e média do ar; umidade relativa e absoluta; déficit de saturação de vapor d'água e intensidade luminosa), apresentando, entretanto, valores mais elevados de temperatura máxima, umidade absoluta e déficit de saturação de vapor que aqueles obtidos em campo aberto. O estudo da distribuição horizontal das temperaturas nas estufas mostrou que não ocorreram grandes discrepâncias entre as mesmas; porém, o perfil vertical de temperaturas mostrou diferenças marcantes, com valores crescentes do solo para o teto, para ambos os modelos. A intensidade luminosa foi menor nas estufas que em campo aberto, e entre as estufas, foi maior no modelo arco, ao final do dia (18 h). Resultados semelhantes foram obtidos por FARIA JUNIOR (1997), em experimento conduzido em Jaboticabal (SP), que verificou, ainda, que as transmissividades à radiação solar foram maiores em dias nublados.

SILVA (1997), avaliando parâmetros ambientais em dois modelos de estufa plástica (arco e capela), no período de março a julho de 1996, em Jaboticabal (SP), verificou que a temperatura foi influenciada pela arquitetura do abrigo, com valores mais elevados na estufa capela. A geometria da cobertura não interferiu no conteúdo de vapor d'água dos abrigos, sendo a umidade relativa influenciada, somente, pelas condições de nebulosidade e presença de cultura. Quanto à radiação solar global, a estufa capela mostrou uma maior capacidade de absorção de energia que a estufa arco, o que foi atribuído a uma incidência dos raios solares, sobre a cobertura, mais próxima à perpendicular, no primeiro modelo, no período do experimento.



Monitorando variáveis climáticas em ambiente protegido, COSTA et al. (2000) observaram que as médias de temperatura, no interior do abrigo, foram cerca de 3 °C mais elevadas que em campo aberto; que a umidade relativa interna foi superior à externa; e que as médias de radiação global, disponíveis dentro do abrigo, corresponderam a 65,1% da verificada ao ar livre, em Campinas (SP), entre 17/11 e 13/12/1999.

Segundo BOWEN & KRATKY (1982), nas regiões tropicais, em dias quentes e com alta insolação, as temperaturas no interior de estufas cobertas com filmes plásticos podem ultrapassar, facilmente, 35°C, problema que se agrava em locais com baixa altitude, atingindo valores considerados inadequados para o bom desenvolvimento da maioria dos produtos hortícolas de importância econômica, conforme MAROTO BORREGO (1995) e SERRANO CERMEÑO (s.d.). Portanto, uma das principais questões que se impõe no manejo de abrigos para cultivo protegido, na maior parte do território nacional, é a redução das temperaturas internas.

De acordo com KITTAS et al. (1987), a temperatura interna das estufas é fortemente dependente do aporte de radiação que atinge sua cobertura, bem como da velocidade do vento e da inércia do material de cobertura. Deste modo, o sombreamento, dentre métodos utilizados para redução de temperatura em estufas, pode ser bastante eficaz, apresentando-se como uma das soluções de menor custo econômico.

De acordo com NEGRIN (1989), as telas plásticas para sombreamento tem por finalidade a proteção de culturas, através do equilíbrio de aeração, luminosidade e umidade, atenuando dos efeitos negativos dos excessos de insolação,

ventos e chuvas, mantendo condições ideais de temperatura e níveis de radiação, de modo a permitir o adequado desenvolvimento dos cultivos.

As telas plásticas podem ser aplicadas tanto internamente, sobre os cultivos (ROBLEDO DE PEDRO & MARTIN VICENTE, 1988), como externamente ao abrigo. Para ALPI & TOGNONI (1991), o primeiro método não é muito recomendável, uma vez que não impede a penetração das radiações caloríficas (vermelhas e infravermelhas), que promovem a elevação de temperatura e, também, conforme MONTERO & ANTÓN (1994b), por causar considerável redução na taxa de ventilação, pela resistência oferecida ao ar, podendo conduzir a resultados contrários aos desejados.

MONTERO & ANTÓN (1994b) reportaram que o sombreamento pode ser bastante efetivo na redução da temperatura de estufas mal ventiladas, porém, quando associado a outra fonte de resfriamento (altas taxas de ventilação, nebulização), pode apresentar pouco efeito sobre a temperatura do ar dos abrigos, informações discrepantes aos resultados obtidos por TOMALTY (1990), que constatou que o uso simultâneo da nebulização e do sombreamento com o plantio de cultivares tolerantes ao calor, aumentou a eficiência das estufas, em locais com altas temperaturas.

FRANCESANGELI et al. (1994) avaliaram a eficiência do branqueamento (pintura da cobertura com cal, em duas densidades de aplicação – 34 e 95 g.m⁻²), do uso de telas de sombreamento a 65% e de aspersão de água sobre o teto, na redução de temperatura de estufas cobertas com polietileno. Os resultados mostraram que tanto o branqueamento quanto a utilização de telas plásticas promoveram reduções significativas da temperatura do solo e do ar, durante o dia, notoriamente sob condições de baixa taxa de renovação de ar, porém, sem efeito sobre a temperatura das estufas no



período noturno. O branqueamento reduziu o aporte de radiação em 80% e 65%, respectivamente, para a maior e menor densidade de aplicação de cal, e o emprego de tela de sombreamento reduziu os níveis de radiação em 70%. Em todos os tratamentos testados, a umidade relativa variou entre 10% acima e 20% abaixo da umidade relativa ao ar livre, e as reduções na transpiração da cultura (tomate) foram quase proporcionais às reduções na luminosidade.

VLADIMIROVA et al. (1996), investigando o efeito de quatro níveis de sombreamento (47%, 63%, 80% e 91%) sobre a temperatura do ar, em modelos em escala, na Flórida - EUA, em 1994, constataram que as maiores temperaturas foram medidas sob 80% de sombreamento. Todavia, as diferenças médias de temperatura, entre os níveis de 63% e 91% foram menores que 1 °C, e as diferenças médias entre os níveis de 47% e 80% foram de 1,4 °C. Ainda, a direção e velocidade do vento, também, influenciaram a temperatura dos abrigos.

A determinação do correto nível de sombreamento é de extrema importância, para que não ocorram prejuízos ao desenvolvimento das culturas, uma vez que os níveis de radiação global e RFA podem ser sensivelmente reduzidos, o que pode ser prejudicial em épocas do ano de menor luminosidade (RAULT, 1988; BAILLE, 1989; STANGHELLINI, 1994). Assim, MILLS et al. (1990), buscando alternativas para as altas temperaturas verificadas sob cultivo protegido, na África do Sul, estudaram quatro condições de proteção (túnel coberto com filme plástico; abrigo com tela de sombreamento de 40%, na cor preta; abrigo com tela de sombreamento de 15%, na cor preta, no teto, e laterais com tela de sombreamento branca; e campo aberto) e observaram que as maiores temperaturas foram obtidas no túnel alto de polietileno, seguido do campo aberto, telado com sombreamento a 15% e telado com sombreamento

à 40%, isto por que os dois últimos permitiram a livre movimentação horizontal e vertical de ar, além de reduzir o aporte de radiação. Os níveis de radiação, no telado com 40% de sombreamento, corresponderam a 60% e 50% daqueles em campo aberto, respectivamente, em dia limpo de verão e de inverno, nos horários de máxima irradiação. Os autores concluíram que o sombreamento de 40% foi excessivo, tendo sido prejudicial ao desenvolvimento de plantas de tomate.

NASCIMENTO FILHO et al. (1997), na região de Rio Largo (AL), obtiveram temperaturas do ar em campo aberto mais elevadas que em um túnel alto coberto com filme transparente de polietileno e que em outro coberto com tela preta de polietileno (50% de sombra), em dia ensolarado, resultado explicado pela menor densidade de fluxo de radiação que atingiu o interior dos abrigos. Ainda, as temperaturas no túnel coberto com tela foram mais elevadas que naquele coberto com filme plástico, nas horas mais quentes do dia, o que foi atribuído ao processo de advecção. O déficit de saturação foi superior no ambiente sob proteção de tela plástica, em comparação àquele coberto com filme de polietileno.



3. USO DE TELA DE SOMBREAMENTO EM ESTUFA COBERTA COM FILME DE POLIETILENO: EFEITOS SOBRE O MICROCLIMA.

3.1. OBJETIVOS

O presente experimento foi conduzido com o intuito de estudar a eficiência do sombreamento com tela plástica em reduzir as temperaturas internas de abrigos para cultivo protegido e seu efeito em algumas variáveis microclimáticas.

3.2. MATERIAL E MÉTODO

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia-UNESP, Câmpus de Ilha Solteira, com latitude 20°25'S, longitude 51°21' WGR e altitude de 330 m, no Município de Ilha Solteira – SP, cujo clima caracteriza-se como subúmido, com pouca deficiência hídrica, com calor bem distribuído durante o ano, com estiagem no inverno, média anual de temperatura em

torno de 24,1 °C e precipitação média anual de 1400 mm, conforme relatório do IPT (s.d.) citado por CARVALHO et al. (1989).

Estudou-se o comportamento de variáveis microclimáticas em estufa sem sombreamento (E0), em estufa com sombreamento de 18% (E18) e em campo aberto, no período de 02/10/1999 a 16/08/2000.

Para realização do ensaio, foram montadas duas estufas de 5,2 x 18,0 m, com orientação leste-oeste, com pé direito de eucalipto com 2,5 m de altura e teto em forma de arco, construído com canos de aço galvanizado de 1" de diâmetro. Ambas foram cobertas com filme de polietileno de baixa densidade transparente, de 75 µm de espessura, sendo que uma delas recebeu a aplicação de tela preta de polietileno de alta densidade com 18% de sombreamento, sobre o filme plástico. As laterais das estufas foram cercadas com filme plástico, até 1,0 m de altura, e, então, com tela de sombreamento de 50%, entre 1,0 m e 2,5 m, sendo que a conclusão dos abrigos se deu em agosto de 1999.

Foram medidos:

- a) a densidade de fluxo de radiação, utilizando-se piranômetros com célula de silício, modelo SP Lite, da Sci-Tec Instruments, com respostas a comprimentos de onda entre 400 e 1100 nm, com valor máximo de resposta em 900 nm, instalados a 2 m de altura, no centro de cada abrigo (durante todo o ensaio) e em campo aberto (até 14/03/2000);
- b) a temperatura e a umidade relativa do ar, empregando-se sensores modelo HMP45C, da Vaisala, com faixa de leitura entre - 40 e 60 °C e acurácia variando de $\pm 0,2$ °C a $\pm 0,5$ °C, para temperatura, e entre 0 e 100%, com acurácia variando de



$\pm 2\%$ a $\pm 3\%$, para umidade relativa. Os sensores foram protegidos contra incidência direta da radiação solar, por aparato apropriado.

Todos os registros foram efetuados por um sistema de aquisição de dados multicanais CR10X, da Campbell Scientific.

Deve ser ressaltado que, a partir de 15/03/2000, os dados relativos ao campo aberto referiram-se àqueles coletados por uma estação automática equipada, além de outros sensores, com pirâmetro Licor LI-200X, de características semelhantes aos acima descritos; sensor de umidade relativa e temperatura, de marca Vaisala, modelo HMP45C, e sistema de aquisição de dados multicanais CR23X, da Campbell Scientific, pertencente à Área de Hidráulica e Irrigação (do Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Rural) e situada a cerca de 300 m do local do ensaio.

A partir dos dados medidos, foram determinados:

- a) as médias, por quinquídio, dos valores médios, máximos e mínimos diários de temperatura do ar;
- b) as médias, por quinquídio, dos valores médios, máximos e mínimos diários de umidade relativa do ar;
- c) as médias, por quinquídio, dos valores médios diários de déficit de saturação de vapor d'água, estimados a partir de:

$$DS = e_s - e \quad (1)$$

$$e_s = \frac{\exp\left(57,96 - \frac{6731}{(t + 273,15)} - 4,796 \cdot \ln(t + 273,15)\right)}{1000} \quad (2)$$

$$e = \frac{e_s \cdot UR}{100} \quad (3)$$

em que:

DS – Déficit de saturação de vapor d'água (kPa);

e_s – pressão de saturação de vapor d'água (kPa). Calculado conforme apresentado por HANAN (1998);

e – pressão atual de vapor d'água (kPa);

t – temperatura média diária do ar (°C);

UR – umidade relativa média diária do ar (%).

- d) as médias, por quinquídio, dos totais diários de densidade de fluxo de radiação;
- e) as médias, por quinquídio, das transmitâncias à radiação, em cada abrigo;
- f) as regressões lineares para estimativa dos totais diários de radiação no interior dos abrigos, sem e com sombreamento, em função do total diário de radiação em campo aberto, utilizando-se o método dos quadrados mínimos.

Ainda, foram escolhidos os dias 15/12/99 (12,5 horas de brilho solar), próximo ao solstício de verão, e 02/06/2000 (10,0 horas de brilho solar), próximo ao solstício de inverno, para estudo da variação das médias horárias das características microclimáticas obtidas (fluxo de radiação, temperatura e umidade relativa do ar) e estimadas (déficit de saturação de vapor d'água) em cada ambiente, em dias caracterizados como de pouca nebulosidade.

As estufas foram cultivadas com gladiolo, de início de setembro ao início de dezembro de 1999 e de meados de março ao início de julho de 2000.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1. Radiação Solar

Verificou-se que a densidade de fluxo de radiação solar global (400 a 1100 nm) foi sensivelmente menor no interior dos abrigos, particularmente, naquele com 18% de sombreamento adicional (Quadro 3.1 e Figura 3.1), assim como obtido por MILLS et al. (1990), SENTELHAS et al. (1997), PEZZOPANE et al. (1997), VOLTOLINI et al. (1997), com valores médios de $10,5 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, na estufa com sombreamento; de $14,3 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, na estufa sem sombreamento e de $19,2 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, em campo aberto, no período de 2/10/1999 a 16/08/2000.

As transmitâncias variaram entre 46,7% e 63,0%, com média de 54,9%, no abrigo com sombreamento adicional de 18%, e entre 63,7 e 81,9%, com média de 74,4%, naquele sem sombreamento, sendo os valores encontrados, para este último, semelhantes aos relatados por FARIAS et al. (1993b), CAMACHO et al. (1995) e BURIOL et al. (1995), ao passo que a atenuação adicional à radiação, promovida pelo uso de tela plástica sobre o filme de polietileno, em média de 19,5%, foi muito próxima à especificada comercialmente.

De modo geral, as transmissividades reduziram-se significativamente, a partir do mês de maio (43º quinquídio), como apresentado na Figura 3.2, o que pode ser atribuído a ângulos de incidência dos raios solares mais desfavoráveis à transmissão da radiação pela cobertura, em função da aproximação do solstício de inverno (53º quinquídio), momento em que o sol se apresenta mais inclinado em

QUADRO 3.1. Valores médios, máximos e mínimos mensais de totais diários de radiação global, e número de dias, em cada mês, com valores abaixo da energia radiante mínima necessária às culturas, em estufa com 18% de sombreamento (E18), estufa sem sombreamento (E0) e em campo aberto, entre 2 de outubro de 1999 e 16 de agosto de 2000, em Ilha Solteira, SP.

MÊS	MÉDIA MENSAIS DE TOTAIS DIÁRIOS DE RADIAÇÃO (MJ.m ⁻²)			MÁXIMOS MENSAIS DE TOTAIS DIÁRIOS DE RADIAÇÃO (MJ.m ⁻²)			MÍNIMOS MENSAIS DE TOTAIS DIÁRIOS DE RADIAÇÃO (MJ.m ⁻²)			Nº DE DIAS COM VALORES MENORES OU IGUAIS AO LIMITE MÍNIMO NECESSÁRIO DE ENERGIA ⁽³⁾		
	E18	E0	Campo	E18	E0	Campo	E18	E0	Campo	E18	E0	Campo
Outubro ⁽¹⁾	12,0	16,8	21,8	15,3	21,0	27,9	5,1	7,2	9,5	2	1	0
Novembro	13,0	18,2	23,6	16,7	23,2	30,3	4,2	6,0	7,7	6	2	2
Dezembro	12,7	17,3	22,5	17,6	23,6	30,7	2,7	3,8	4,9	5	2	2
Janeiro	12,5	16,8	22,3	16,6	22,4	29,6	7,7	10,3	13,6	4	0	0
Fevereiro	11,3	15,4	20,1	15,2	20,9	27,5	3,2	4,3	5,6	6	2	1
Março	9,5	12,4	16,4	14,8	19,0	26,0	2,6	3,6	4,5	13	5	2
Abril	11,5	15,0	20,0	13,3	17,3	23,1	3,9	5,1	6,3	2	2	1
Maio	8,8	11,6	15,7	10,8	14,1	19,0	2,6	3,4	4,4	11	4	1
Junho	7,9	10,9	15,5	9,1	12,6	18,1	3,3	4,5	6,2	17	2	2
Julho	7,9	10,9	16,1	10,1	13,9	21,0	1,6	2,1	3,2	14	4	3
Agosto ⁽²⁾	8,5	11,7	16,7	10,0	13,9	20,2	3,5	4,9	6,8	5	2	1
MEDIA	10,5	14,3	19,2	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-
TOTAL	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	85	26	15

⁽¹⁾A partir de 2 de outubro.

⁽²⁾Até 16 de agosto.

⁽³⁾Limite trófico, considerado como 8,4 MJ.m⁻².dia⁻¹, conforme MARTINS et al. (1999) e ANDRIOLO (2000)

relação ao zênite, em sua passagem pelo meridiano local, resultando em maior reflexão dos raios pela cobertura. Possivelmente, também, concorreu para a redução da transmitância, a deterioração das propriedades ópticas do filme de cobertura com o tempo de uso, como minuciosamente discutido DILARA & BRIASSOULIS (2000).

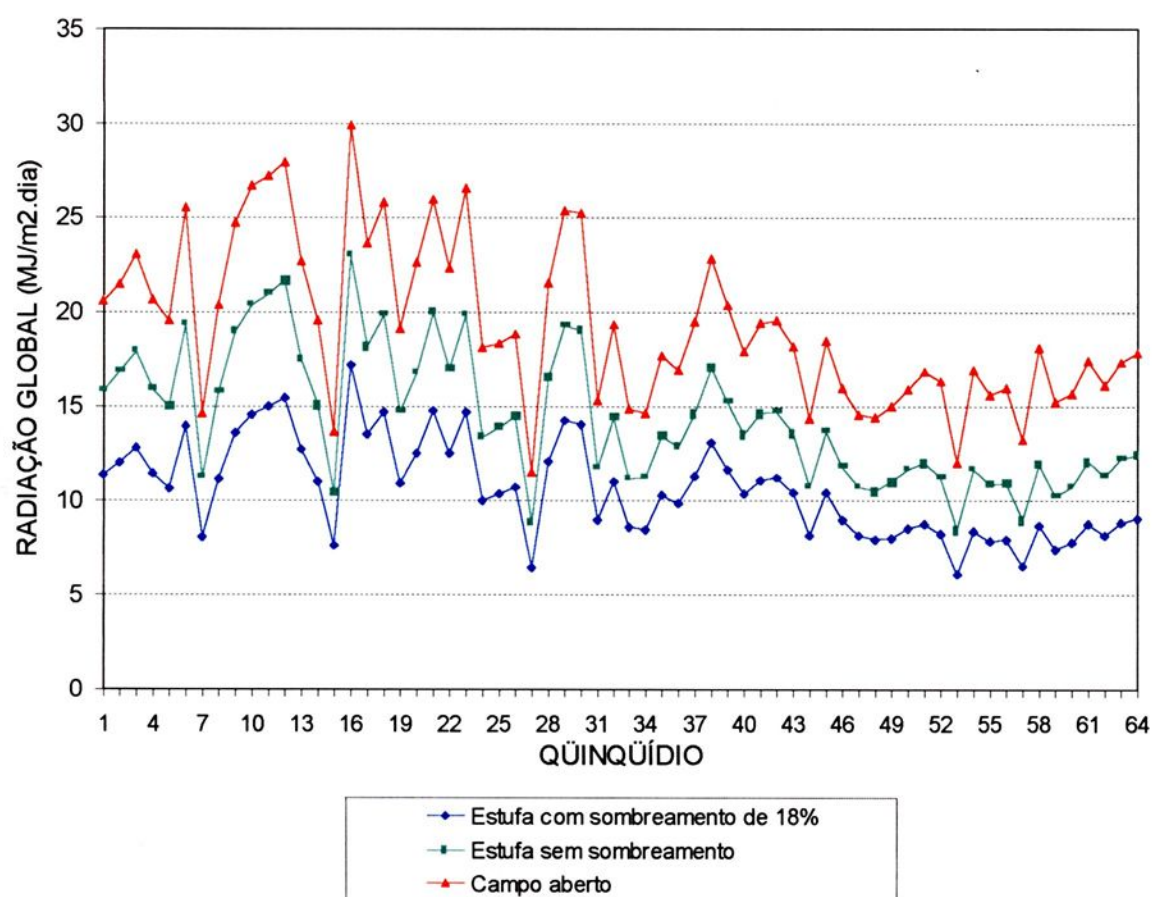


FIGURA 3.1. Variação, por quinquídios, da radiação global ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) em estufa com sombreamento de 18%, estufa sem sombreamento e em campo aberto, no período de 02/10/1999 e 16/08/2000, em Ilha Solteira, SP.

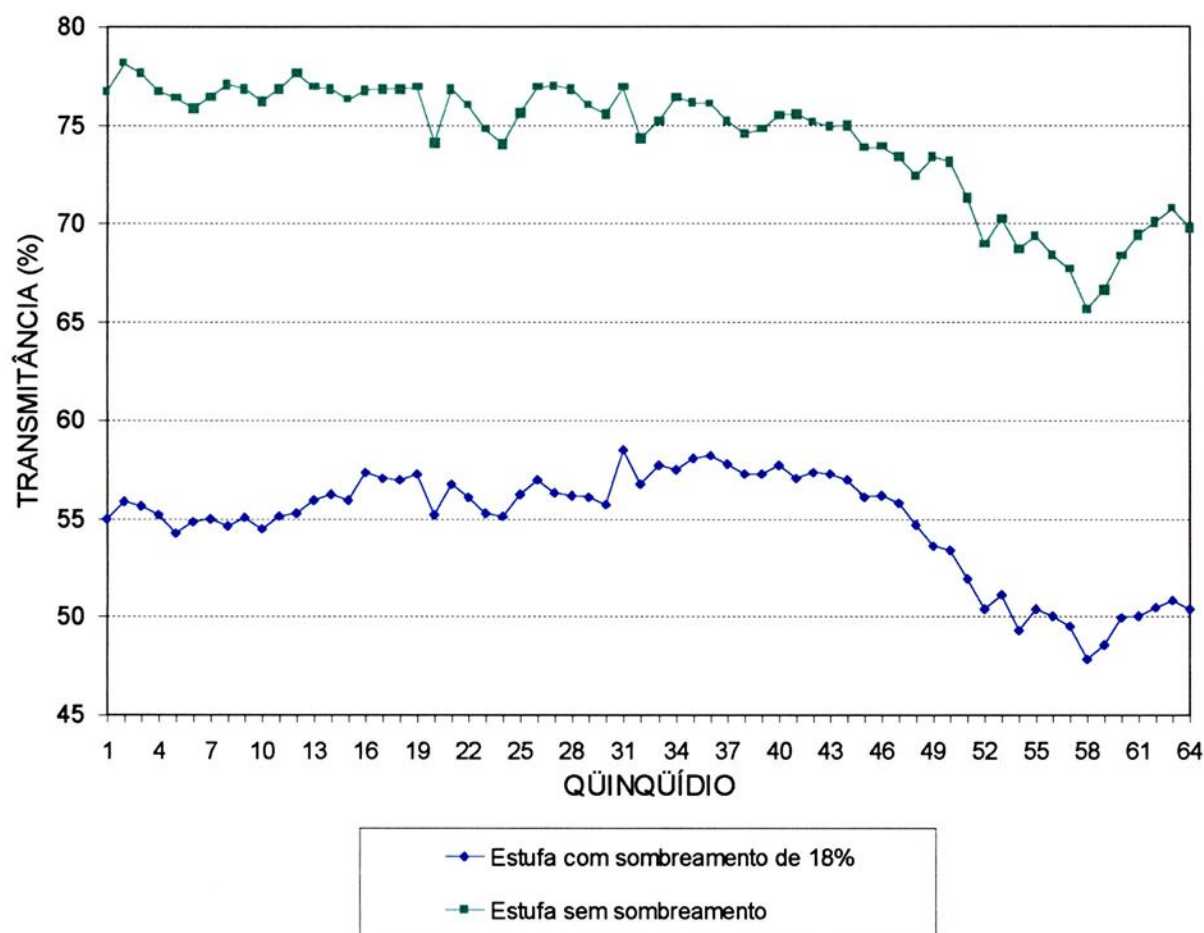


FIGURA 3.2. Transmitância média, por quinquídios, em estufa com sombreamento adicional de 18% e em estufa sem sombreamento, no período de 02/10/1999 a 16/08/2000, em Ilha Solteira (SP).

Na estufa com sombreamento adicional de 18%, o número de dias com totais de radiação menores ou iguais a $8,4 \text{ MJ.m}^{-2}$, considerado como valor mínimo para a maioria das culturas, conforme MARTINS et al. (1999) e ANDRIOLO (2000), foi significativamente maior que nos demais ambientes, no meses de março, maio, junho e julho, como mostrado no Quadro 3.1, o que pode resultar em prejuízo no desenvolvimento de plantas conduzidas nestas condições, indicando que o uso mecanismos de atenuação da radiação, principalmente nos meses de outono e inverno,

podem não ser interessantes, corroborando as afirmações de RAULT (1988), BAILLE (1989) e STANGHELLINI (1994).

As curvas de regressão linear que descrevem a disponibilidade de radiação no interior das estufas, em função dos níveis de radiação em campo aberto, assim como os polinômios que estimam as referidas relações, estão apresentadas na Figura 3.3.

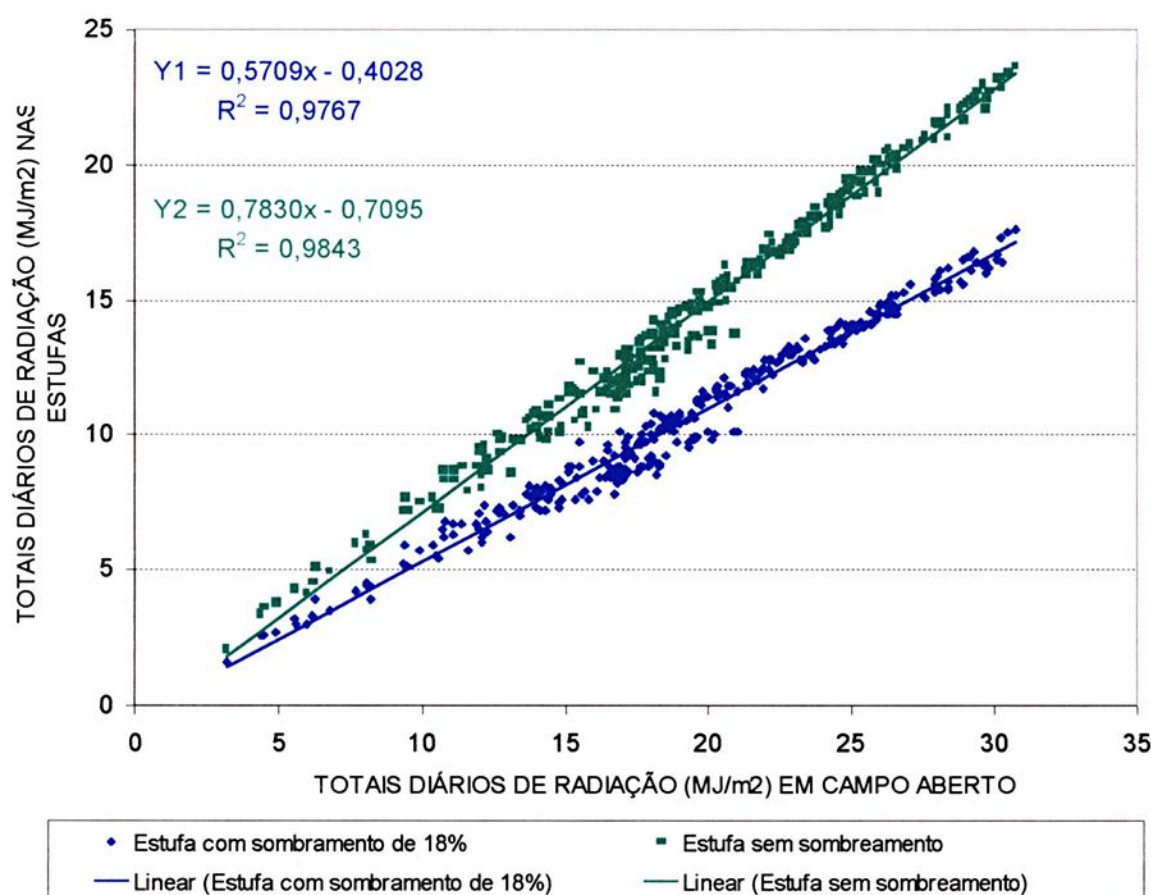


FIGURA 3.3. Estimativas dos totais diários de radiação global em estufa com sombreamento de 18% (Y1) e em estufa sem sombreamento (Y2), em função do total diário de radiação global em campo aberto (x), no período de 02/10/1999 a 16/08/2000, em Ilha Solteira (SP).

O erro padrão na estimativa do total de radiação na estufa com sombreamento adicional, a partir da disponibilidade de radiação externa, correspondeu a $\pm 0,88 \text{ MJ.m}^{-2}$, enquanto que para estufa sem sombreamento, este valor foi de $\pm 0,72 \text{ MJ.m}^{-2}$. Os elevados valores dos coeficientes de determinação, obtidos nos ajustes dos modelos lineares, permitem afirmar que são possíveis estimativas precisas dos níveis de radiação nos abrigos, a partir dos dados observados em campo aberto.

Na Figura 3.4, estão representadas as variações nas médias horárias da densidade de fluxo de radiação global, nos dias 15/12/1999 e 02/06/2000. No primeiro, o valores máximos ocorreram entre 12 e 13 h, em que as médias foram de 630; 842 e 1044 W.m^{-2} , respectivamente, no abrigo sombreado, sem sombreamento e campo aberto, valores substancialmente maiores que aqueles correspondentes, medidos em junho, de 353, 559 e 765 W.m^{-2} , para a mesma seqüência de ambientes.

Além do efeito da época do ano na duração do fotoperíodo e na disponibilidade de energia solar, também, as transmitâncias, nos horários de maior irradiância, reduziram-se de 60,3% para 46,1%; e de 80,7% para 73,0%; respectivamente, nas estufas com e sem sombreamento, o que determinou níveis, ainda, menores de radiação no interior dos abrigos.

O efeito da época do ano sobre a transmissividade, como já comentado, tem relação com a inclinação dos raios solares, em relação à cobertura, alterando o balanço entre o absorvido, o transmitido e o refletido, como bem discutido por GIACOMELLI & ROBERTS (1993), SERRANO CERMEÑO (1994), HANAN (1998) e PAPADAKIS et al. (2000).



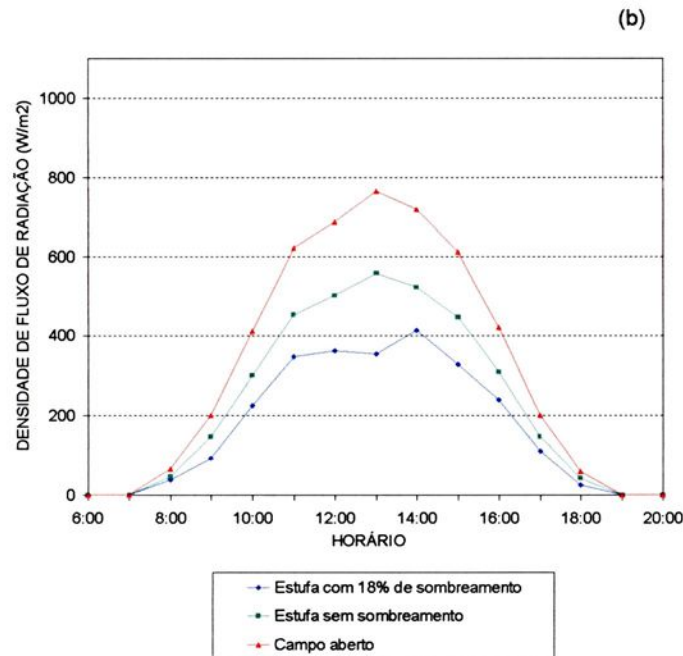
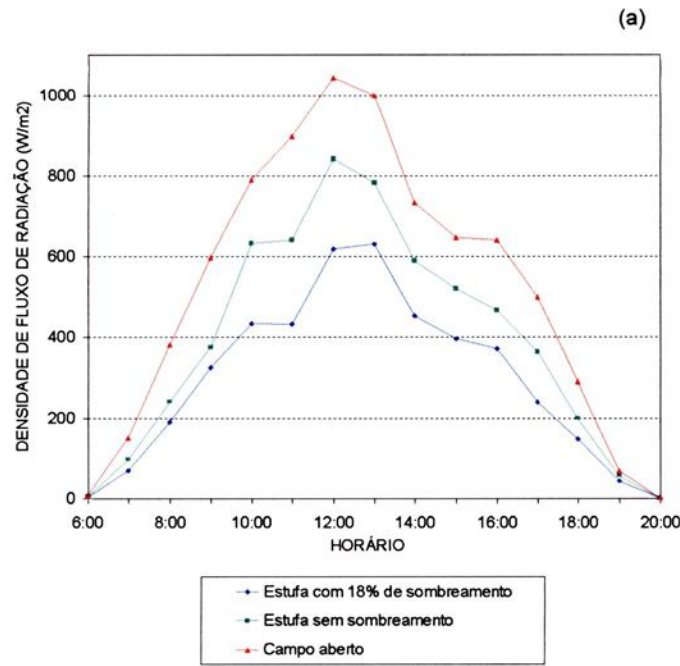


FIGURA 3.4. Variação das médias horárias da densidade de fluxo de radiação, em estufa com 18% de sombreamento adicional; em estufa sem sombreamento e em campo aberto, nos dias 02/12/1999 (a) e 02/06/2000 (b), em Ilha Solteira (SP).

3.3.2. Temperatura do ar

As temperaturas médias do ar, nos ambientes estudados, foram bastante próximas, com valores de 24,5; 24,9 e 24,7 °C, no período do experimento, respectivamente, nas estufas com e sem sombreamento, e em campo aberto, como indicado no Quadro 3.2 e Figura 3.5.

QUADRO 3.2. Médias mensais de temperatura do ar (°C), em estufa com 18% de sombreamento (E18), estufa sem sombreamento (E0) e campo aberto, no período de 02/10/1999 e 16/08/2000, em Ilha Solteira (SP).

MÊS	AMBIENTE		
	E18	E0	Campo
Outubro ⁽¹⁾	26,6	27,0	26,8
Novembro	25,8	26,2	25,8
Dezembro	27,2	27,8	27,4
Janeiro	27,5	28,1	27,6
Fevereiro	26,5	27,0	26,6
Março	25,4	25,8	25,1
Abril	25,3	25,7	25,3
Maio	21,9	22,3	22,1
Junho	22,4	22,7	22,8
Julho	19,1	19,4	19,3
Agosto ⁽²⁾	22,1	22,4	22,3
MEDIA	24,5	24,9	24,7

⁽¹⁾A partir de 02/10/1999

⁽²⁾Até 16/08/2000

Os maiores valores de temperatura máxima foram observados na estufa sem sombreamento, a qual apresentou, considerando-se todo o período do experimento, médias das máximas cerca de 1,4 e 1,0 °C mais elevadas que em campo aberto e na estufa com sombreamento, respectivamente. Porém, ocorreram meses, como março e abril, em que as diferenças médias, entre a estufa sem sombreamento e o campo aberto, ultrapassaram os 2 °C (Quadro 3.3 e Figura 3.5).

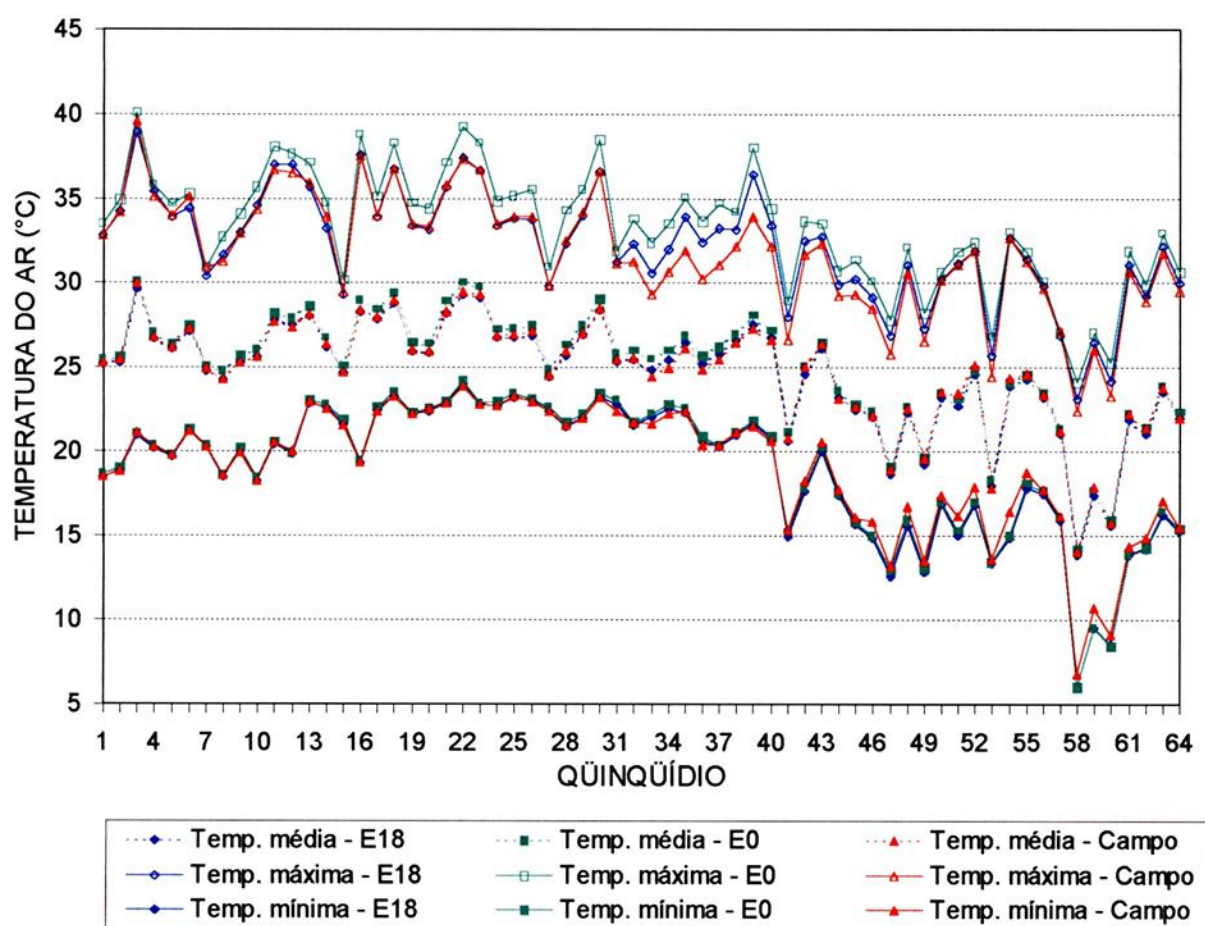


FIGURA 3.5. Variação, por quinquídios, das temperaturas médias, máximas e mínimas do ar, em estufa com sombreamento de 18% (E18), estufa sem sombreamento (E0) e campo aberto, entre 02/10/1999 e 16/08/2000, em Ilha Solteira (SP).

QUADRO 3.3. Valores médios e máximos absolutos mensais da temperatura máxima do ar (°C), em estufa com sombreamento adicional de 18% (E18), em estufa sem sombreamento (E0) e em campo aberto, e diferenças nas médias mensais, entre os ambientes estudados, no período de 02/10/1999 e 16/08/2000, em Ilha Solteira (SP).

MÊS	MÉDIA DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS (°C)			VALORES MÁXIMOS ABSOLUTOS OBSERVADOS (°C)			DIFERENÇAS ENTRE AS MÉDIAS DAS MÁXIMAS, NOS AMBIENTES ESTUDADOS (°C)		
	E18	E0	Campo	E18	E0	Campo	E18-Campo	E0-Campo	E0-E18
Outubro ⁽¹⁾	34,9	35,6	35,1	41,2	42,1	41,0	-0,2	0,6	0,7
Novembro	33,9	34,8	33,7	39,7	40,8	38,8	0,2	1,1	0,9
Dezembro	34,4	35,7	34,6	40,6	41,7	40,1	-0,2	1,1	1,3
Janeiro	34,8	36,3	34,9	40,2	43,1	39,8	-0,1	1,4	1,5
Fevereiro	33,3	34,9	33,4	38,1	40,6	38,0	-0,1	1,5	1,6
Março	31,9	33,3	30,5	37,7	39,6	34,0	1,4	2,7	1,3
Abril	32,7	33,9	31,3	37,2	38,5	34,4	1,4	2,6	1,1
Maiο	29,6	30,5	28,9	34,3	35,4	33,5	0,7	1,7	0,9
Junho	30,1	30,7	29,8	34,2	34,7	34,2	0,3	0,9	0,6
Julho	27,2	27,8	26,8	32,9	34,2	32,9	0,4	1,0	0,6
Agosto ⁽²⁾	30,3	30,9	29,8	34,5	34,8	34,6	0,4	1,1	0,7
MEDIA	32,1	33,1	31,7				0,4	1,4	1,0

⁽¹⁾A partir de 02/10/1999.

⁽²⁾Até 16/08/2000.

As maiores médias das temperaturas máximas, observadas na estufa sem sombreamento foram resultado do aporte de radiação que atingiu o interior do abrigo e da restrição à movimentação do ar, que determinaram graduações de

temperatura consideradas inadequadas para a maioria dos cultivos, conforme SERRANO CERMEÑO (s.d.).

A estufa com sombreamento adicional de 18% apresentou valores médios de temperatura máxima bastante próximos aos verificados em campo aberto, na maior parte do tempo em que se conduziu o experimento, porém, o uso de tela plástica não proporcionou reduções sensíveis nestes valores, em relação ao abrigo sem sombreamento, cujas diferenças médias variaram entre 0,6 °C e 1,6 °C (Quadro 3.3), apesar das diferenças marcantes na disponibilidade de radiação (Figuras 3.1 e 3.4), provavelmente, em função das condições semelhantes de ventilação das estufas, que não permitiram um gradiente maior, como discutido por CASTILHA et al. (1990), LÓPEZ-GALVEZ et al. (1991), CASTILHA & LÓPEZ-GALVEZ (1994), MONTERO & ANTÓN (1994b).

No que se refere à temperatura mínima, foi observado comportamento semelhante entre os ambientes estudados (Quadro 3.4 e Figura 3.5), o que pode ser explicado segundo MILLS et al. (1990), MARTINS (1992), FARIAS et al. (1993a) e CAMACHO et al. (1995), pela baixa capacidade de retenção de energia dos abrigos, durante a noite, uma vez que as coberturas de polietileno são bastante transparentes às radiações de ondas longas (DUNCAN & WALKER, 1975; GODBEY et al., 1979; NIJSKENS et al., 1985; SEMEDO, 1988 e ALPI & TOGNONI, 1991), e pelas perdas de energia por condução (pela cobertura plástica), por convecção (por meio das telas plásticas, na estufa, que não impediram as trocas de ar), e pelo fluxo de calor no solo.

As variações nas médias horárias de temperatura, ao longo dos dias 15/12/1999 e 02/06/2000, em cada ambiente estudado, podem ser vistas na Figura 3.6.



QUADRO 3.4. Valores médios e mínimos absolutos mensais da temperatura mínima do ar (°C), em estufa com sombreamento adicional de 18% (E18), em estufa sem sombreamento (E0) e em campo aberto, e diferenças nas médias mensais, entre os ambientes estudados, no período de 02/10/1999 e 16/08/2000, em Ilha Solteira (SP).

MÊS	MÉDIA DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS (°C)			VALORES MÍNIMOS ABSOLUTOS OBSERVADOS (°C)			DIFERENÇAS ENTRE AS MÉDIAS DAS MÍNIMAS, NOS AMBIENTES ESTUDADOS (°C)		
	E18	E0	Campo	E18	E0	Campo	E18-Campo	E0-Campo	E0-E18
Outubro ⁽¹⁾	19,9	20,0	19,9	15,5	15,7	15,6	-0,1	0,1	0,1
Novembro	19,5	19,6	19,6	15,7	15,8	15,8	0,0	0,1	0,1
Dezembro	22,0	22,2	22,0	18,6	18,6	18,3	0,0	0,2	0,2
Janeiro	22,8	23,0	22,8	21,0	21,1	20,9	0,0	0,2	0,2
Fevereiro	22,5	22,7	22,5	19,3	19,5	19,3	0,0	0,2	0,2
Março	21,7	21,9	21,5	18,8	18,9	18,6	0,2	0,4	0,2
Abril	19,2	19,4	19,5	11,9	12,1	11,8	-0,2	0,0	0,2
Maio	15,5	15,7	16,1	9,7	10,0	10,1	-0,6	-0,4	0,2
Junho	15,5	15,6	16,3	8,4	8,8	8,9	-0,9	-0,7	0,2
Julho	12,1	12,2	12,8	1,3	1,4	3,2	-0,6	-0,5	0,1
Agosto ⁽²⁾	15,2	15,4	15,8	11,3	11,5	11,4	-0,6	-0,4	0,1
MEDIA	18,7	18,9	19,0				-0,3	-0,1	0,2

⁽¹⁾A partir de 02/10/1999.

⁽²⁾Até 16/08/2000.

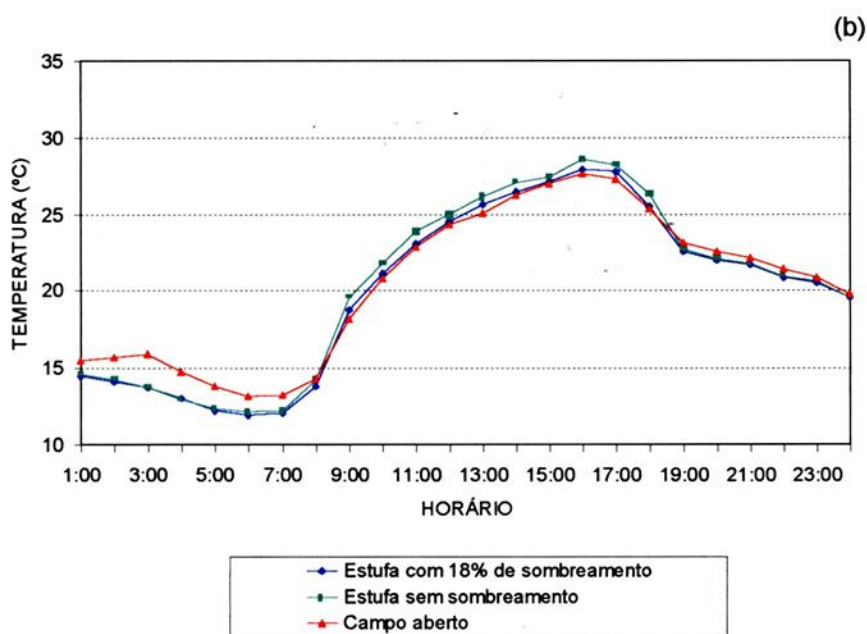
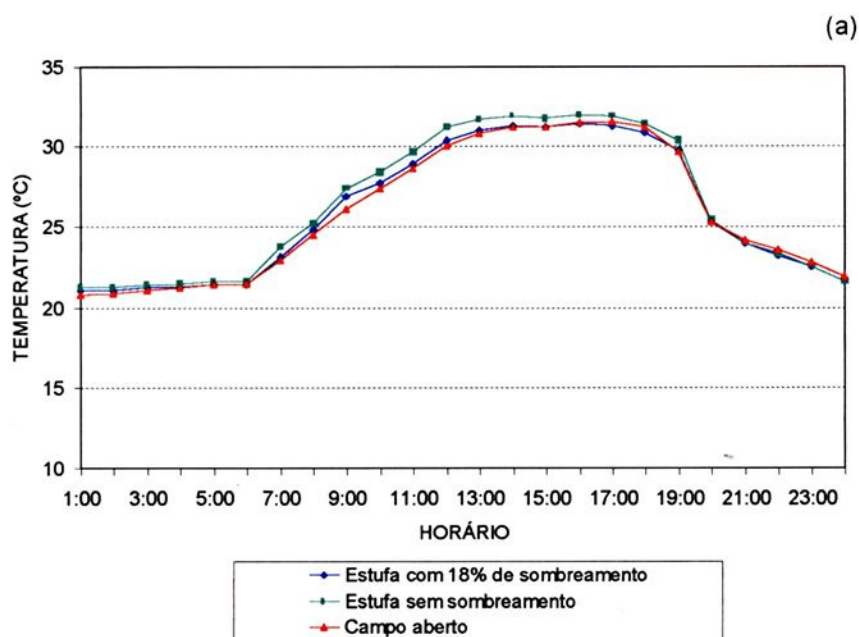


FIGURA 3.6. Variação das médias horárias de temperatura do ar, em estufa com sombreamento adicional de 18%, em estufa sem sombreamento e em campo aberto, nos dias 15/12/1999 (a) e 02/06/2000 (b), em Ilha Solteira, SP.

As temperaturas, nos diferentes ambientes, foram muito próximas. (Figura 3.6), porém, no mês de junho, época do ano em que, para as condições de Ilha Solteira, normalmente, as temperaturas são mais amenas, ficou evidenciado a incapacidade dos abrigos em armazenar energia, devido à transparência do filme de polietileno às radiações de ondas longas, o que aliado à restrita movimentação de ar dos abrigos, resultou em menores médias horárias de temperatura no período em que não houve incidência de radiação solar, em comparação ao campo aberto (Figura 3.6.b), respostas semelhantes às verificadas por ABOU-HADID & EISSA (1994), BAYTORUM et al. (1994), CAMACHO et al. (1995) e REIS & CARRIJO (1996).

Apesar de promover grande atenuação da radiação solar, o emprego de tela plástica não foi eficiente em reduzir as temperaturas diurnas internas, em nenhum dos dias estudados, representativos de estações distintas do ano.

3.3.3. Variáveis psicrométricas – umidade relativa do ar e déficit de saturação de vapor d'água.

As variações na umidade relativa do ar, por quinquídio, referentes ao período de 02/10/1999 e 16/08/2000 estão apresentadas na Figura 3.7, e as médias mensais são mostradas nos Quadros 3.5 a 3.7. Verificou-se comportamento muito similar, desta variável climática, nos diferentes ambientes estudados, resultados semelhantes aos observados por MARTINS (1992) e CAMACHO et al. (1995).

Os valores médios mensais variaram entre 54,0 e 81,0%, com média de 66,0%; de 53,7 a 80,1%, com média de 65,4%; e entre 54,0 e 81,9%, com média de

65,5%, respectivamente, nas estufas com e sem sombreamento, e em campo aberto (Quadro 3.5).

As médias mensais de umidade relativa máxima do ar variaram entre 81 e 96%, com média em torno de 90%, em todos os ambientes estudados, no período do experimento, e, mesmo em termos de valores absolutos, as diferenças raramente ultrapassaram 1%, como mostrado no Quadro 3.6.

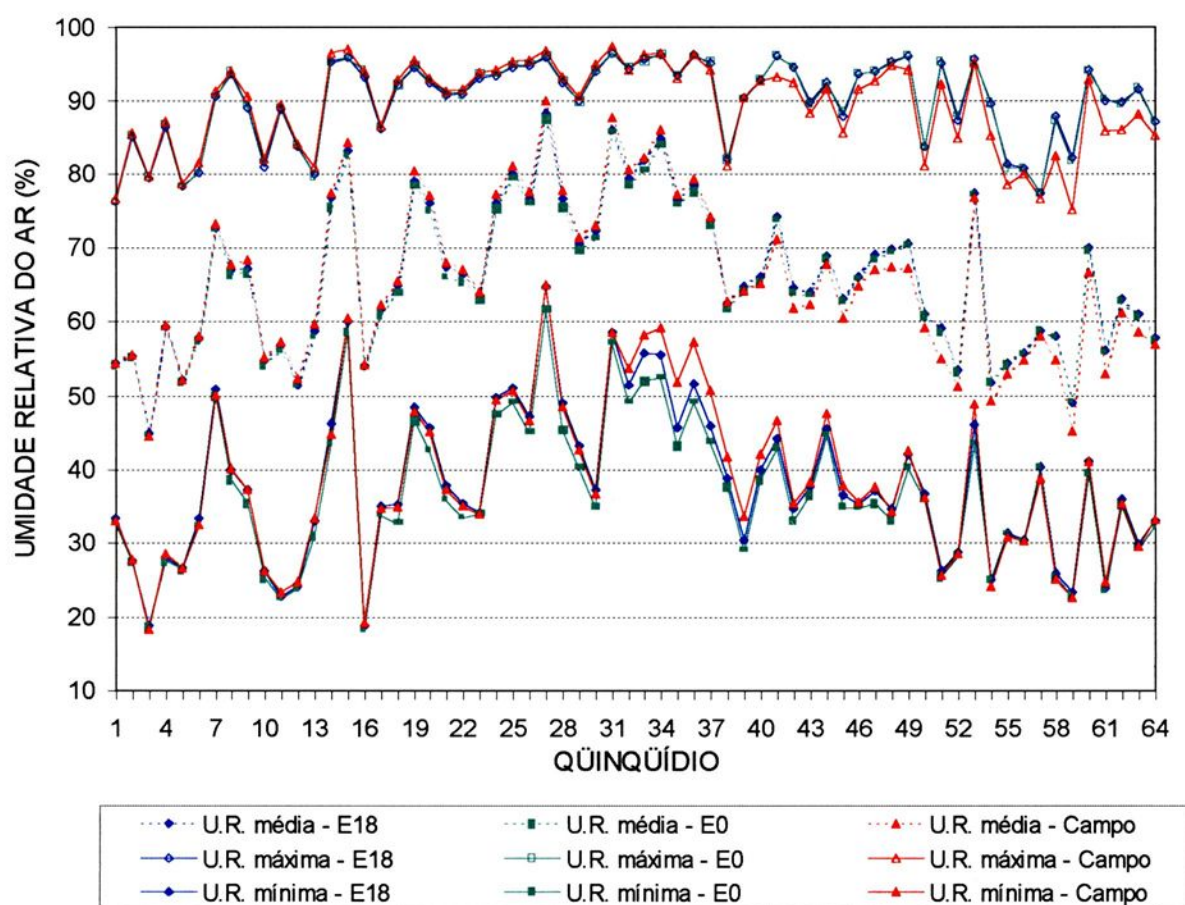


FIGURA 3.7. Variação, por quinquídios, das umidadeS relativas médias, máximas e mínimas do ar, em estufa com sombreamento de 18% (E18), estufa sem sombreamento (E0) e campo aberto, entre 02/10/1999 e 16/08/2000, em Ilha Solteira (SP).

QUADRO 3.5. Médias mensais de umidade relativa do ar (%), em estufa com 18% de sombreamento (E18), estufa sem sombreamento (E0) e campo aberto, no período de 02/10/1999 e 16/08/2000, em Ilha Solteira (SP).

MÊS	AMBIENTE		
	E18	E0	Campo
Outubro ⁽¹⁾	54,0	53,7	54,0
Novembro	61,7	61,2	62,4
Dezembro	67,1	66,2	67,8
Janeiro	71,6	70,6	72,4
Fevereiro	77,5	76,6	78,7
Março	81,0	80,1	81,9
Abril	66,6	66,0	65,3
Maiο	67,2	66,7	65,2
Junho	60,6	60,4	58,4
Julho	58,0	57,8	55,3
Agosto ⁽²⁾	60,6	60,3	58,9
MEDIA	66,0	65,4	65,5

⁽¹⁾A partir de 02/10/1999

⁽²⁾Até 16/08/2000

Os valores mínimos de umidade relativa, também, apresentaram pequena variação entre ambientes (Figura 3.7), com médias, para o período compreendido entre 02/10/1999 e 16/08/2000, de 37,9%, 36,4% e 38,3%, respectivamente, para a estufa coberta com filme de polietileno associado a tela de sombreamento de 18%; estufa coberta somente com filme de polietileno; e campo aberto (Quadro 3.7).

QUADRO 3.6. Valores médios e máximos absolutos mensais da umidade relativa máxima do ar (%), em estufa com sombreamento adicional de 18% (E18), em estufa sem sombreamento (E0) e em campo aberto, no período de 02/10/1999 e 16/08/2000, em Ilha Solteira (SP).

MÊS	MÉDIAS MENSAIS DA UMIDADE RELATIVA MÁXIMA DO AR (%)			VALORES MÁXIMOS ABSOLUTOS OBSERVADOS (%)		
	E18	E0	campo	E18	E0	campo
Outubro ⁽¹⁾	81,0	81,1	81,6	97,4	97,5	98,5
Novembro	87,8	88,0	88,6	97,7	97,7	98,8
Dezembro	90,6	90,7	91,5	97,8	98,2	98,9
Janeiro	92,6	92,8	93,3	97,2	97,2	98,3
Fevereiro	93,7	93,8	94,4	96,7	96,9	97,7
Março	95,3	95,3	95,5	97,3	97,5	98,1
Abril	91,6	91,5	90,3	98,1	97,6	98,1
Maio	92,7	92,6	91,2	98,7	98,5	98,6
Junho	89,2	89,2	86,8	98,2	98,0	98,4
Julho	85,7	85,5	82,1	97,1	96,9	97,2
Agosto ⁽²⁾	89,5	89,4	86,6	97,1	97,0	96,9
MEDIA	90,0	90,0	89,3			

⁽¹⁾ A partir de 02/10/1999.

⁽²⁾ Até 16/08/2000.

QUADRO 3.7. Valores médios e mínimos absolutos mensais da umidade relativa mínima do ar (%), em estufa com sombreamento adicional de 18% (E18), em estufa sem sombreamento (E0) e em campo aberto, no período de 02/10/1999 e 16/08/2000, em Ilha Solteira (SP).

MÊS	MÉDIAS MENSAIS DA UMIDADE RELATIVA MÍNIMA DO AR (%)			VALORES MÍNIMOS ABSOLUTOS OBSERVADOS (%)		
	E18	E0	campo	E18	E0	campo
Outubro ⁽¹⁾	27,9	27,4	27,7	12,5	12,2	12,9
Novembro	33,5	32,6	33,6	17,1	17,0	18,1
Dezembro	38,2	36,3	38,0	15,6	14,9	16,3
Janeiro	42,2	40,2	41,7	24,0	23,4	24,0
Fevereiro	48,8	46,0	48,4	31,3	29,0	31,0
Março	53,1	50,4	56,6	31,4	29,1	38,1
Abril	38,0	36,5	40,5	26,6	25,8	29,0
Maio	37,6	36,4	38,3	25,7	24,9	24,3
Junho	33,7	32,7	33,8	15,2	15,2	14,8
Julho	30,7	30,1	30,3	16,3	15,5	15,1
Agosto ⁽²⁾	32,9	32,1	32,6	19,5	19,0	18,7
MEDIA	37,9	36,4	38,3			

⁽¹⁾ A partir de 02/10/1999.

⁽²⁾ Até 16/08/2000.

As variações nas médias horárias de umidade relativa, em cada ambiente, nos dias 15/12/1999 e 02/06/1999, estão representadas na Figura 3.8.

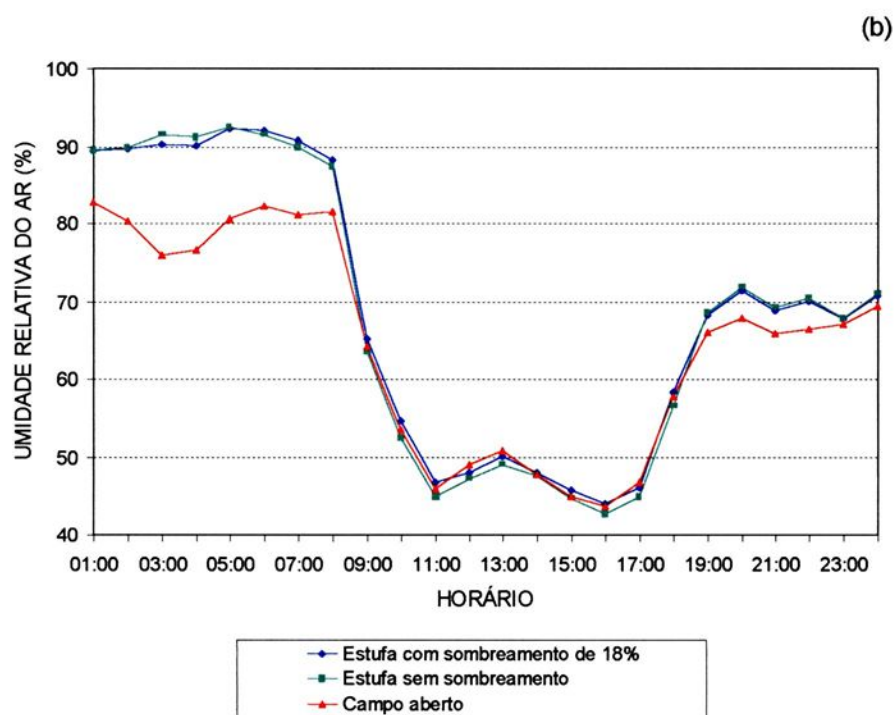
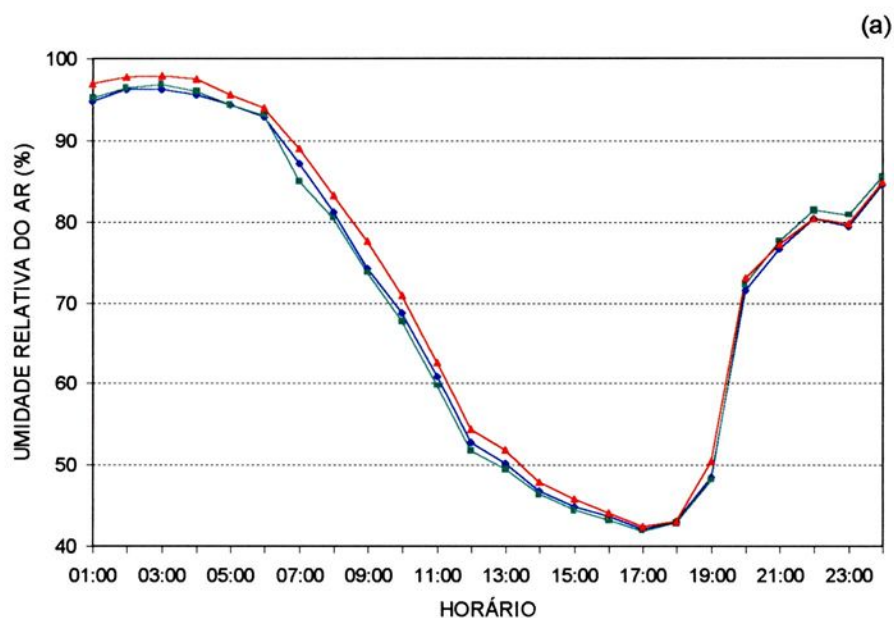


FIGURA 3.8. Variação das médias horárias de umidade relativa do ar, em estufa com sombreamento adicional de 18%, em estufa sem sombreamento e em campo aberto, nos dias 15/12/1999 (a) e 02/06/2000 (b), em Ilha Solteira, SP.

Como esperado, a variação na umidade relativa mostrou comportamento inverso ao da temperatura, obtendo-se as menores médias horárias nos momentos mais quentes do dia. Ainda, as variações destas, verificadas no dia 15/12/1999 e no período diurno do dia 02/06/2000, foram muito próximas, não se constatando diferenças entre estufas, e entre estas e o campo aberto (Figura 3.8).

Entretanto, no dia 02/06/2000, no período noturno, em que as temperaturas nos abrigos se mostraram inferiores às verificadas ao ar livre (Figura 3.6.b), foram observadas médias horárias de umidade relativa do ar, em ambiente protegido, consideravelmente mais elevadas (Figura 3.8.b), resultados similares aos obtidos por MARTINS et al. (1992) e COSTA et al. (2000).

Valores de umidade relativa do ar tão próximos, sob condições térmicas semelhantes, entre os ambientes, permitem inferir que os valores de déficit de saturação de vapor d'água não tenham apresentado diferenças relevantes, entre os mesmos, o que pode ser confirmado através da Figura 3.9 e Quadro 3.8.

O valor médio de déficit de saturação de vapor, para o período relativo ao experimento, foi de 1,1 kPa, em todos os ambientes estudados, com médias mensais que diferiram entre si em, no máximo, 0,1 kPa, como indicado no Quadro 3.8.

O déficit de saturação de vapor possui um importante papel, pois juntamente com a temperatura das folhas, regula o processo transpiratório das plantas. Os valores médios registrados em ambiente protegido, de acordo ALPI & TOGNONI (1991), podem ser considerados adequados, já que a faixa considerada comum em situações de cultivo protegido, está situada entre 0 e 3,46 kPa, e aquela tida como ideal, entre 0,2 e 1,0 kPa.

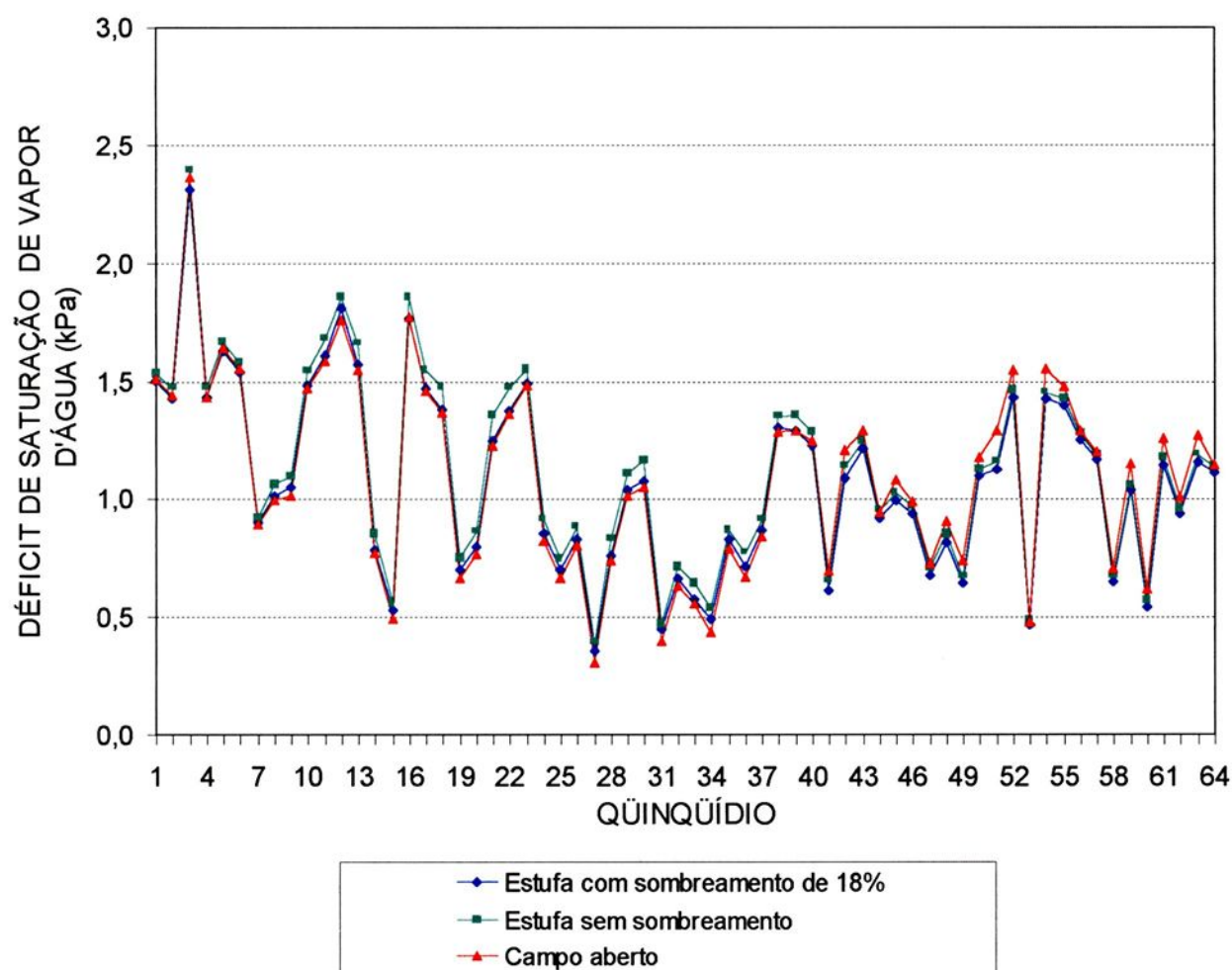


FIGURA 3.9. Variação, por quinquídios, dos valores médios do déficit de saturação de vapor d'água, em estufa com sombreamento de 18% (E18), estufa sem sombreamento (E0) e campo aberto, entre 02/10/1999 e 16/08/2000, em Ilha Solteira (SP).

QUADRO 3.8. Médias mensais de déficit de saturação de vapor d'água (kPa), em estufa com 18% de sombreamento (E18), estufa sem sombreamento (E0) e campo aberto, no período de 02/10/1999 e 16/08/2000, em Ilha Solteira (SP).

MÊS	AMBIENTE		
	E18	E0	Campo
Outubro ⁽¹⁾	1,6	1,7	1,7
Novembro	1,3	1,4	1,3
Dezembro	1,2	1,3	1,2
Janeiro	1,1	1,1	1,0
Fevereiro	0,8	0,9	0,8
Março	0,6	0,7	0,6
Abril	1,1	1,1	1,1
Maio	0,9	0,9	1,0
Junho	1,1	1,1	1,2
Julho	1,0	1,0	1,1
Agosto ⁽²⁾	1,1	1,1	1,1
MEDIA	1,1	1,1	1,1

⁽¹⁾A partir de 02/10/1999

⁽²⁾Até 16/08/2000

As variações nas médias horárias do déficit de saturação de vapor d'água, em 15/12/1999 e 02/06/2000, são apresentadas na Figura 3.10. Em ambos os dias escolhidos, os valores não ultrapassaram 2,5 kPa, valor situado, como já comentado, dentro da faixa comum em ambiente protegido.

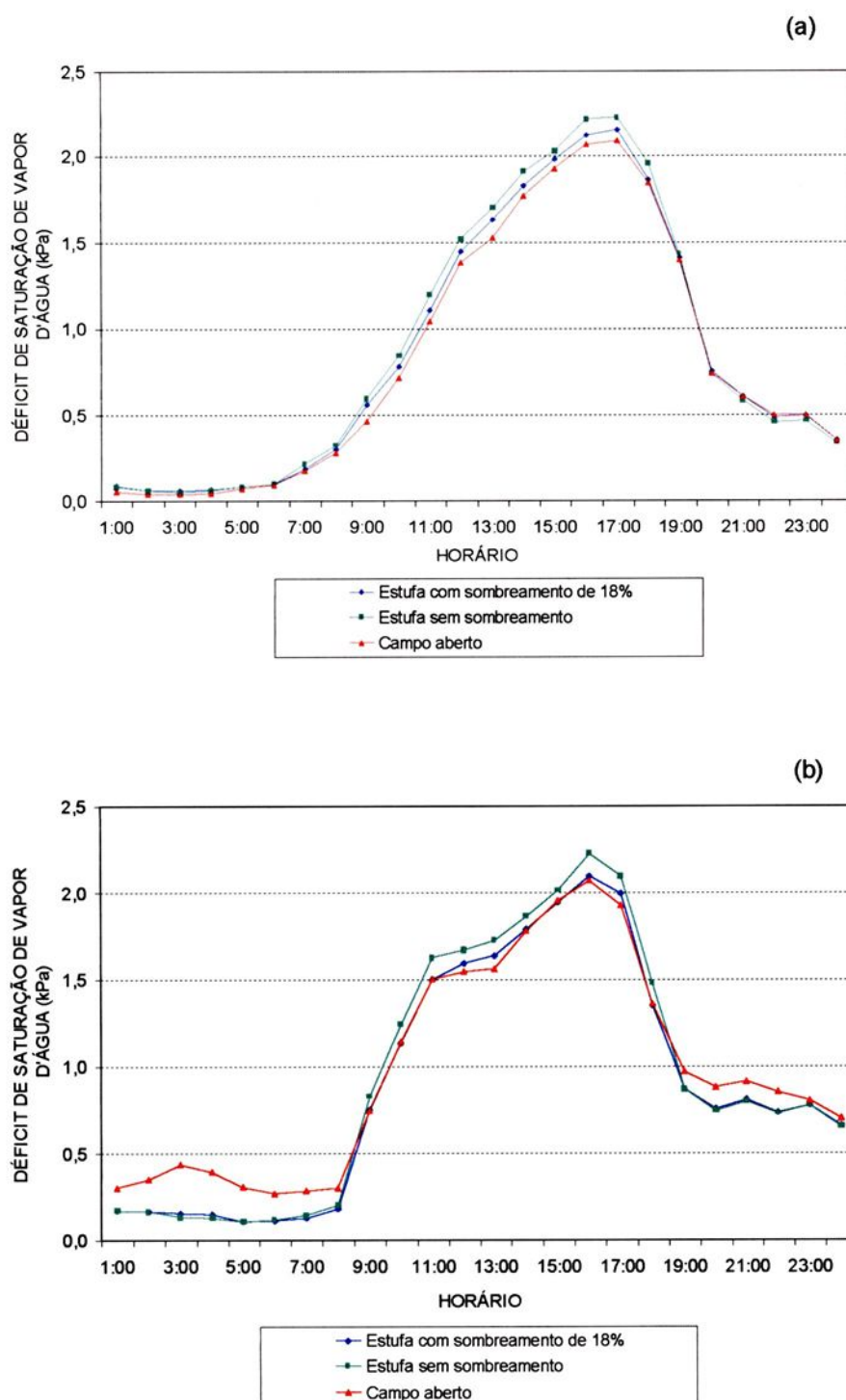


FIGURA 3.10. Variação das médias horárias de déficit de saturação de vapor d'água, em estufa com sombreamento adicional de 18%, em estufa sem sombreamento e em campo aberto, nos dias 15/12/1999 (a) e 02/06/2000 (b), em Ilha Solteira, SP.

Os valores, obtidos nos horários mais quentes do dia, se mostraram relativamente baixos, refletindo um elevado conteúdo de vapor d'água do ar, como, também, sugerido pelos valores de umidade relativa observados, em torno dos 50% (Figura 3.8), para temperaturas relativamente altas, ao redor dos 30 °C (Figura 3.6).

No dia 02/06/2000, verificaram-se médias de déficit de saturação de vapor, nos abrigos, ligeiramente menores que em campo aberto, no período noturno e nas primeiras horas de luz, como mostrado na Figura 3.10.b, resultado das menores temperaturas do ar e maiores valores de umidade relativa, no mesmo horário (Figura 3.6.b e 3.8.b).

3.4. CONCLUSÕES

Para as condições em que se desenvolveu o experimento, concluiu-se que o uso de sombreamento adicional (18%) não produziu eficiente redução da temperatura interna do abrigo para cultivo protegido, embora tenha promovido sensível redução na disponibilidade de radiação. Ainda, não proporcionou alterações importantes nos valores de umidade relativa e déficit de saturação de vapor d'água, em comparação ao abrigo sem sombreamento e ao campo aberto.

4. UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES FILMES PLÁSTICOS COMO COBERTURA DE ABRIGOS PARA CULTIVO PROTEGIDO, EM ILHA SOLTEIRA (SP)

4.1. OBJETIVOS

O presente experimento foi conduzido com o objetivo de caracterizar o ambiente interno de uma estufa coberta com filme térmico difusor de luz, comparado àquele de abrigo com cobertura com filme convencional de polietileno de baixa densidade, bem como ao verificado em campo aberto, através da determinação de algumas variáveis microclimáticas.

4.2. MATERIAL E MÉTODO

O ensaio foi desenvolvido na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia-UNESP, Câmpus de Ilha Solteira, com latitude 20°25'S,



longitude 51°21' WGR e altitude de 330 m, no Município de Ilha Solteira – SP, cujo clima caracteriza-se como subúmido, com pouca deficiência hídrica, com calor bem distribuído durante o ano, com estiagem no inverno, média anual de temperatura em torno de 24,1 °C e precipitação média anual de 1400 mm, conforme relatório do IPT (s.d.) citado por CARVALHO et al. (1989).

Estudou-se o ambiente interno de estufas cobertas com filme térmico difusor de luz (FTD) e com filme de polietileno de baixa densidade (PE), comparado ao campo aberto, no período de 19/08/2000 a 20/05/2001.

Para realização do experimento, foram construídas duas estufas de 5,2 x 15,0 m, com orientação leste-oeste, com pé direito de eucalipto com 2,8 m de altura, e teto em forma de arco, construído com canos de aço galvanizado de 1" de diâmetro. Uma delas foi coberta com filme térmico difusor de luz, de 150 µm de espessura, enquanto a outra recebeu filme transparente de polietileno de baixa densidade, de 100 µm de espessura, como cobertura. As laterais das estufas foram cercadas com filme plástico, até 1,0 m de altura, e, então, com tela de sombreamento de 50%, entre 1,0 m e 2,5 m. As estufas foram cultivadas com melão rendilhado entre 19/08 e 08/12/2000.

Filme térmico difusor de luz refere-se à designação comercial do filme de polietileno coextrusado, que apresenta, como característica principal, efeito dispersante da radiação transmitida, além de maior opacidade às radiações de onda longa. Segundo especificações do fabricante, a parcela de radiação difusa, do total transmitido, varia de 65%, no comprimento de onda de 380 nm, a 40%, no comprimento de onda de 800 nm (NORTÈNE, s.d.).



Foram medidas a densidade de fluxo de radiação, a temperatura e umidade relativa do ar, utilizando-se:

- a) *nos abrigos*: piranômetros com célula de silício, modelo SP Lite, da SCI-TEC Instruments, com respostas a comprimentos de onda entre 400 e 1100 nm, instalados no centro, a 2 m de altura; e sensores de temperatura e umidade, modelo HMP45C, da Vaisala, com faixa de leitura de temperatura entre -40 e 60 °C (acurácia variando de $\pm 0,2$ °C a $\pm 0,5$ °C), e faixa de leitura de umidade relativa do ar entre 0 e 100% (acurácia variando de $\pm 2\%$ a $\pm 3\%$), protegidos contra incidência direta da radiação solar. Todos os registros foram efetuados por um sistema de aquisição de dados multicanais CR10X, da Campbell Scientific;
- b) *em campo aberto*: piranômetro com célula de silício, modelo LI 200-X, da LI-COR, com respostas a comprimentos de onda entre 400 e 1100 nm; sensor de temperatura e umidade, modelo HMP45C, da Vaisala; e sistema de aquisição de dados multicanais CR23X, da Campbell Scientific; que fazem parte da estação climatológica da Área de Hidráulica e Irrigação (Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Rural), situada a cerca de 300 m do local do ensaio.

A partir dos dados medidos, foram determinados:

- a) as médias, por quinquídio, dos valores médios, máximos e mínimos diários de temperatura do ar;
- b) as médias, por quinquídio, dos valores médios, máximos e mínimos diários de umidade relativa do ar;
- c) as médias, por quinquídio, dos valores médios diários de déficit de saturação de vapor d'água, estimados como no capítulo 3;



- d) as médias, por quinquídio, dos totais diários de densidade de fluxo de radiação;
- e) as médias, por quinquídio, das transmitâncias à radiação, em cada abrigo;
- f) as regressões lineares para estimativa dos totais diários de radiação no interior dos abrigos, sem e com sombreamento, em função do total diário de radiação em campo aberto, utilizando-se o método dos quadrados mínimos.

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1. Radiação Solar

Os níveis de radiação solar (400 a 1100 nm), no abrigo coberto com filme térmico difusor de luz, foram menores que naquele coberto com filme de polietileno convencional (Figura 4.1). Os valores médios, para o período de 19/08/2000 a 20/05/2001, corresponderam a $12,9 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$; $15,4 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e $20,4 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, respectivamente, nas estufas cobertas com filme térmico difusor (FTD), com filme de polietileno convencional (PE) e campo aberto, como detalhado no Quadro 4.1.

As transmitâncias médias, por quinquídio, variaram entre 59,9 e 70,8%, com média de 63,4%, na estufa coberta com FTD, e entre 72,0 e 84,9%, com média de 75,5%, naquela com PE, como mostrado na Figura 4.2. Os valores encontrados para o abrigo coberto com filme convencional estiveram muito próximos aos reportados na literatura (TULLER & PETERSON, 1988; FARIAS et al., 1993b; CAMACHO et al., 1995; BURIOL et al., 1995 e SENTELHAS et al., 1997; entre outros).



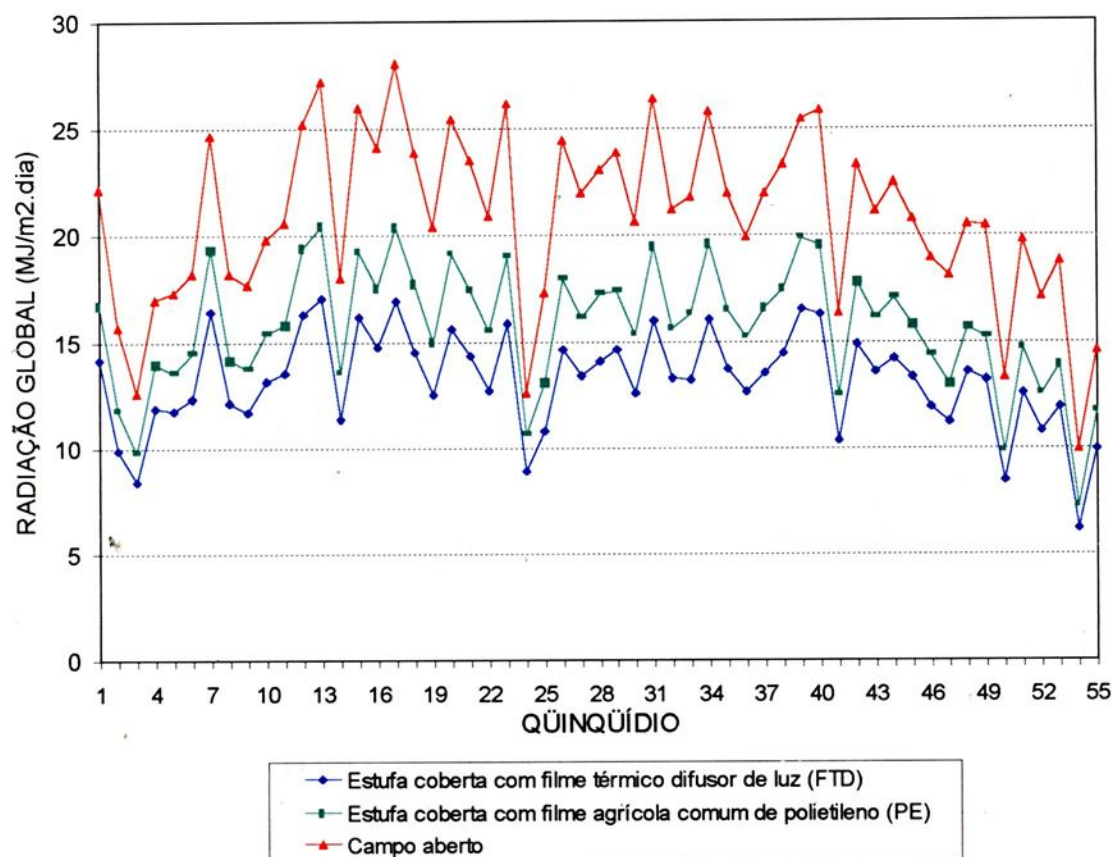


FIGURA 4.1. Variação, por quinquídios, da radiação global ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) em estufa coberta com filme térmico difusor de luz (FTD), em estufa coberta com filme convencional de polietileno (PE) e em campo aberto, no período de 19/08/2000 e 20/05/2001, em Ilha Solteira, SP.

Os distintos valores de transmissividade dos materiais testados estão relacionados às diferenças na espessura dos filmes (SEMEDO, 1988; ROBLEDO DE PEDRO & MARTIN VICENTE, 1988; BUREK et al., 1989); à diversidade do processo de fabricação (coextrusão de multicamadas, para o FTD, e convencional de extrusão em monocamada, para o PE) e diferenças nos aditivos empregados, sendo que, em média, a disponibilidade de radiação na estufa coberta com FTD, foi de 85,5% daquela obtida no abrigo coberto com PE, no período do experimento.

QUADRO 4.1. Valores médios, máximos e mínimos mensais de totais diários de radiação global, em estufa coberta com filme térmico difusor de luz (FTD), em estufa coberta com filme convencional de polietileno (PE) e em campo aberto, entre 19 de agosto de 2000 e 20 de maio de 2001, em Ilha Solteira, SP.

MÊS	MÉDIA MENSAIS DE TOTAIS DIÁRIOS DE RADIAÇÃO (MJ.m ⁻²)			MÁXIMOS MENSAIS DE TOTAIS DIÁRIOS DE RADIAÇÃO (MJ.m ⁻²)			MÍNIMOS MENSAIS DE TOTAIS DIÁRIOS DE RADIAÇÃO (MJ.m ⁻²)		
	FTD	PE	Campo	FTD	PE	Campo	FTD	PE	Campo
Agosto ⁽¹⁾	11,0	13,0	17,3	14,3	16,9	22,5	1,1	1,3	1,7
Setembro	12,2	14,3	18,1	16,9	19,7	25,3	3,9	4,5	5,7
Outubro	14,6	17,3	22,7	17,8	21,4	28,4	5,5	6,6	8,8
Novembro	14,8	18,0	24,4	18,4	22,7	30,4	4,9	6,0	7,9
Dezembro	12,7	15,4	20,7	18,7	22,9	31,1	3,5	4,2	6,1
Janeiro	14,0	17,0	23,0	18,4	22,5	30,6	5,8	7,0	9,1
Fevereiro	14,3	17,3	22,8	17,8	21,6	28,5	6,1	7,3	9,6
Março	13,8	16,6	21,8	17,5	21,1	28,2	7,3	9,0	12,0
Abril	11,8	13,8	18,5	14,3	17,3	22,1	4,6	5,4	7,3
Maio ⁽²⁾	9,7	11,3	15,1	12,9	14,9	20,9	3,2	3,8	4,9
MEDIA	12,9	15,4	20,4						

⁽¹⁾A partir de 19/08/2000.

⁽²⁾Até 20/05/2001.

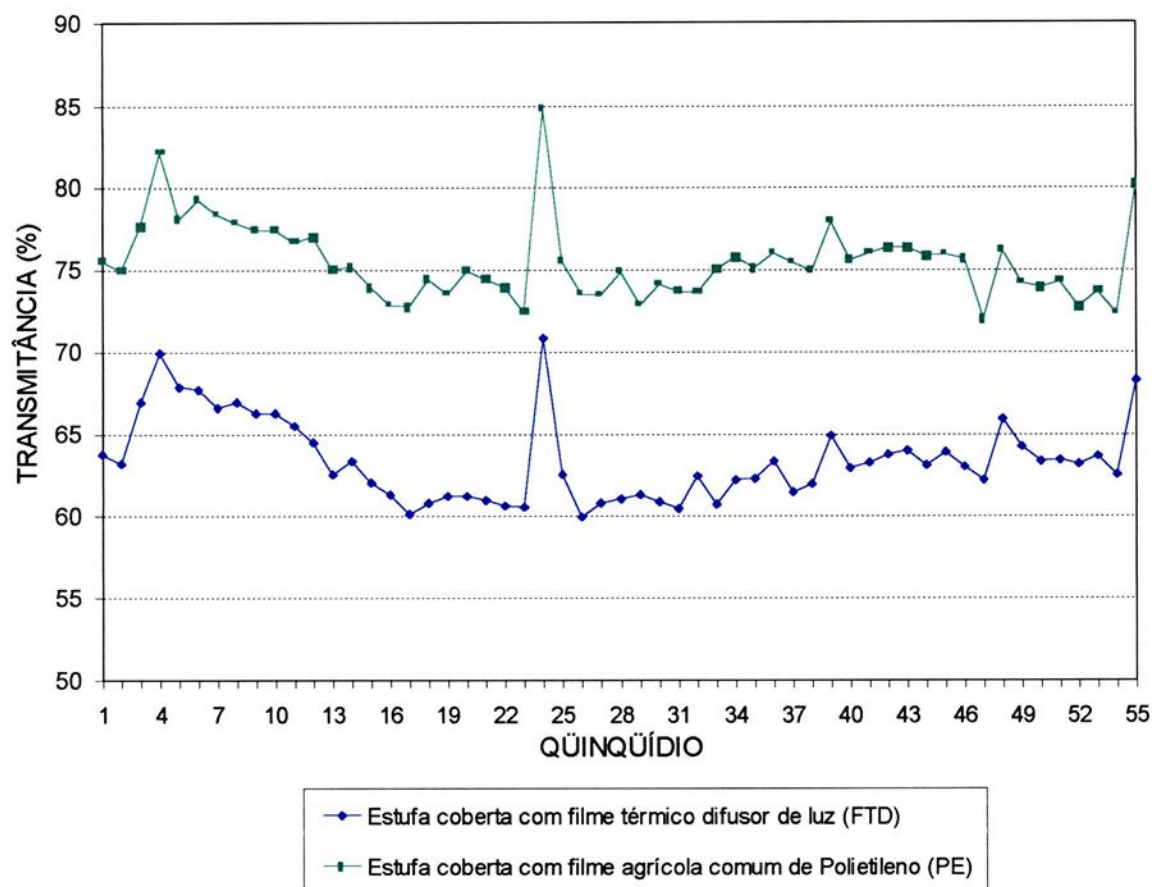


FIGURA 4.2. Transmitância média, por quinquídios, em estufa coberta com filme térmico difusor de luz (FTD) e em estufa coberta com filme convencional de polietileno, no período de 19/08/2000 a 20/05/2001, em Ilha Solteira (SP).

As curvas de regressão linear que descrevem a disponibilidade de radiação no interior das estufas, em função dos níveis de radiação em campo aberto, assim como os polinômios que estimam as referidas relações, estão apresentadas na Figura 4.3.

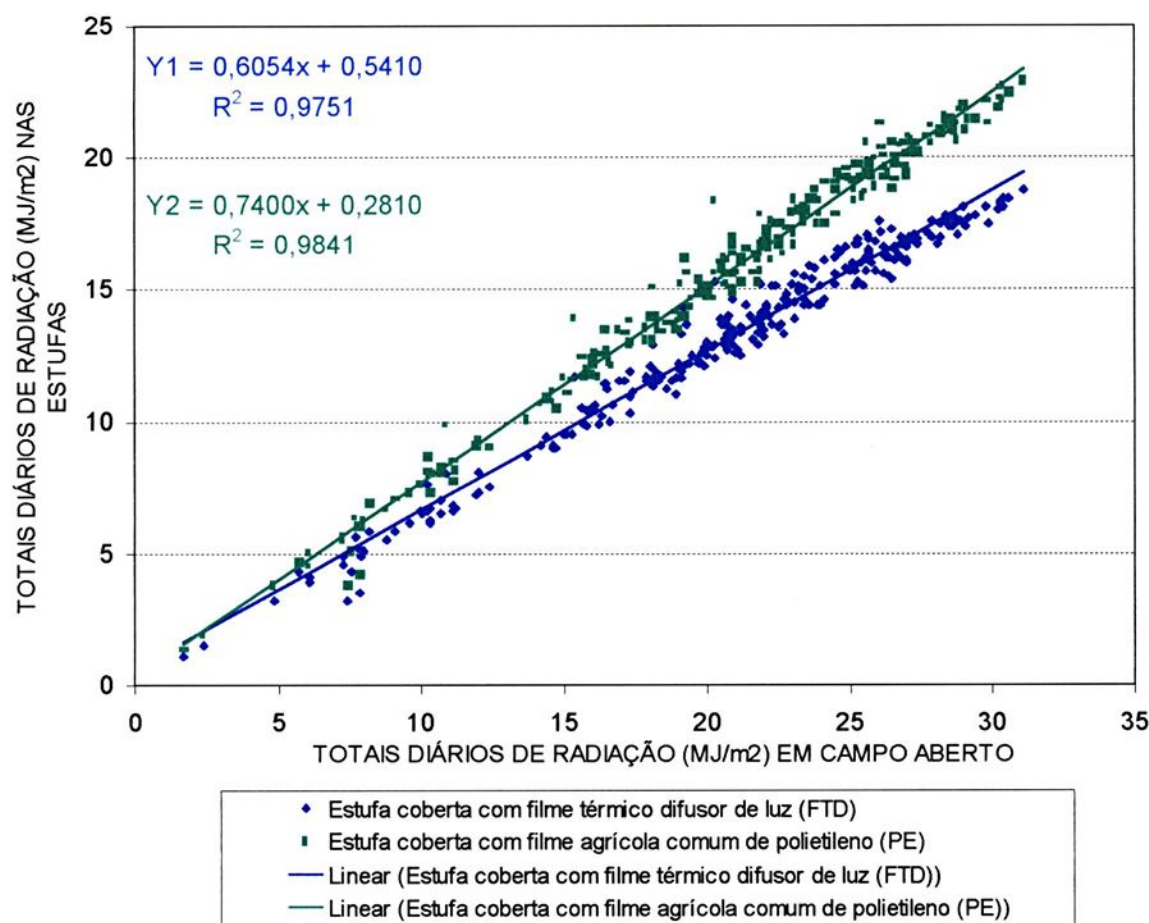


FIGURA 4.3. Estimativas dos totais diários de radiação global em estufa coberta com filme térmico difusor de luz (Y1) e em estufa coberta com filme convencional de polietileno (Y2), em função do total diário de radiação global em campo aberto (x), no período de 19/08/2000 a 20/05/2001, em Ilha Solteira (SP).

Os elevados valores dos coeficientes de determinação, verificados nos ajustes dos modelos lineares, indicam que podem ser obtidas estimativas precisas dos níveis de radiação nos abrigos, a partir de medidas em campo aberto. O erro padrão na estimativa do total de radiação na estufa coberta com FTD, a partir da disponibilidade de radiação externa, correspondeu a $\pm 0,60 \text{ MJ.m}^{-2}$, enquanto que para estufa coberta com PE, este valor foi de $\pm 0,58 \text{ MJ.m}^{-2}$.

4.3.2. Temperatura do ar

Assim como obtido em trabalho de MARTINS et al. (1992), as temperaturas médias do ar foram muito próximas, entre os ambientes estudados, como mostrado no Quadro 4.2 e Figura 4.4. Os valores médios, por quinquídio, variaram entre 19,4 e 30,2 °C, na estufa coberta com FTD; de 19,5 a 30,5 °C, na estufa coberta com PE, e entre 19,2 e 30,7 °C, em campo aberto.

Ainda, não foram constatadas diferenças entre as temperaturas mínimas do ar, no que se refere às médias e valores absolutos (Quadro 4.2 e Figura 4.4). Os valores mínimos médios, por quinquídio, se situaram entre 12,5 e 23,0 °C, no abrigo coberto com FTD, de 12,6 a 23,1 °C, no abrigo coberto com PE; e entre 13,0 e 23,0 °C, em campo aberto, no período compreendido entre 19/08/2000 e 20/05/2001.

As coberturas com filme convencional de polietileno são bastante transparentes às radiações de ondas longas (DUNCAN & WALKER, 1975; GODBEY et al., 1979; NIJSKENS et al., 1985; SEMEDO, 1988 e ALPI & TOGNONI, 1991) e a baixa capacidade armazenamento de energia, de estruturas que fazem uso deste material como cobertura, é relatada na literatura (MILLS et al., 1990; FARIAS et al., 1993a; e CAMACHO et al., 1995) e foi constatada no experimento reportado no capítulo 3.



QUADRO 4.2. Médias mensais de temperatura do ar, valores médios e máximos absolutos mensais de temperatura máxima do ar e valores médios e mínimos absolutos mensais de temperatura mínima do ar, em estufa coberta com filme térmico difusor de luz (FTD), estufa coberta com polietileno (PE) e em campo aberto, no período de 19/08/2000 a 20/05/2001, em Ilha Solteira (SP).

MÊS	MÉDIAS MENSAIS DE TEMPERATURA (°C)			MÉDIA DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS (°C)			VALORES MÁXIMOS ABSOLUTOS (°C)			MÉDIA DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS (°C)			VALORES MÍNIMOS ABSOLUTOS (°C)		
	FTD	PE	Campo	FTD	PE	Campo	FTD	PE	Campo	FTD	PE	Campo	FTD	PE	Campo
Agosto ⁽¹⁾	23,8	24,0	23,9	33,1	33,9	31,4	40,1	39,9	37,2	16,8	16,9	17,9	14,5	14,7	14,9
Setembro	23,7	24,1	23,8	31,0	31,9	29,8	37,4	38,2	36,0	18,7	18,8	19,0	13,8	13,9	14,1
Outubro	27,1	27,6	27,6	35,7	37,6	34,8	40,2	42,1	39,3	20,4	20,5	21,5	14,8	15,3	17,0
Novembro	27,2	27,7	26,6	35,3	36,9	32,7	40,9	42,6	37,0	21,6	21,7	21,7	18,7	18,8	18,8
Dezembro	26,8	27,2	25,8	35,0	36,3	31,9	40,6	41,0	36,1	21,7	21,8	21,5	17,5	17,6	17,0
Janeiro	27,6	28,1	26,6	36,6	37,8	32,5	40,2	41,5	35,7	22,0	22,1	21,9	20,4	20,6	20,1
Fevereiro	27,6	28,1	26,4	37,4	38,1	32,8	40,9	41,6	35,6	22,3	22,3	21,9	21,2	21,3	20,6
Março	27,5	28,0	26,5	36,7	38,1	32,6	40,5	41,3	35,0	21,8	22,0	21,8	19,6	19,7	19,5
Abril	26,9	27,4	26,6	36,7	37,5	33,0	38,8	40,5	37,7	21,0	21,0	21,3	18,7	17,8	19,1
Maio ⁽²⁾	21,2	21,4	20,9	29,0	30,7	26,7	37,5	38,8	33,2	14,8	14,8	15,0	7,3	7,2	7,7
MEDIA	26,2	26,7	25,7	35,0	36,2	32,0				20,5	20,6	20,7			

⁽¹⁾ A partir de 19/08/2000.

⁽²⁾ Até 20/05/2001.



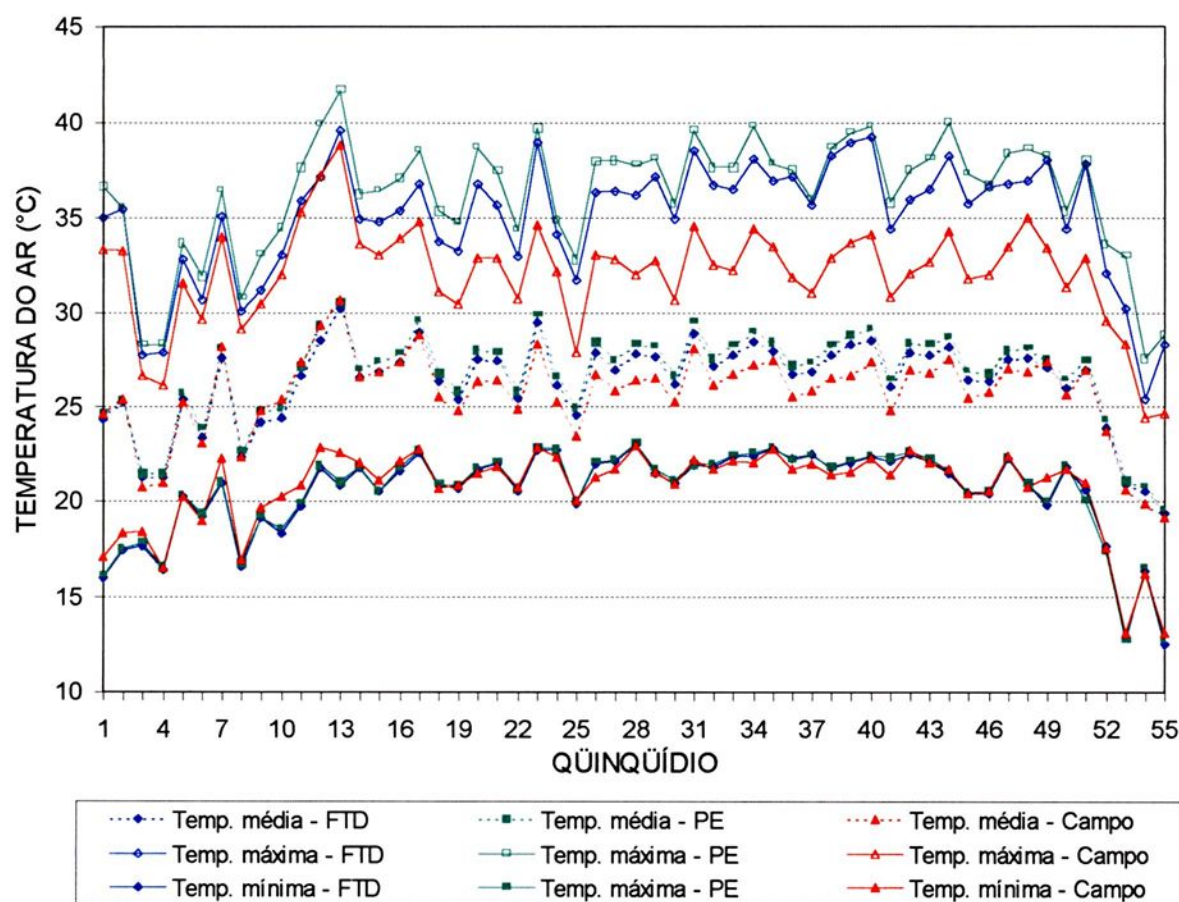


FIGURA 4.4. Variação, por quinquídios, das temperaturas médias, máximas e mínimas do ar, em estufa coberta com filme térmico difusor de luz (FTD), estufa coberta com filme convencional de polietileno (PE) e campo aberto, entre 19/08/2000 e 20/05/2001, em Ilha Solteira (SP).

O filme térmico difusor de luz (FTD), distintamente do filme de polietileno agrícola comum, é aditivado com bloqueadores à radiação infra-vermelho (NORTÉNE, s.d.), o que reduz as perdas de energia por irradiação. Porém, de modo contrário ao esperado, sua utilização não contribuiu para obtenção de temperaturas mínimas mais elevadas, em comparação à estufa com filme convencional, o que pode ser atribuído, principalmente, às perdas por convecção (por meio das telas plásticas, que

não impediram as trocas de ar), as quais podem ter sido bastante efetivas, em função do pequeno volume de ar do abrigo.

O efeito mais sensível das estufas ocorreu sobre as temperaturas máximas (Quadro 4.2 e Figura 4.4), resultados concordantes com os de FARIA JUNIOR (1994) e FARIA JUNIOR (1997), sendo os valores médios do período, respectivamente, nos abrigos cobertos com FTD e PE, foram de 35,0 e 36,2 °C, enquanto em campo aberto este valor correspondeu a 32,0 °C. Nos dias mais quentes, em cada mês, as temperaturas atingiram graduações elevadas, com temperaturas próximas a (na maior parte dos meses, acima de) 40 °C, valores inadequados para a maioria das culturas hortícolas, cuja faixa se situa entre 18 e 25 °C (SERRANO CERMEÑO, s.d.; MAROTO BORREGO, 1995). Segundo ANDRIOLO (2000), temperaturas excessivas determinam o aumento da respiração das plantas, diminuindo sua assimilação líquida.

O comportamento térmico das estufas, em relação às máximas, teve relação estreita com a radiação incidente e com a menor movimentação de ar nos abrigos, já que a ventilação, embora não tenha sido impedida, foi restringida pelas telas plásticas que fechavam as laterais, o que determinou um maior aquecimento do ar no interior do abrigo, em relação ao campo aberto, onde as trocas de calor devem ter sido mais intensas, em função de processos mais efetivos de convecção e advecção.

Estes resultados evidenciam a dependência da temperatura interna dos abrigos à radiação incidente, pois, como já discutido, não foram detectadas diferenças entre as mínimas que, por definição, ocorrem antes dos primeiros raios solares.

Assim, foram determinadas as equações de regressão múltipla, que estimam a temperatura média diária no interior dos abrigos (°C), em função da

temperatura média diária (°C) e do total diário de radiação (MJ.m^{-2}) em campo aberto, utilizando-se o método dos quadrados mínimos. As equações encontradas foram:

$$\bar{T}_{FTD} = 0,9218 \cdot \bar{T}_{EXT} + 0,0355 \cdot Rg_{EXT} + 1,7904$$

$$R^2 = 0,9340$$

$$se_Y = \pm 0,7290 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\bar{T}_{PE} = 0,9501 \cdot \bar{T}_{EXT} + 0,0408 \cdot Rg_{EXT} + 1,3905$$

$$R^2 = 0,9339$$

$$se_Y = \pm 0,7574 \text{ } ^\circ\text{C}$$

em que:

$\bar{T}_{FTD}$ = temperatura média diária (°C), no abrigo coberto com filme térmico difusor de luz

$\bar{T}_{PE}$ = temperatura média diária (°C), no abrigo coberto com filme convencional de polietileno

$\bar{T}_{EXT}$ = temperatura média diária (°C), em campo aberto

Rg_{EXT} = total diário de radiação global (MJ.m^{-2}), em campo aberto

Cerca de 93% da variação na temperatura média interna dos abrigos é explicada pelas equações de regressão correspondentes, como indicado pelos coeficientes de determinação, o que garante estimativas relativamente precisas daquela variável, através da temperatura média diária e total diário de radiação em campo aberto.

4.3.3. Variáveis psicrométricas – umidade relativa do ar e déficit de saturação de vapor d'água.

As variações na umidade relativa do ar estão apresentadas na Figura 4.5, e as médias mensais são mostradas no Quadro 4.3. Os valores médios, por quinquídio, da umidade relativa média diária, variaram entre 46,7 e 87,2%, com média de 67,8%; de 47,2 a 82,6%, com média de 68,0%; e entre 41,0 e 87,0%, com média de 68,5%, respectivamente, nas estufas cobertas com FTD e com PE, e em campo aberto, no período de 19/08/2000 a 20/05/2001, com comportamento muito similar entre os ambientes, como já constatado em trabalhos de REIS & HORINO (1988) e MARTINS (1992).

As médias, por quinquídio, da umidade relativa máxima do ar, se situaram entre 80,3 e 96,5%, com média de 91,3%, na estufa coberta com FTD; de 81,2 a 97,3%, com média de 92,0%, na estufa coberta com PE; e entre 77,4 a 98,5%, com média de 90,3%, em campo aberto, como mostrado na Figura 4.5. Os valores foram bastante próximos entre si, sugerindo que o conteúdo de vapor d'água do ar foi o mesmo nos três ambientes estudados, já que o comportamento térmico das estufas, nas horas de menor temperatura, foi semelhante ao verificado em campo aberto (Figura 4.4).

Umidades excessivamente altas, nas estufas, podem causar efeitos indesejáveis, como a condensação na face interna do filme plástico de cobertura, que implica na redução na transmitância da radiação solar, prejudicando a disponibilidade de energia aos cultivos, além de favorecer o surgimento e desenvolvimento de doenças

criptogâmicas nas plantas, como discutido por ROBLEDO DE PEDRO & MARTIN VICENTE (1988), SEMEDO (1988), SERRANO CERMEÑO (1994) e HANAN (1998).

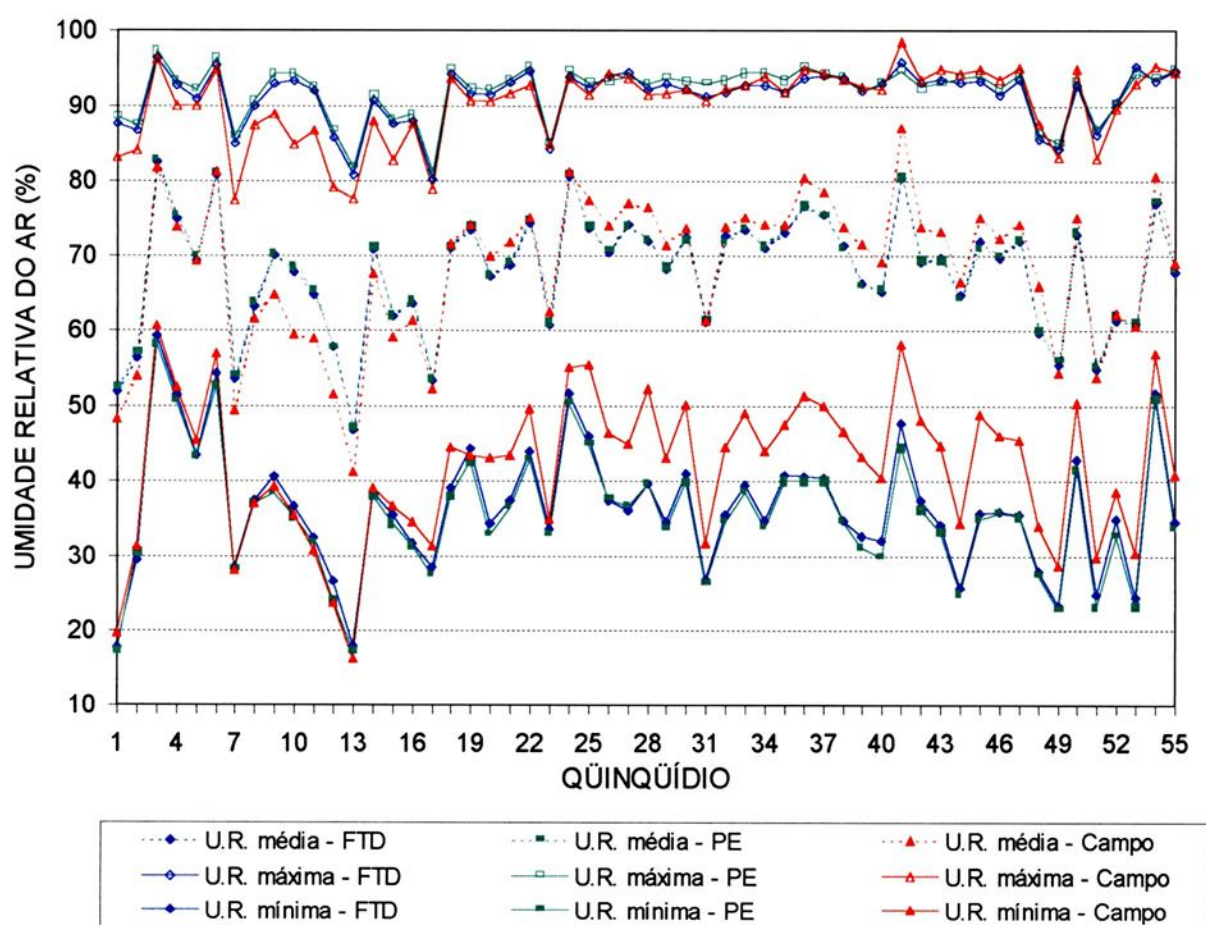


FIGURA 4.5. Variação, por quinqüídios, das umidade relativas médias, máximas e mínimas do ar, em estufa coberta com filme térmico difusor de luz (FTD), estufa coberta com filme convencional de polietileno (PE) e campo aberto, entre 19/08/2000 e 20/05/2001, em Ilha Solteira (SP).

QUADRO 4.3. Médias mensais de umidade relativa do ar, valores médios e máximos absolutos mensais de umidade relativa máxima do ar e valores médios e mínimos absolutos mensais de umidade relativa mínima do ar, em estufa coberta com filme térmico difusor de luz (FTD), estufa coberta com polietileno (PE) e em campo aberto, no período de 19/08/2000 a 20/05/2001, em Ilha Solteira (SP).

MÊS	MÉDIAS MENSAIS DE UMIDADE RELATIVA (%)			MÉDIAS DE UMIDADE RELATIVA MÁXIMA (%)			VALORES MÁXIMOS ABSOLUTOS (%)			MÉDIAS DE UMIDADE RELATIVA MÍNIMA (%)			VALORES MÍNIMOS ABSOLUTOS (%)		
	FTD	PE	Campo	FTD	PE	Campo	FTD	PE	Campo	FTD	PE	Campo	FTD	PE	Campo
Agosto ⁽¹⁾	60,4	61,0	57,9	89,2	90,1	86,5	97,0	98,2	96,7	32,9	32,8	34,6	12,1	12,8	14,3
Setembro	70,2	70,6	68,5	91,8	92,6	89,0	97,3	98,0	97,5	43,7	42,9	44,6	20,6	21,2	19,4
Outubro	61,9	62,3	56,4	88,8	89,7	83,5	96,0	97,4	95,0	31,4	30,2	30,3	16,0	15,1	14,0
Novembro	65,7	66,0	66,1	89,2	89,9	88,1	96,0	96,6	95,8	35,5	34,5	39,5	23,6	22,4	28,6
Dezembro	72,2	72,5	74,5	92,4	92,8	91,9	95,9	96,3	97,0	41,2	40,6	47,5	28,9	28,1	27,4
Janeiro	70,0	69,9	71,9	92,3	93,6	91,9	95,4	96,2	95,7	36,0	35,2	44,9	24,4	23,7	29,4
Fevereiro	72,7	72,8	75,9	93,1	94,0	93,7	95,3	96,1	96,9	37,6	36,9	47,6	28,0	27,3	35,3
Março	69,9	69,9	73,9	93,7	93,6	94,6	96,1	95,4	99,2	35,2	33,8	45,5	21,5	20,9	26,7
Abril	64,1	64,4	65,9	88,9	89,7	89,5	94,6	95,4	98,1	31,6	30,8	38,9	20,6	19,2	23,0
Maio ⁽²⁾	66,8	67,2	68,1	93,5	93,4	93,1	96,7	96,1	98,8	36,3	35,1	41,6	16,2	15,1	21,1
MEDIA	67,8	68,0	68,5	91,3	92,0	90,3				36,3	35,4	41,9			

⁽¹⁾A partir de 19/08/2000.

⁽²⁾Até 20/05/2001.



Foram observadas menores médias de umidade relativa mínima do ar em ambiente protegido (Quadro 4.3 e Figura 4.5), resultados semelhantes aos de FARIA et al. (1993a), sem se verificasse qualquer influência do material de cobertura sobre os valores obtidos. A umidade relativa do ar tem relação inversa com a temperatura e, assim, este resultado esteve associado às temperaturas máximas alcançadas nos abrigos, as quais foram sensivelmente superiores às medidas em campo aberto (Quadro 4.1 e Figura 4.4).

Os menores valores de umidade relativa mínima, nas estufas, refletiram uma maior demanda evaporativa do ar, nos horários mais quentes do dia. Em níveis muito baixos de umidade do ar, o déficit de saturação de vapor pode atingir níveis indesejáveis, reduzindo a condutância estomática, com consequências negativas sobre a fotossíntese e transpiração das plantas. Entretanto, em termos médios, durante a maior parcela de tempo, o déficit de saturação de vapor d'água permaneceu variando entre 0,5 e 1,5 kPa (Figura 4.6), valores considerados não prejudiciais, conforme ANDRIOLO (2000).

A faixa de variação do déficit de saturação, observada neste ensaio, não foi distinta daquela relatada para o ensaio reportado no capítulo 3, encontrando-se muito próxima dos limites considerados ideais por ALPI & TOGNONI (1991), de 0,2 a 1,0 kPa.



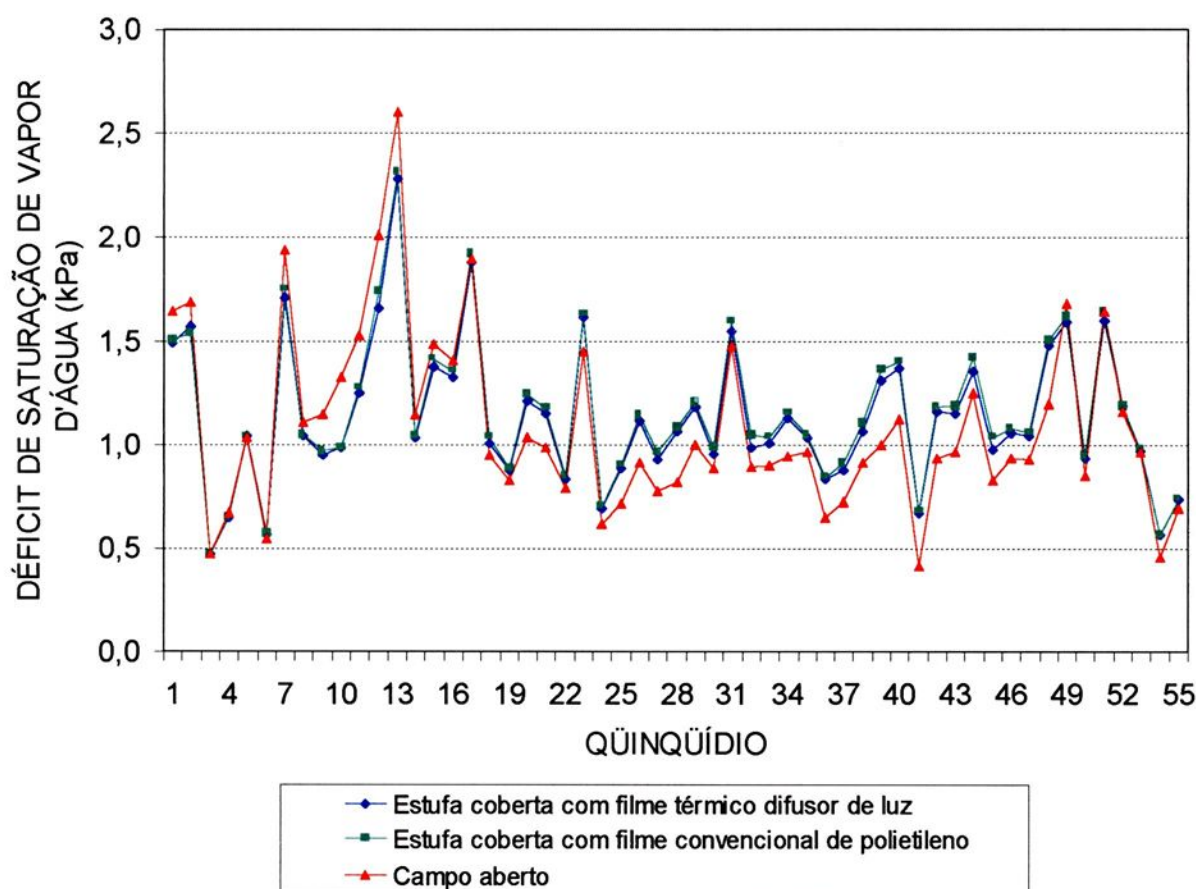


FIGURA 4.6. Variação, por quinquídios, dos valores médios do déficit de saturação de saturação de vapor d'água, em estufa coberta com filme térmico difusor de luz, em estufa coberta com filme convencional de polietileno e em campo aberto, entre 19/08/2000 e 20/05/2001, em Ilha Solteira (SP).

4.4. CONCLUSÕES

Observadas as condições experimentais, concluiu-se que a utilização do filme térmico difusor de luz não promoveu modificações na temperatura e umidade relativa do ar, bem como no déficit de saturação de vapor d'água, porém, reduziu a

disponibilidade de radiação global em 16,2%, em termos médios, em relação à obtida no abrigo coberto com filme convencional de polietileno. De modo geral, as maiores alterações microclimáticas em ambiente protegido ocorreram com as temperaturas máximas e umidades relativas mínimas, além das significativas reduções no aporte de radiação global, em comparação ao campo aberto.



5. MODIFICAÇÕES MICROCLIMÁTICAS SOB TELADOS COM DIFERENTES MALHAS, EM SELVÍRIA (MS).

5.1 OBJETIVOS

O presente experimento foi conduzido com o objetivo de caracterizar o microclima sob telados com diferentes malhas, construídos com o intuito de proporcionar proteção física a plantas de mamoeiro contra pragas.

5.2. MATERIAL E MÉTODO

O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia/UNESP, Câmpus de Ilha Solteira, localizada no Município de Selvíria-MS, que apresenta altitude média de 335 m, latitude de 20°22' S e longitude de 51°22' WGR.



O clima local, segundo a classificação internacional de Köppen, é do tipo Aw, apresentando temperatura média anual de 25°C, precipitação anual média de 1330 mm e umidade relativa média de 66% (CENTURION, 1982).

Para realização do ensaio, foram construídos dois telados de teto plano, com 22 m de largura, 40 m de comprimento e 4 m de altura, montados com postes de eucalipto, com aplicação de cordoalhas e arames para sustentação do material de cobertura e fechamento lateral, que consistiu de tela branca de polipropileno com malha de 2x2 mm, para um dos abrigos, e de tela do mesmo material e coloração, com malha de 2x1 mm, para o outro.

Foram medidas a radiação global (400 a 1100 nm), a radiação fotossinteticamente ativa – RFA (400 a 700nm), a temperatura e umidade relativa do ar, nos abrigos e em campo aberto, no período de 18/10/2000 a 15/05/2001.

Para obtenção dos dados de radiação global, foram utilizados piranômetros com células de silício, modelo LI200X, com respostas a comprimentos de onda entre 400 e 1.100 nm; e, para as medidas da RFA, foram empregados sensores quânticos, modelo LI190SB, com respostas a comprimentos de onda entre 400 e 700 nm, ambos fabricados pela LI-COR.

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram medidos com o auxílio de sensores HMP45C, da Vaisala, com faixa de leitura de temperatura entre - 40 e 60 °C (acurácia variando de $\pm 0,2$ °C a $\pm 0,5$ °C), e faixa de leitura de umidade relativa do ar entre 0 e 100% (acurácia variando de $\pm 2\%$ a $\pm 3\%$), protegidos contra incidência direta da radiação solar.



Os registros foram efetuados por um sistema de aquisição de dados multicanais CR10X, da Campbell Scientific, e os sensores foram dispostos no centro de cada abrigo e em campo aberto, compondo três estações automatizadas (uma principal e duas remotas).

A partir dos dados levantados, foram determinados, para cada ambiente:

- a) as médias, por quinquídio, dos valores médios, máximos e mínimos diários de temperatura do ar;
- b) as médias, por quinquídio, dos valores médios, máximos e mínimos diários de umidade relativa do ar;
- c) as médias, por quinquídio, dos valores médios, máximos e mínimos diários de déficit de saturação de vapor d'água, estimados a partir de rotinas do próprio sistema de aquisição de dados;
- d) as médias, por quinquídio, dos totais diários de radiação global e RFA;
- e) as médias, por quinquídio, das transmitâncias à radiação global e RFA, em cada abrigo;
- f) as regressões lineares para estimativa dos totais diários de radiação no interior dos abrigos, em função do total diário de radiação em campo aberto, utilizando-se o método dos quadrados mínimos.
- g) ajuste linear, forçando a passagem da reta pela origem das coordenadas, para estimativa da RFA, em cada ambiente, em função da densidade de fluxo de radiação global em campo aberto, com base em médias horárias, utilizando-se o método dos quadrados mínimos.

5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1. Radiação

5.3.1.1. Radiação global

Verificou-se que as telas plásticas reduziram, sensivelmente, a densidade de fluxo de radiação no interior dos abrigos, com maior intensidade, naquele com tela de malha 2x1 mm (Quadro 5.1 e Figura 5.1), resultados semelhantes aos de MILLS et al. (1990), SENTELHAS et al. (1997), VOLTOLINI et al. (1997) e PEZZOPANE et al. (1997). Os valores médios, para o período de 18/10/2000 a 15/05/2001, foram de 13,0 MJ.m⁻².dia⁻¹, no abrigo com tela de malha 2x2 mm; de 10,2 MJ.m⁻².dia⁻¹, no abrigo com tela de malha 2x1 mm e de 19,4 MJ.m⁻².dia⁻¹, em campo aberto.

As transmitâncias médias, por quinquídio, variaram entre 57,2 e 70,0%, com média de 65,8%, no abrigo com tela de malha 2x2 mm, e entre 44,8 e 62,8%, com média de 57,3%, naquele com tela de malha de 2x1 mm (Figura 5.2). Notou-se tendência de redução em seus valores, de modo mais acentuado, a partir de meados do mês de março (31º quinquídio), o que pode ser explicado pelo aumento no ângulo zenital do sol, que determinou condições de incidência dos raios solares mais favoráveis à reflexão dos mesmos pela cobertura, considerando-se o formato plano do teto dos abrigos.

QUADRO 5.1. Valores médios, máximos e mínimos mensais de totais diários de radiação global, em abrigo coberto com tela plástica de malha 2x2 mm (2x2), em abrigo coberto com tela plástica de malha 2x1 mm (2x1) e em campo aberto, entre 18 de outubro de 2000 e 15 de maio de 2001, em Selvíria, MS.

MÊS	MÉDIA MENSAIS DE TOTAIS DIÁRIOS DE RADIAÇÃO (MJ.m ⁻²)			MÁXIMOS MENSAIS DE TOTAIS DIÁRIOS DE RADIAÇÃO (MJ.m ⁻²)			MÍNIMOS MENSAIS DE TOTAIS DIÁRIOS DE RADIAÇÃO (MJ.m ⁻²)		
	2X2	2X1	Campo	2X2	2X1	Campo	2X2	2X1	Campo
Outubro	14,3	12,5	20,9	18,0	16,3	26,0	5,9	4,8	8,8
Novembro	15,4	12,9	22,5	20,0	17,6	28,4	5,2	3,9	7,7
Dezembro	12,7	10,0	18,8	20,5	16,5	29,0	4,0	2,8	4,8
Janeiro	14,0	11,2	20,9	20,3	17,0	28,9	6,0	4,4	8,7
Fevereiro	13,7	11,0	20,5	17,7	15,0	26,3	5,5	4,0	7,9
Março	12,9	10,0	18,7	17,2	14,5	25,4	5,5	3,9	7,7
Abril	11,2	7,8	17,6	13,9	9,6	20,8	4,1	3,1	6,3
Maio ⁽²⁾	8,1	5,8	13,8	11,4	7,8	19,0	2,6	2,1	4,9
MEDIA	13,0	10,2	19,4						

⁽¹⁾ A partir de 18/10/2000.

⁽²⁾ Até 15/05/2001.

As curvas de regressão linear que descrevem a disponibilidade de radiação no interior dos telados, em função dos níveis de radiação em campo aberto, assim como os polinômios que estimam as referidas relações, estão apresentadas na Figura 5.3.

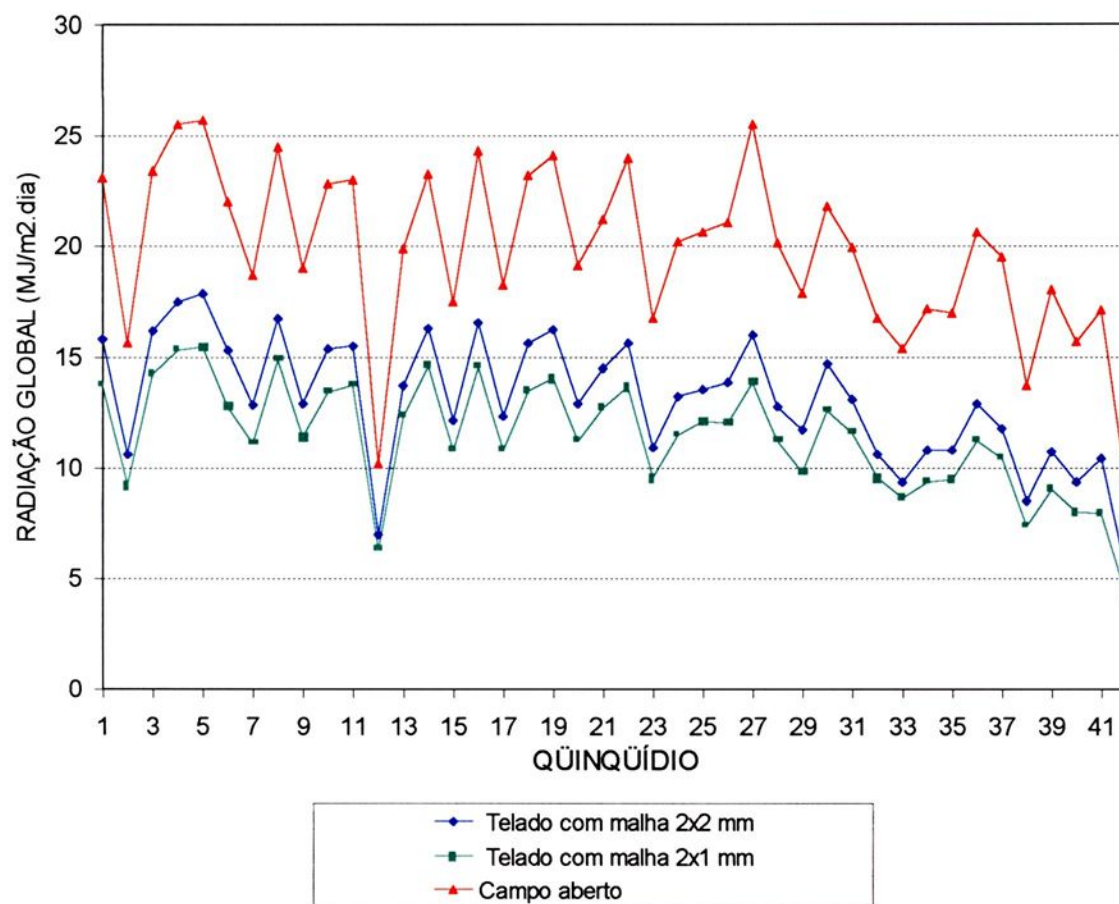


FIGURA 5.1. Variação, por qüinqüídios, da radiação global ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) em abrigo coberto com tela plástica branca de malha 2x2 mm, em abrigo coberto com tela plástica branca de malha 2x1 mm e em campo aberto, no período de 18/10/2000 e 15/05/2001, em Selvíria, MS.

O erro padrão na estimativa do total de radiação no telado com malha de 2x2 mm, a partir da disponibilidade de radiação externa, correspondeu a $\pm 0,63 \text{ MJ.m}^{-2}$, enquanto que no abrigo com tela de malha de 2x1 mm, este valor foi de $\pm 0,76 \text{ MJ.m}^{-2}$, os quais podem ser considerados baixos, dada a grandeza dos valores que estão envolvidos no ajuste.

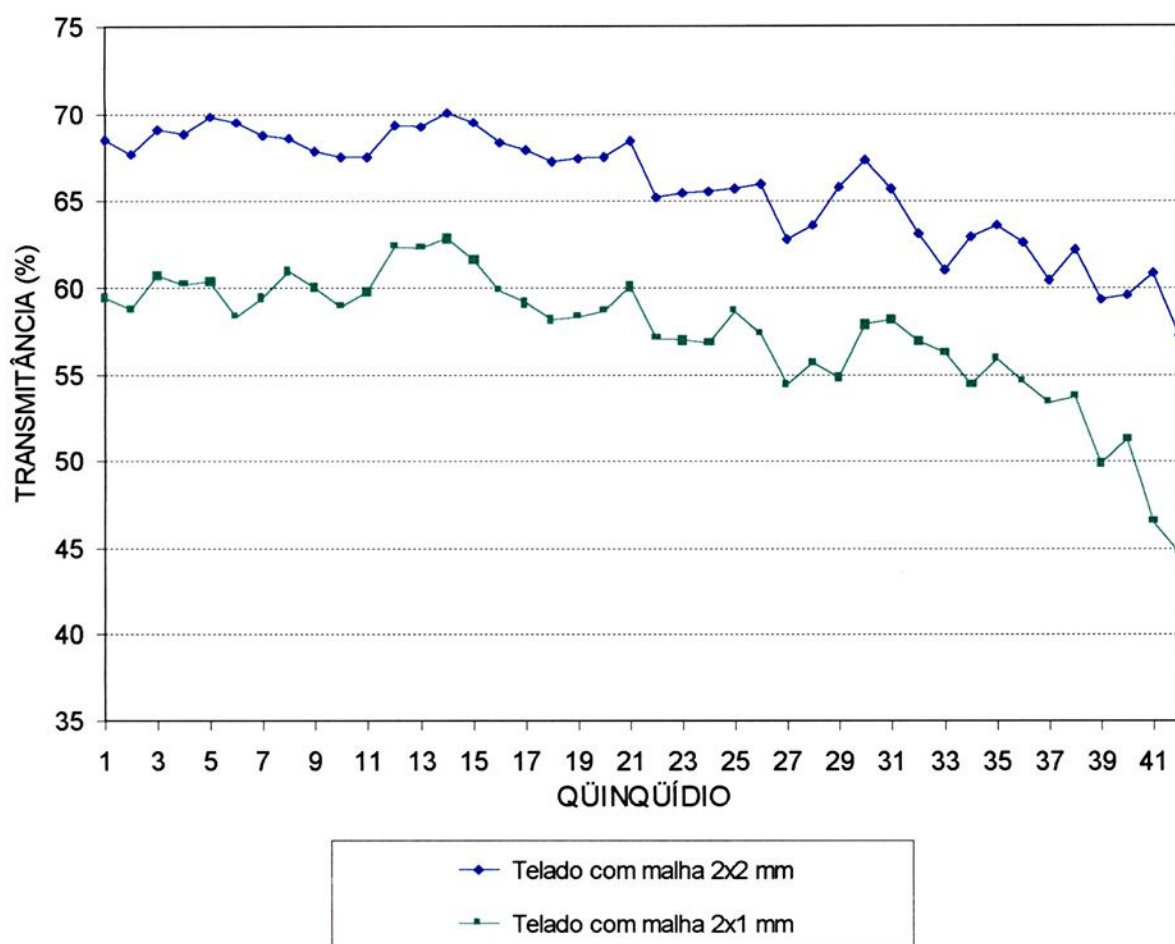


FIGURA 5.2. Transmitância média, por qüinquídios, à radiação global, em telado com malha de 2x2 mm e em telado com malha de 2x1 mm, no período de 18/10/2000 a 15/05/2001, em Selvíria (MS).

O telado com malha de 2x1 mm apresentou um total de 66 dias com totais de radiação menores ou iguais a $8,4 \text{ MJ.m}^{-2}$, considerado como valor mínimo para a maioria das culturas, conforme CASTILLA (1997) e MARTINS et al. (1999), enquanto no telado com malha de 2x2 mm, esta soma correspondeu a 30 dias, e em campo aberto, 13 dias, no que se refere ao período de 18/10/2000 a 15/05/2001.

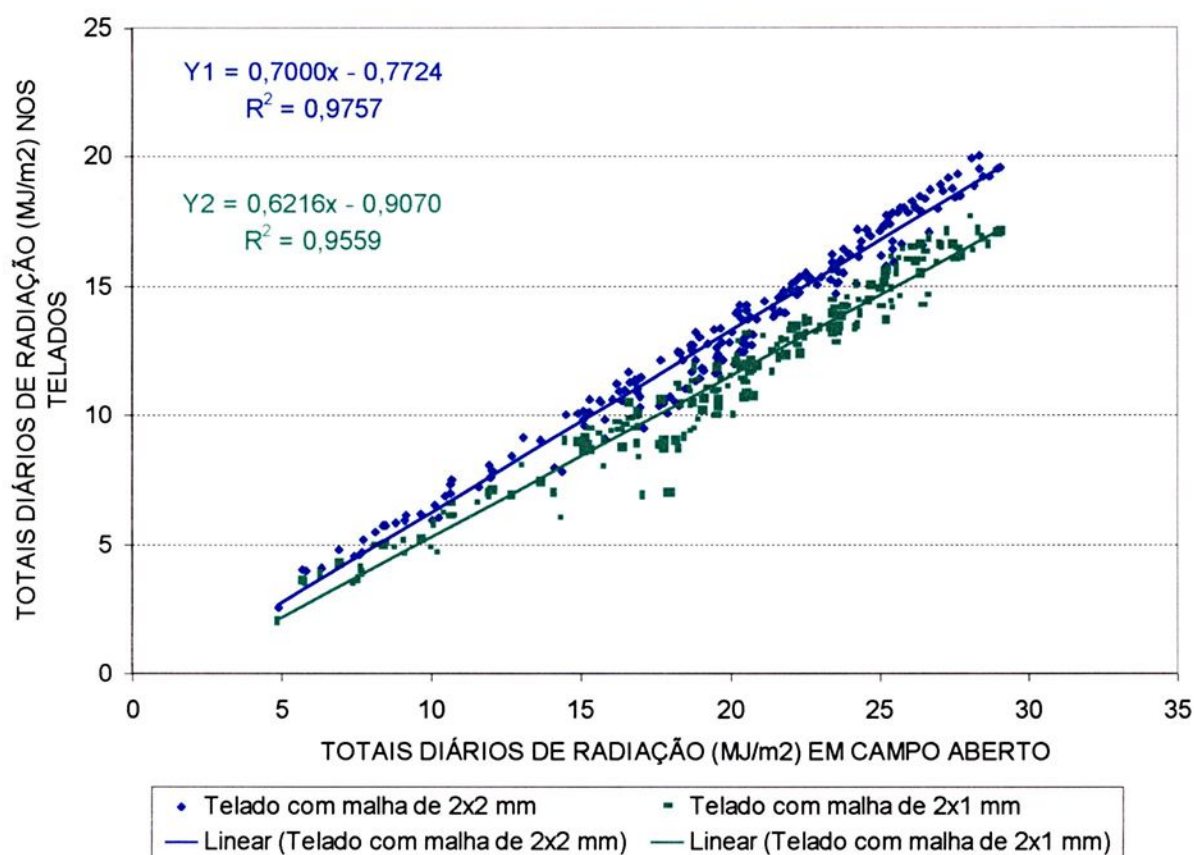


FIGURA 5.3. Estimativas dos totais diários de radiação global em abrigo coberto com tela plástica branca de malha 2x2 mm (Y1) e em abrigo coberto com tela plástica branca de malha 2x1 mm (Y2), em função do total diário de radiação global em campo aberto (x), no período de 18/10/2000 e 15/05/2001, em Selvíria, MS.

A quantidade de dias com níveis de radiação abaixo do limite trófico cresceu entre março e maio, o que esteve relacionado com a redução na disponibilidade de energia nesta época do ano, situação que foi agravada pelo decréscimo nas transmissividades dos abrigos, no mesmo período (Figura 5.4). Também, nos meses de dezembro e janeiro ocorreram vários dias em que foi observada

esta limitação ao bom desenvolvimento de plantas, o que esteve associado, neste caso, às condições de alta nebulosidade.

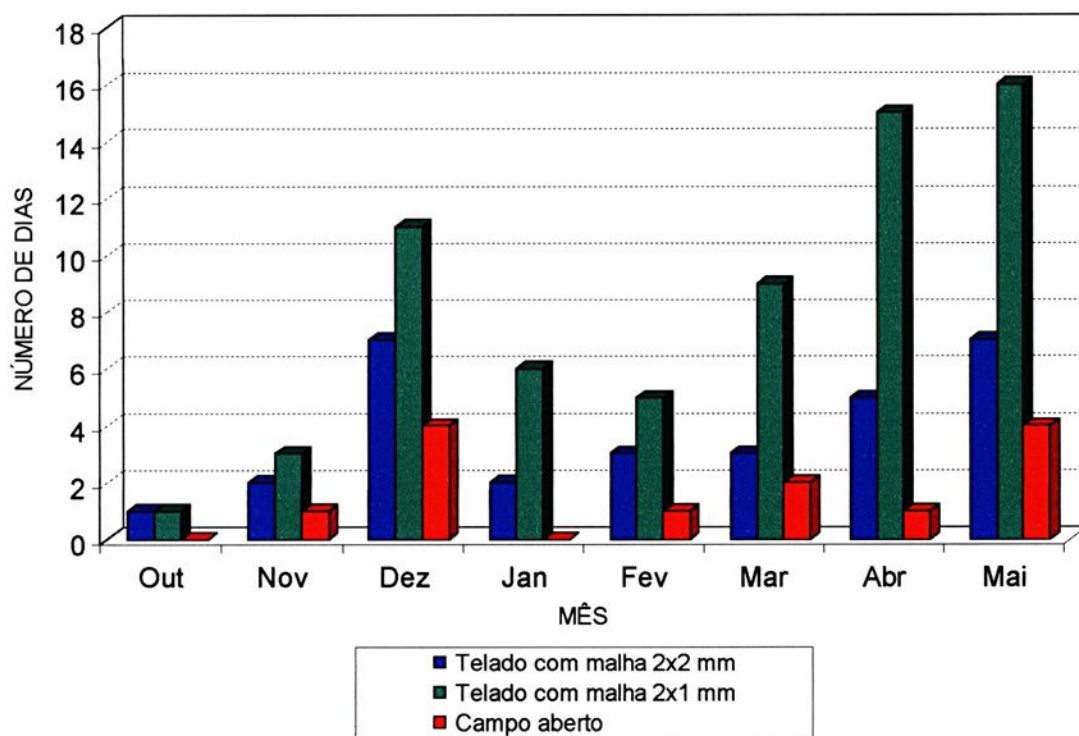


FIGURA 5.4. Distribuição do número de dias, em cada mês, com totais diários de radiação iguais ou menores que $8,4 \text{ MJ.m}^{-2}$, em abrigo com tela de malha 2x2 mm, em abrigo com tela de malha 2x1 mm e em campo aberto, entre 18/10/2000 e 15/05/2001, em Selvíria, MS.

Estruturas deste tipo, idealizadas para proteção de cultivo de ciclo longo, podem apresentar-se como inadequadas, do ponto de vista das necessidades de luz da cultura, e de modo mais sensível, em épocas de menor fotoperíodo, podendo resultar em desenvolvimento e produtividade aquém do potencial máximo dos genótipos, como alertado por BAILLE (1989) e STANGHELLINI (1994).

5.3.1.2. Radiação fotossinteticamente ativa

A maior redução na disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), do mesmo modo que para radiação global, foi causada pelo uso de tela com malha de 2x1 mm (Figura 5.5 e Quadro 5.2). As médias dos totais diários de quanta recebidos por unidade de área, referentes ao período do ensaio, corresponderam a 20,5 $E.m^{-2}.dia^{-1}$, no telado com malha 2x2 mm; 18,1 $E.m^{-2}.dia^{-1}$, no telado com malha 2x1 mm; e 33,9 $E.m^{-2}.dia^{-1}$, em campo aberto.

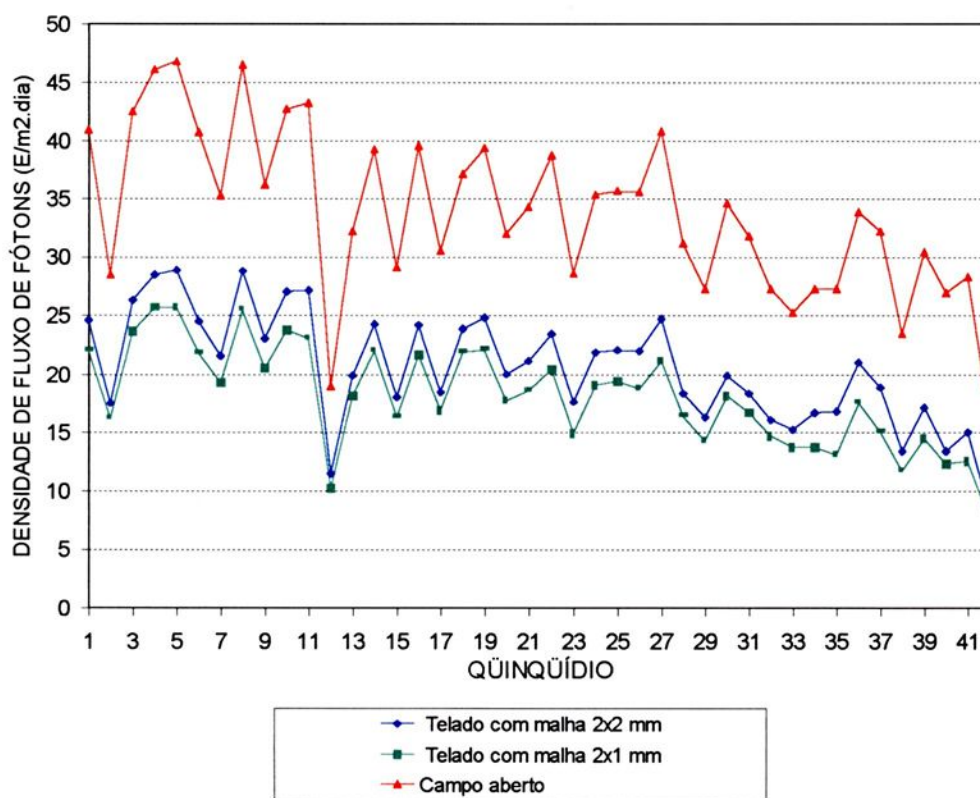


FIGURA 5.5. Variação, por quinquídios, da densidade de fluxo de fótons ($E.m^{-2}.dia^{-1}$) em abrigo coberto com tela plástica branca de malha 2x2 mm, em abrigo coberto com tela plástica branca de malha 2x1 mm e em campo aberto, no período de 18/10/2000 e 15/05/2001, em Selvíria, MS.

QUADRO 5.2. Valores médios, máximos e mínimos mensais de totais diários de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), em termos quânticos, em abrigo coberto com tela plástica de malha 2x2 mm (2x2), em abrigo coberto com tela plástica de malha 2x1 mm (2x1) e em campo aberto, entre 18 de outubro de 2000 e 15 de maio de 2001, em Selvíria, MS.

MÊS	MÉDIA MENSAIS DE TOTAIS DIÁRIOS DE RFA (E.m ⁻²)			MÁXIMOS MENSAIS DE TOTAIS DIÁRIOS DE RFA (E.m ⁻²)			MÍNIMOS MENSAIS DE TOTAIS DIÁRIOS DE RFA (E.m ⁻²)		
	2X2	2X1	Campo	2X2	2X1	Campo	2X2	2X1	Campo
Outubro	22,9	20,7	37,5	29,2	26,9	47,1	9,8	9,0	16,2
Novembro	25,8	23,0	42,0	32,1	28,6	52,0	8,9	8,2	14,7
Dezembro	21,6	19,2	34,7	33,9	29,0	53,7	6,2	5,6	10,0
Janeiro	21,8	19,5	35,0	29,7	26,9	46,3	8,4	7,4	13,6
Fevereiro	21,8	18,9	35,5	28,0	24,5	45,3	9,9	8,4	15,9
Março	17,8	16,0	30,4	23,4	20,0	40,1	8,4	7,1	12,0
Abril	17,2	14,2	28,8	21,2	17,8	34,4	6,6	5,8	11,1
Maio ⁽²⁾	12,5	11,0	24,2	25,3	22,6	40,9	4,2	3,4	8,9
MEDIA	20,5	18,0	33,8						

⁽¹⁾A partir de 18/10/2000.

⁽²⁾Até 15/05/2001.

As transmitâncias à RFA seguiram o mesmo padrão de comportamento verificado para a radiação global, com médias, por quinquídio, que se situaram entre 49,7 e 64,3%, com média de 60,2%, no abrigo com tela de malha 2x2 mm, e entre 44,4 e 58,8%, com média de 53,0%, naquele com tela de malha de 2x1 mm, no período de 18/10/2000 a 15/05/2001 (Figura 5.6). Autores como SENTELHAS et al. (1997) e

PEZZOPANE et al. (1997), também, constataram que não houve atenuação seletiva da RFA, em relação à radiação global, e que as transmissividades foram muito próximas, como já havia sido verificado por GIACOMELLI et al. (1988) e TULLER & PETERSON (1988), para filmes de polietileno.

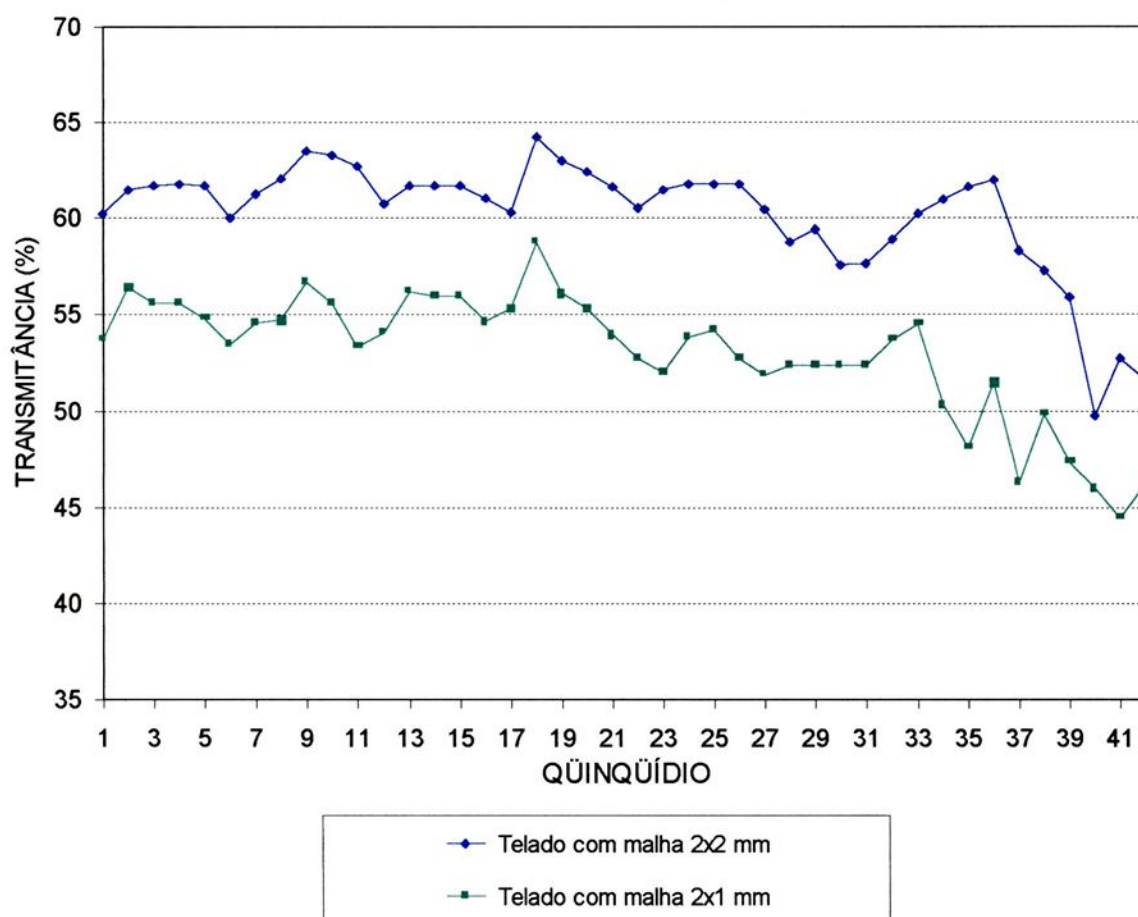


FIGURA 5.6. Transmitância média, por qüinqüídios, à radiação fotossinteticamente ativa, em telado com malha de 2x2 mm e em telado com malha de 2x1 mm, no período de 18/10/2000 a 15/05/2001, em Selvíria (MS).

Ao contrário das medidas de radiação global, que são comuns em estações meteorológicas, as medidas de RFA são menos universais, e na ausência de medidas acuradas desta última, métodos de estimativa devem ser empregados. Um destes métodos, bastante simples e de boa precisão para uso prático, especialmente, na área agrícola e ambiental, consiste em relações empíricas derivadas de medidas da radiação global (AL-SHOOSHAN, 1997).

Deste modo, foram determinadas as relações, com base nas médias horárias, para o período de 18/10/2000 a 16/05/2001, entre a radiação fotossinteticamente ativa, dada em termos quânticos (faixa de 400 a 700 nm), e a radiação global, em termos de energia, (400 a 1100 nm), apresentadas no Quadro 5.3.

QUADRO 5.3. Estimativa da radiação fotossinteticamente ativa (RFA), em $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, no telado com malha de 2x2 mm (Y1), no telado com malha de 2x1 mm (Y2) e em campo aberto (Y3), em função da radiação global, em $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, em campo aberto (x), em Selvíria (MS).

	Estimativa da RFA no telado com malha 2x2 mm (Y1), $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	Estimativa da RFA no telado com malha 2x1 mm (Y2), $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	Estimativa da RFA em campo aberto (Y3), $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
Equação de regressão	$Y1 = 1,0316 \cdot x^*$	$Y2 = 0,9204 \cdot x^*$	$Y3 = 1,7074 \cdot x^*$
Coefficiente de determinação (R^2)	0,9804	0,9699	0,9888
Erro-padrão na estimativa de Y	$\pm 45,92 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	$\pm 51,42 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	$\pm 57,31 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

* A variável independente (x) corresponde às médias horárias de radiação global ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$), em campo aberto

Os coeficientes angulares das retas correspondem à razão entre a densidade de fluxo de fótons (RFA), no respectivo ambiente, e a densidade de fluxo de energia (radiação global), em campo aberto, dado em $\mu\text{E} \cdot \text{J}^{-1}$.

Os valores estimados de RFA foram comparados com aqueles medidos e os resultados estão apresentados nas Figuras 5.7 a 5.9.

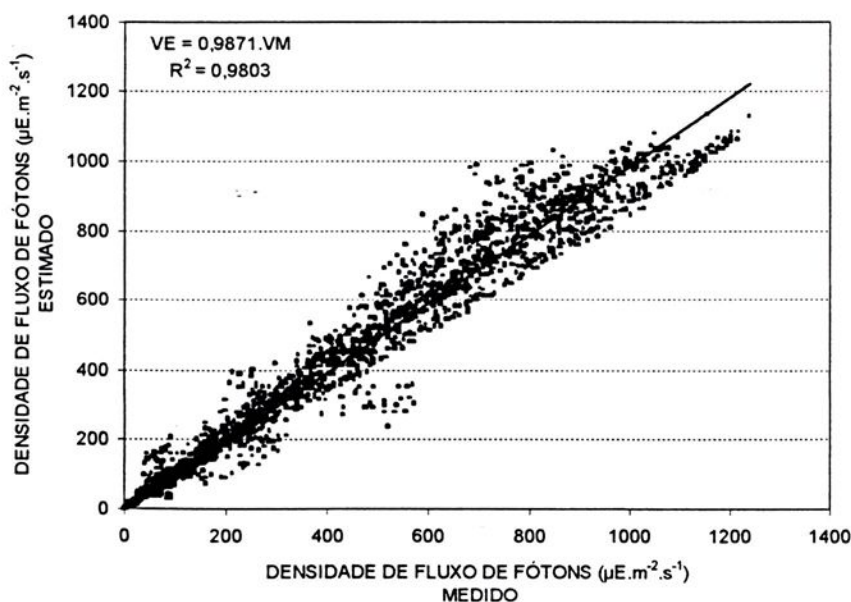


FIGURA 5.7. Relação entre RFA estimada e a medida, no abrigo com tela de malha 2x2 mm, referente ao período de 18/10/2000 e 15/05/2001, em Selvíria (MS). VE= valor estimado; VM= valor medido.

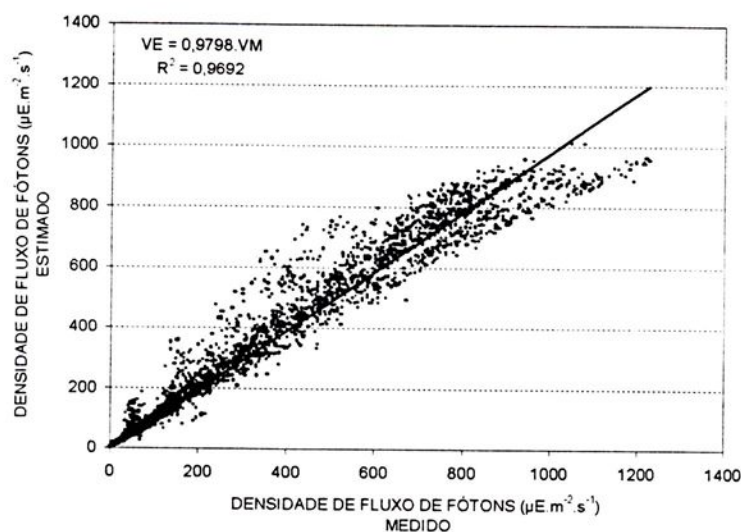


FIGURA 5.8. Relação entre RFA estimada e a medida, no abrigo com tela de malha 2x1 mm, referente ao período de 18/10/2000 e 15/05/2001, em Selvíria (MS). VE= valor estimado; VM= valor medido.

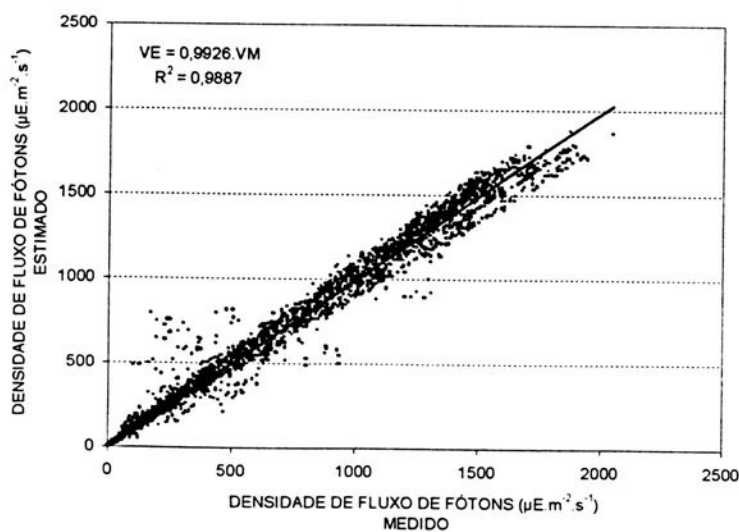


FIGURA 5.9. Relação entre RFA estimada e a medida, em campo aberto, referente ao período de 18/10/2000 e 15/05/2001, em Selvíria (MS). VE= valor estimado; VM= valor medido.

As relações entre os valores estimados e aqueles medidos se situaram entre 0,980 e 0,993, com coeficientes de determinação bastante elevados, indicando que estimativas da RFA, a partir da radiação global em campo aberto, são possíveis, como já discutido em trabalhos de AL-SHOOSHAN (1997) e UDO & ARO (1999).

As pequenas diferenças que ocorreram entre os valores estimados e medidos podem estar relacionados às diferenças de nebulosidade e de comprimento do dia, verificados no período, já que as razões RFA (quântico)/Rg (energia) refletiram condições médias, como discutido por UDO & ARO (1999).

5.3.2. Temperatura do ar

As temperaturas médias do ar foram muito próximas, entre os ambientes estudados, como mostrado no Quadro 5.4 e Figura 5.10. Os valores médios, por quinquídio, variaram entre 19,8 e 30,7 °C, no abrigo com tela de malha de 2x2 mm; de 20,0 a 30,4 °C, naquele com malha de 2x1mm, e entre 19,7 e 30,1 °C, em campo aberto.

Não foram observadas diferenças entre as temperaturas máximas do ar, no que se refere às médias e valores absolutos (Quadro 5.4 e Figura 5.10). Os valores máximos médios, por quinquídio, se situaram entre 25,1 e 40,1 °C, no telado com malha de 2x2 mm, de 25,3 a 39,9 °C, no telado com malha de 2x1 mm; e entre 25,5 e 40,0 °C, em campo aberto, no período compreendido entre 18/10/2000 e 15/05/2001.



QUADRO 5.4. Médias mensais de temperatura do ar, valores médios e máximos absolutos mensais de temperatura máxima do ar e valores médios e mínimos absolutos mensais de temperatura mínima do ar, em abrigo com tela de 2x2 mm (2x2), em abrigo com tela de 2x1 mm (2x1) e em campo aberto, no período de 18/10/2000 a 15/05/2001, em Selvíria (MS).

MÊS	MÉDIAS MENSAIS DE TEMPERATURA (°C)			MÉDIA DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS (°C)			VALORES MÁXIMOS ABSOLUTOS (°C)			MÉDIA DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS (°C)			VALORES MÍNIMOS ABSOLUTOS (°C)		
	2x2	2x1	Campo	2x2	2x1	Campo	2x2	2x1	Campo	2x2	2x1	Campo	2x2	2x1	Campo
Outubro ⁽¹⁾	28,0	27,8	27,4	36,2	36,0	36,0	41,2	40,9	41,6	21,8	21,7	21,1	20,1	19,9	19,3
Novembro	27,0	26,9	26,5	34,1	34,0	33,8	37,4	37,3	38,0	22,0	21,8	21,3	20,0	19,8	19,5
Dezembro	26,5	26,4	25,9	33,2	33,3	33,1	38,7	38,7	37,6	22,0	21,7	21,6	21,5	21,4	21,2
Janeiro	27,0	27,0	26,5	34,0	34,1	34,0	37,8	37,8	38,3	21,8	21,7	21,3	21,5	21,4	20,9
Fevereiro	27,0	26,9	26,4	33,7	33,8	33,8	37,8	37,8	36,7	21,9	21,8	21,2	21,6	21,5	20,6
Março	26,6	26,6	26,1	33,6	33,7	33,6	36,5	36,6	36,8	21,6	21,5	20,8	19,6	19,6	19,0
Abril	26,1	26,2	25,8	33,7	34,0	34,2	36,7	36,6	37,7	20,9	20,9	20,0	18,1	18,5	17,3
Maio ⁽²⁾	21,3	21,4	21,0	28,7	28,9	29,6	35,2	35,4	34,9	15,4	15,5	14,2	7,3	7,3	6,5
MEDIA	26,4	26,4	25,9	33,5	33,6	33,6				21,3	21,2	20,6			

⁽¹⁾A partir de 18/10/2000.

⁽²⁾Até 15/05/2001.



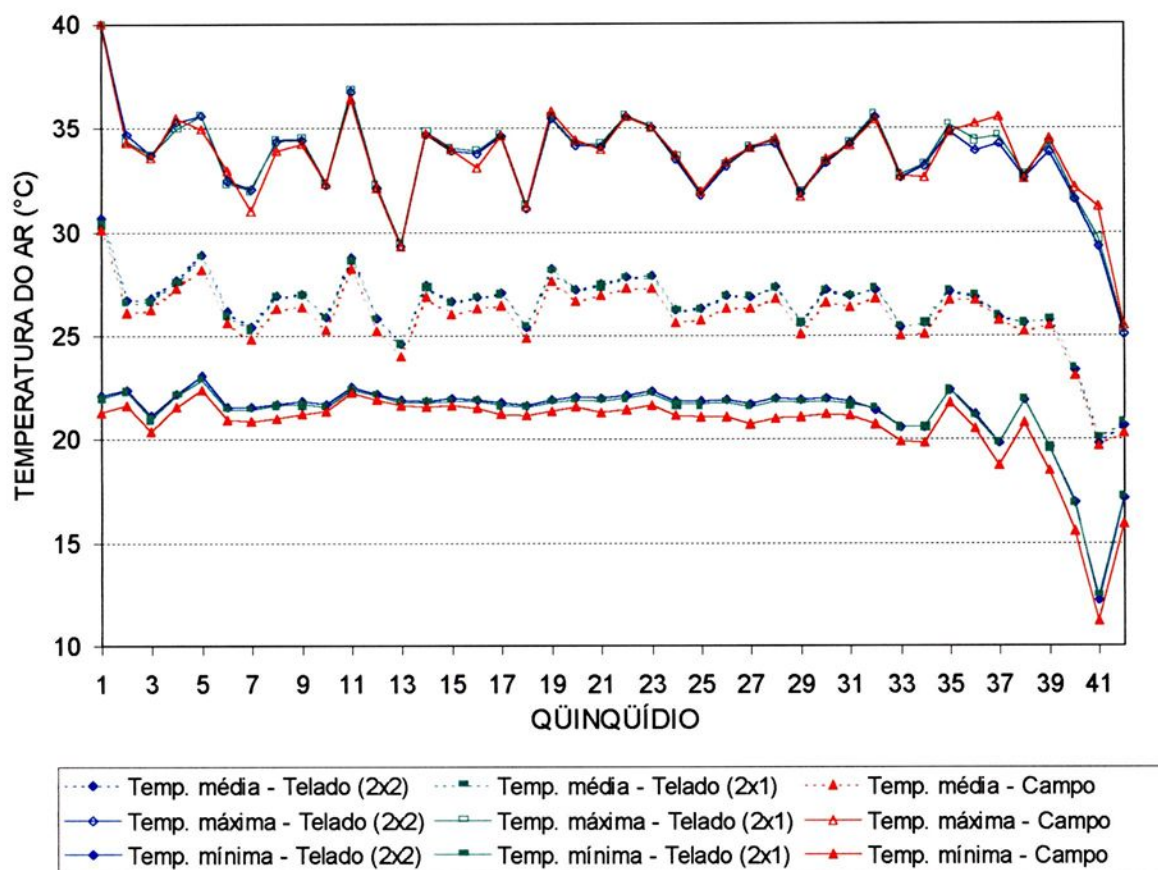


FIGURA 5.10. Variação, por quinquídios, das temperaturas médias, máximas e mínimas do ar, em abrigo com tela de malha 2x2 mm, em abrigo com tela de malha 2x1 mm e em campo aberto, entre 18/10/2000 e 15/05/2001, em Selvíria, MS.

As temperaturas mínimas, nos abrigos, foram muito próximas, e apresentaram-se ligeiramente superior ao campo aberto (0,6-0,7 °C), como indicado no Quadro 5.4 e Figura 5.10. Os valores mínimos médios, por quinquídio, se situaram entre 12,2 e 23,0 °C, no telado com malha de 2x2 mm, de 12,4 a 22,8 °C, no telado com malha de 2x1 mm; e entre 11,1 e 22,3 °C, em campo aberto, no período do experimento.

As temperaturas, de modo geral, não foram influenciadas pelas malhas de tela utilizadas no trabalho, aspecto importante, quando sua utilização visa a proteção física contra pragas, em que malhas mais finas são de maior interesse.

Embora tenham causado considerável redução na disponibilidade de radiação, bem como restrição à ventilação, as telas não impediram as trocas por convecção, o que, aliado à boa altura de pé-direito (4 m), determinou temperaturas do ar bastante próximas entre os abrigos e o campo aberto.

5.3.3. Umidade relativa do ar e déficit de saturação de vapor d'água

As variações na umidade relativa do ar, por quinquídio, referentes ao período de 18/10/2000 e 15/05/2001, estão apresentadas na Figura 5.11, e as médias mensais são mostradas no Quadro 5.5.

Os valores de umidade relativa média do ar, obtidos nos telados, foram superiores (entre 4 e 5%) aos verificados em campo aberto. As médias por quinquídio, dos valores médios diários, se situaram entre 51 e 87,7%, no abrigo com tela de malha de 2x2 mm; de 52,3 a 88,1%, no telado com malha de 2x1mm, e entre 49,3 e 84,1%, em campo aberto.

As umidades relativas máximas foram bastante elevadas e tiveram seus valores médios, por quinquídio, compreendidos entre 83,1 e 99,1%; de 84,3 a 99,0%; e entre 81,8 e 96,3%, respectivamente, no telado com malha 2x2 mm, telado com malha 2x1 mm e em campo aberto. As diferenças entre os abrigos e o campo aberto foram de 3 a 3,5% (Figura 5.1 e Quadro 5.5).

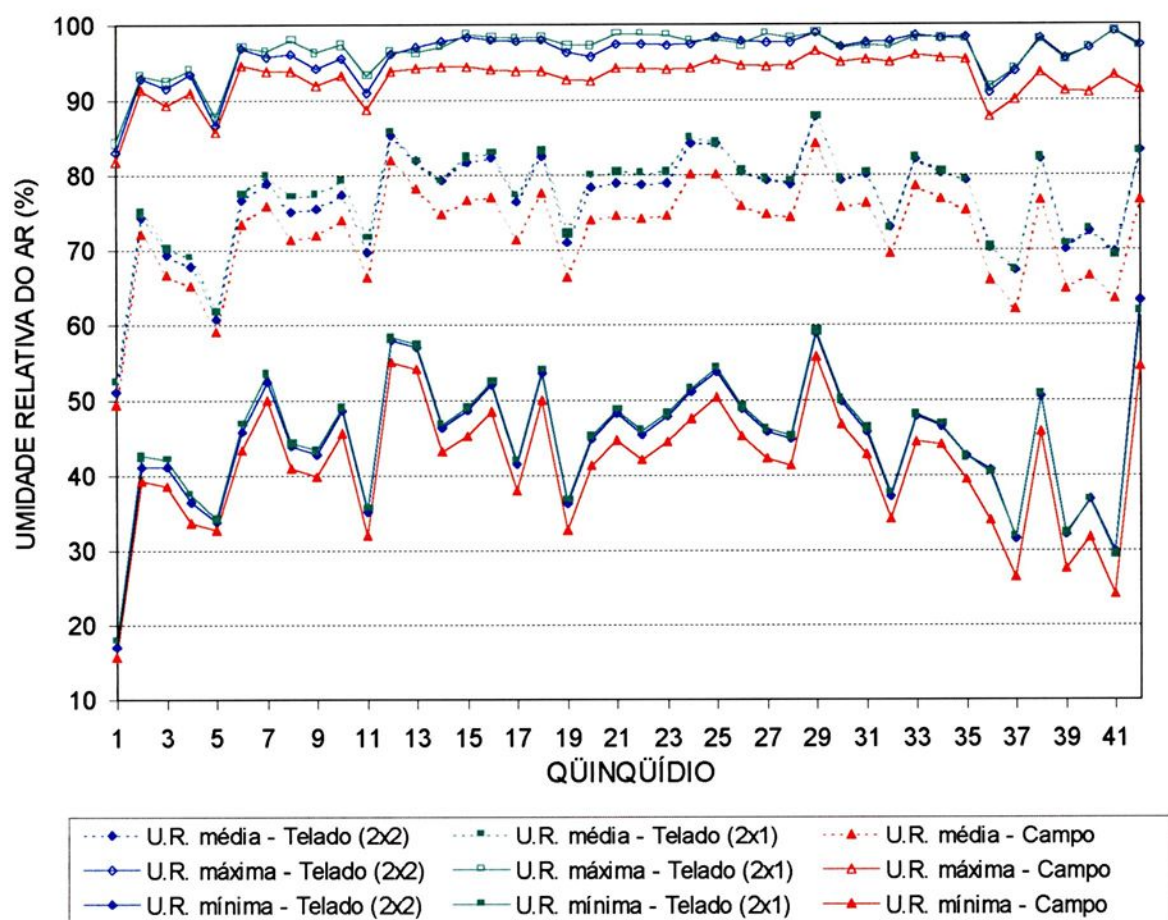


FIGURA 5.11. Variação dos valores médios, por quinquídios, da umidade relativa média, máxima e mínima do ar, em abrigo com tela de malha 2x2 mm, em abrigo com tela de malha 2x1 mm e em campo aberto, entre 18/10/2000 e 15/05/2001, em Selvíria, MS.

Elevados valores máximos de umidade relativa do ar, indiretamente, podem atuar negativamente sobre o desenvolvimento de plantas, por favorecerem o desenvolvimento de doenças fúngicas. Ainda, conforme ANDRIOLO (2000), altas umidades podem afetar negativamente o pegamento de frutos e, também, a nutrição mineral das plantas, especialmente, do cálcio, pois o fluxo de transpiração é diminuído.

QUADRO 5.5. Médias mensais de umidade relativa do ar, valores médios e máximos absolutos mensais de umidade relativa máxima do ar e valores médios e mínimos absolutos mensais de umidade relativa mínima do ar, em abrigo com tela de 2x2 mm (2x2), em abrigo com tela de 2x1 mm (2x1) e em campo aberto, no período de 18/10/2000 a 15/05/2001, em Selvíria (MS).

MÊS	MÉDIAS MENSAIS DE UMIDADE RELATIVA (%)			MÉDIAS DE UMIDADE RELATIVA MÁXIMA (%)			VALORES MÁXIMOS ABSOLUTOS (%)			MÉDIAS DE UMIDADE RELATIVA MÍNIMA (%)			VALORES MÍNIMOS ABSOLUTOS (%)		
	2x2	2x1	Campo	2x2	2x1	Campo	2x2	2x1	Campo	2x2	2x1	Campo	2x2	2x1	Campo
Outubro ⁽¹⁾	64,9	65,9	62,7	88,6	89,5	87,0	98,0	98,0	96,1	32,9	34,0	30,8	14,6	15,4	13,5
Novembro	72,2	73,5	69,3	93,5	94,5	91,5	98,3	99,3	96,4	42,2	42,9	39,8	32,2	32,6	25,7
Dezembro	79,0	79,8	75,1	95,9	96,5	93,2	99,4	99,8	97,0	48,8	49,2	45,6	28,7	29,1	25,4
Janeiro	78,2	79,3	73,5	97,2	98,0	93,6	99,9	100,1	96,0	45,7	46,2	42,2	31,4	31,8	27,8
Fevereiro	81,2	82,0	76,8	97,6	98,1	94,5	99,0	100,0	95,9	49,5	49,9	46,0	37,8	38,2	34,3
Março	80,1	80,4	76,4	97,8	97,8	95,2	99,4	99,1	96,8	47,1	47,5	43,9	27,5	27,8	24,1
Abril	74,8	75,0	70,3	96,0	96,0	92,5	99,3	99,0	97,2	40,6	40,7	36,2	24,0	25,8	21,3
Maio ⁽²⁾	75,2	75,0	68,9	97,5	97,4	91,8	100,0	99,5	94,6	43,2	42,5	36,7	22,2	21,2	17,4
MEDIA	76,6	77,3	72,5	95,9	96,4	92,9				44,6	45,0	41,1			

⁽¹⁾A partir de 18/10/2000.

⁽²⁾Até 15/05/2001.



Os valores mínimos de umidade relativa do ar mostraram-se, entre 4,5 e 5%, superiores sob os telados (Figura 5.11 e Quadro 5.5), e variaram de 17,0 a 63,2%, no telado com malha de 2x2 mm, entre 17,8 e 61,8%, no abrigo com tela de malha de 2x1 mm, e de 15,6 a 55,8%, em campo aberto. Embora, em alguns momentos, tenham sido atingidas graduações bastante baixas, os valores mínimos se situaram, na maior parte do tempo, entre 30 e 50%, faixa que não implica em limitações para a maioria dos cultivos hortícolas.

De fato, as médias de déficit de saturação de vapor d'água situaram-se em torno de 1,0 kPa (Figura 5.12 e Quadro 5.6), valores considerados adequados, conforme ALPI & TOGNONI (1991), por determinar uma demanda evaporativa que pouco afeta a condutância estomática e o índice de área foliar, e cujos reflexos negativos sobre a fotossíntese e transpiração das plantas são muito reduzidos.

Idêntica observação pode ser feita sobre os valores mínimos obtidos, cujos valores estiveram associados às elevadas médias de umidade relativa máxima do ar, nos momentos de menor temperatura do dia. As médias dos valores mínimos estiveram abaixo de 0,5 kPa, em todos os ambientes, no período do experimento, como indicado na Figura 5.12 e Quadro 5.6.

As médias das máximas de déficit de saturação de vapor d'água variaram entre 1,2 e 6,1 kPa, com média de 2,8 kPa, no telado com malha de 2x2 mm; de 1,2 a 6,0 kPa, com média de 2,8 kPa, naquele com malha de 2x1 mm; e entre 1,5 e 6,2 kPa, com média de 3,0 kPa, em campo aberto. Foram alcançadas graduações bastante elevadas (Figura 5.12 e Quadro 5.6), em que a maior parte das espécies hortícolas pode ter seu metabolismo afetado negativamente, em função da alta demanda evaporativa do ar, conforme ANDRIOLO (2000), uma vez que podem ocorrer

diminuição da condutância estomática e alterações importantes na turgescência dos tecidos, entre outros.

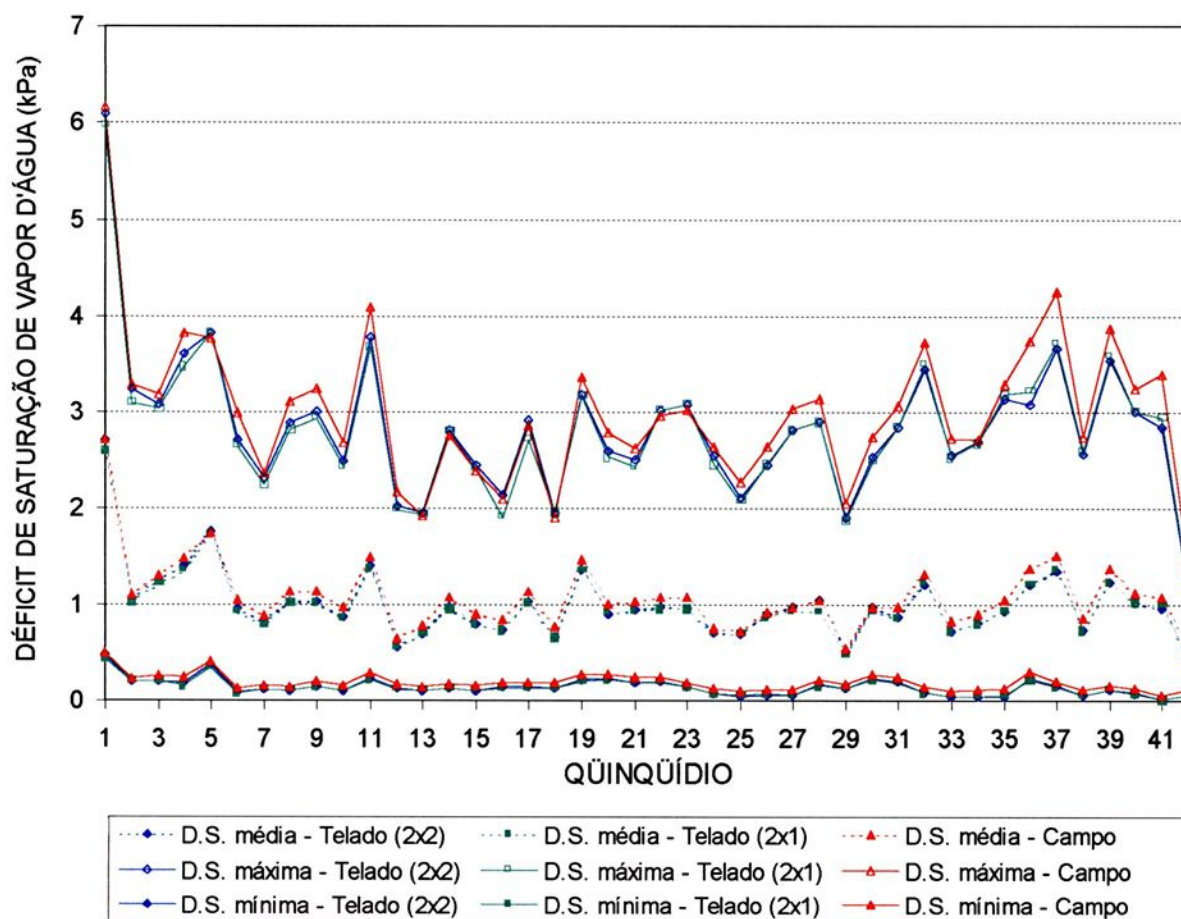


FIGURA 5.12. Variação dos valores médios, por quinqüídios, do déficit de saturação de vapor d'água médio, máximo e mínimo diários, em abrigo com tela de malha 2x2 mm, em abrigo com tela de malha 2x1 mm e em campo aberto, entre 18/10/2000 e 15/05/2001, em Selvíria, MS.

QUADRO 5.6. Médias mensais de déficit de saturação de vapor d'água, valores médios e máximos absolutos mensais de déficit de saturação máximo e valores médios e mínimos absolutos mensais de déficit de saturação mínimo, em abrigo com tela de 2x2 mm (2x2), em abrigo com tela de 2x1 mm (2x1) e em campo aberto, no período de 18/10/2000 a 15/05/2001, em Selvíria (MS).

MÊS	MÉDIAS MENSAS DE DÉFICIT DE SATURAÇÃO (kPa)			MÉDIAS DE DÉFICIT DE SATURAÇÃO MÁXIMO (kPa)			VALORES MÁXIMOS ABSOLUTOS (kPa)			MÉDIAS DE DÉFICIT DE SATURAÇÃO MÍNIMO (kPa)			VALORES MÍNIMOS ABSOLUTOS (kPa)		
	2x2	2x1	Campo	2x2	2x1	Campo	2x2	2x1	Campo	2x2	2x1	Campo	2x2	2x1	Campo
Outubro ⁽¹⁾	1,7	1,6	1,7	4,2	4,1	4,3	6,7	6,4	6,9	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1
Novembro	1,2	1,1	1,2	3,1	3,0	3,2	4,3	4,2	4,6	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
Dezembro	0,9	0,9	1,0	2,6	2,5	2,7	4,2	4,0	4,5	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1
Janeiro	0,9	0,9	1,0	2,6	2,5	2,6	3,7	3,6	4,0	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
Fevereiro	0,8	0,8	0,9	2,6	2,6	2,7	3,7	3,7	3,9	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1
Março	0,9	0,9	0,9	2,7	2,7	2,9	4,0	4,0	4,3	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1
Abril	1,0	1,0	1,2	3,1	3,2	3,4	4,6	4,5	4,8	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1
Maio ⁽²⁾	0,8	0,8	0,9	2,3	2,4	2,7	4,0	4,0	4,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
MEDIA	1,0	1,0	1,1	2,8	2,8	3,0				0,1	0,1	0,2			

⁽¹⁾A partir de 18/10/2000.

⁽²⁾Até 15/05/2001.



5.4. CONCLUSÕES

Para as condições em que se desenvolveu o experimento, concluiu-se que as telas empregadas não promoveram modificações na temperatura e umidade relativa do ar, bem como no déficit de saturação de vapor d'água, porém, reduziram a disponibilidade de radiação global e de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) nos abrigos, em relação ao campo aberto.

A tela com malha de 2x1 mm reduziu os níveis de radiação global e RFA, respectivamente, em 21,5% e 12,2%, em relação àqueles sob tela com malha de 2x2 mm, o que resultou em um incremento de 120% no número de dias com totais de radiação global abaixo do limite trófico das plantas.

Ainda, boas estimativas da RFA podem ser obtidas a partir dos dados disponíveis de radiação global.



6. CONCLUSÕES GERAIS

De modo geral, as maiores alterações microclimáticas, observadas em ambiente protegido, referiram-se a reduções na disponibilidade de radiação, as quais assumiram importância nos períodos de menor fotoperíodo, principalmente, com materiais de menor transmissividade ou de maior interceptação à radiação.

Em abrigos cobertos com filme de polietileno, as temperaturas máximas atingiram graduações elevadas, normalmente indesejáveis para o cultivo hortícola, sugerindo que estudos devem ser dirigidos no sentido de se encontrar soluções que determinem um comportamento térmico mais adequado para os abrigos, sem que isto implique em maiores atenuações na radiação solar.

Aparentemente, as condições de ventilação exerceram um papel importante na definição das condições ambientais internas, indicando que seu estudo deve ser considerado em trabalhos futuros.



7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOU-HADID, A.F.; EISSA, M.M. Daily air temperature and relative humidity regimes in relation to plastic houses and open field conditions in Egypt. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.366, p.113-118, 1994.

ANDRIOLO, J.L. Fisiologia da produção de hortaliças em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.18, supl., p26-33, 2000.

ALADOS, I.; ALADOS-ARBOLEDAS, L. Direct and diffuse photosynthetically active radiation: measurements and modelling. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.93, n.1, p.27-38, 1999.

ALPI, A.; TOGNONI, F. **Cultivo en invernadero**. 3.ed. Madri: Ediciones Mundi-Prensa, 1991. 347p.

AL-RIAH, M. et al. Relations between radiation fluxes of a greenhouse in semi-arid conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.44, p.329-338, 1989.



AL-SHOOSHAN, A.A. Estimation of photosynthetically active radiation under an arid climate. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v.66, n.1, p.9-13, 1997.

ASSIS, S.V.; ESCOBEDO, J.F. Albedo da cultura do pepino (*Cucumis sativus*) em estufas de polietileno, nas orientações norte-sul e leste-oeste. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.13, n.1, p.11-17, 1998.

BAILLE, A. Greenhouse microclimate and its management in mild winter climates. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.246, p.23-36, 1989.

BAYTORUM, N et al. Effect of different greenhouse covering materials on inside climate and on the development of tomato plants. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.366, p.125-132, 1994.

BLISKA JR., A.; HONÓRIO, S.L. Características óticas de materiais de cobertura de viveiros e estufas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23, 1994, Campinas. **Programas e Resumos...** Campinas: UNICAMP, Jaboticabal: SBEA, 1994. p.284.

BOWEN, J.E.; KRATKY, B.A. Invernaderos para los trópicos. **Agricultura de las Americas**, Great Neck, v.31, n.7, p.10, 12, 14, 76, 84, 136, 148, 1982.

BUREK, S.A.M.; NORTON, B.; PROBERT, S.D. Transmission and forward scattering of insolation through plastic (transparent and semi-transparent) materials. **Solar Energy**, Elmsford, v.42, n.6, p.457-475, 1989.

BURIOL, G.A. et al. Modificações na temperatura mínima do ar causadas por estufas de polietileno transparente de baixa densidade. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p.43-49, 1993.



BURIOL, G.A. et al.. Gradiente vertical de temperatura do ar no interior de estufas plásticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1997. p.471-472.

BURIOL, G.A. et al. Transmissividade à radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.25, n.1, p.1-4, 1995.

CAMACHO, M.J. et al. Avaliação de elementos meteorológicos em estufa plástica em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.3, n.1, p.19-24, 1995.

CARVALHO, M.P. et al. **Classificação de capacidade de uso da terra do antigo Pomar da Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira-FEIS/UNESP**. Ilha Solteira: Faculdade de Engenharia, 1989. 46p. (Mimeografado)

CASTILLA, N. Bioproductividad de las hortalizas en cultivo protegido. In: FORO INTERNACIONAL DE CULTIVO PROTEGIDO, 1997, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP/FCA, 1997. p.1-30.

CASTILLA, N. et al. New greenhouse structures for the south of Spain. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.281, p.153-158, 1990.

CASTILLA, N.; LÓPEZ-GALVEZ, J. Vegetable crop responses in improved low-cost plastic greenhouses. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v.69, n.5, p.915-921, 1994.

CENTURION, J.F. Balanço híbrido na região de Ilha Solteira. **Científica**, São Paulo, v.10, n.1, p.57-61, 1982.



COSTA, E. et al. Monitoramento e controle dos parâmetros climáticos envolvidos no desenvolvimento da produção vegetal em ambientes controlados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29, 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola/Universidade Federal do Ceará, 2000. (CD ROM)

CERNE, M. et al. Improved PE film for tomato greenhouse. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.366, p.119-124, 1994.

COHEN, S.; FUCHS, M. Measuring and predicting radiometric properties of reflective shade nets and thermal screens. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v.73, n.3, p.245-255, 1999.

DELLA VECCHIA, P.T.; KOCH, P.S. História e perspectivas da produção de hortaliças em ambiente protegido no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n.200/201, p.5-10, 1999.

DILARA, P.A.; BRIASSOULIS, D. Degradation and stabilization of low-density polyethylene films used as greenhouse covering materials. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v.76, n.4, p.309-321, 2000.

DUNCAN, G.A.; WALKER, J.N. Selection of greenhouse covering materials. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.18, n.4, p.703-706, 710, 1975.

FARIA JUNIOR, M.J.A. **Avaliação de diferentes arquiteturas de estufas, coberturas do solo com filme plástico, em híbridos de pimentão (*Capsicum annum* L.).** Jaboticabal: FCAVJ/UNESP, 1997. 102p. Tese (Título de Doutor em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista.



FARIA JUNIOR, M.J.A. **Avaliação de híbridos de pepino para cultivo protegido e do microclima formado por dois modelos de estufa.** Jaboticabal: FCAVJ/UNESP, 1994. 102p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de Concentração em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista.

FARIAS, J.R.B. et al. Alterações na temperatura e umidade relativa do ar provocadas pelo uso de estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p.51-62, 1993a.

FARIAS, J.R.B. et al. Efeito da cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p.31-36, 1993b.

FRANCESANGELI, N. et al. Efecto del blanqueado, sombreado y aspersion de agua sobre techo, en la temperatura y otros parametros climaticos en invernaderos, durante el periodo estival. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.357, p.267-294, 1994.

GIACOMELLI, G.A.; ROBERTS, W.J. Greenhouse covering systems. **HortTechnology**, Alexandria, v.3, n.1, p.50-58, 1993.

GIACOMELLI, G.A.; TING, K.C.; PANIGRAHI, S. Solar PAR vs. solar total radiation transmission in a greenhouse. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.31, n.5, p.1540-1543, 1988.

GODBEY, L.C.; BOND, T.E.; ZORNING, H.F. Transmission of solar and long-wavelength energy by materials used as covers for solar collectors and greenhouses. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.22, n.5, p.1137-1144, 1979.

GRODZKY, L.; BRENNER, N.L.; SCOTTI, C.A. Estudo do ambiente em estufas plásticas, na região de Curitiba, PR. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.9, n.1, p.55, 1991.



GÜNAY, A. Alternative cover materials and their usage in protected growing. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.366, p.99-104, 1994.

HANAN, J.J. **Greenhouses: Advanced Technology for protected horticulture**. Boca Raton: CRC Press, 1998. 684p.

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

HERTER, F.G.; REISSER JR., C. Balanço térmico em estufas plásticas, em Pelotas, RS. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.5, n.1, p.60, 1987.

KITTAS, C. et al. Paramètres significatifs du déterminisme de la température de l'air de la serre. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.40, n.3, p. 265-277, 1987.

KITTAS, C.; BAILLE, A. Determination of the spectral properties of several greenhouse cover materials and evaluation of specific parameters related to plant response. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v.71, n.2, p.193-202, 1998.

KITTAS, C.; BAILLE, A.; GIAGLARAS, P. Influence of covering material and shading on the spectral distribution of light in greenhouses. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v.73, n.4, p.341-351, 1999.

KOZAI, T. Direct solar light transmission into single-span greenhouses. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.18, p.327-338, 1977.

KOZAI, T.; KIMURA, M. Direct solar light transmission into multi-span greenhouses. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.18, p.339-349, 1977.

KURATA, K. Role of reflection in light transmissivity of greenhouses. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.52, n.3-4, p.310-331, 1990.



LI, S.; KURATA, K.; TAKAKURA, T. Solar radiation transmissivity into a lean-to greenhouse. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.399, p.127-134, 1995.

LÓPEZ-GALVEZ, J. et al. The improvement of the low cost Almeria greenhouse type: technical-economical possibilities. **Plasticulture**, Paris, n.90, p. 4-14, 1991.

MAROTO BORREGO, J.V. **Horticultura herbacea especial**. 4.ed. Madri: Ediciones Mundi-Prensa, 1995. 611p.

MARTINS, G. **Uso de casa-de-vegetação com cobertura plástica na tomaticultura de verão**. Jaboticabal, 1992. 65p. Tese (Doutorado em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista.

MARTINS, S.R. et al. Caracterização climática e manejo de ambientes protegidos: a experiência brasileira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.20, n.200/201, p.15-23, 1999.

MARTINS, S.R. et al. Caracterização climática de estufa tipo capela em Pelotas (RS). In: ENCONTRO DE HORTALIÇAS DA REGIÃO SUL, 8, ENCONTRO DE PLASTICULTURA DA REGIÃO SUL, 5, 1992, Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre: SOB/UFRS, 1992. p.53.

MILLS, P.J.W.; SMITH, I.E.; MARAIS, G. A greenhouse design for a cool subtropical climate with mild winters based on microclimatic measurements of protected environments. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.281, p.83-94, 1990.

MONTERO, J.I.; ANTÓN, A. Evolucion tecnologia de los invernaderos españoles. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.357, p.15-28, 1994a.



MONTERO, J.I.; ANTÓN, A. Greenhouse cooling during warm periods. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.357, p.49-61 1994b.

NASCIMENTO FILHO, M.F. et al. Caracterização microclimática em diferentes estufas plásticas com hortaliças. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1997. p.488-490.

NEGRIN, E. Sombreamento de cultivo agrícola com telas plásticas. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE PLASTICULTURA, 1, 1989, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1989. p.111-114.

NORTÈNE. **Manual de estufas e pequenos túneis**. São Paulo: Nortène Plásticos, s.d.. 79p.

NIJSKENS, J. et al. Radiation transfer through covering materials, solar and thermal screens of greenhouses. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.35, n.1-4, p.229-242, 1985.

PAPADAKIS, G. et al. Radiometric and thermal properties of, and testing methods for, greenhouse covering materials. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v.77, n.1, p.7-38, 2000.

PAPADAKIS, G.; MANOLAKOS, D.; KYRYTSIS, S. Solar radiation transmissivity of a single-span greenhouse through measurements on scale models. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v.71, n.4, p.331-338, 1998.

PEZZOPANE, J.E.M. et al. Radiação líquida e temperatura de folha no interior de estufa com cobertura plástica, durante o período noturno. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.3, n.1, p.1-4, 1995.



PEZZOPANE, J.E.M. et al. Radiação solar em cultivo sob tela plástica na região de Alegre, ES. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1997. p.482-484.

PIETERS, J.G.; DELTOUR, J.M. Modelling solar energy input in greenhouses. **Solar Energy**, Elmsford, v.67, n.1-3, p.119-130, 1999.

POLLET, I.V.; PIETERS, J.G. Laboratory measurements of PAR transmittance of wet and dry greenhouse cladding materials. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam v.93, n.2, p.149-152, 1999.

RAULT, P.A. A tunnel greenhouse adapted to the tropical lowland climate. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.281, p.95-103, 1990.

RAULT, P.A. Protected crops in humid tropical regions: How could we avoid or reduce excessive temperatures? How could we select the cladding materials and the greenhouse design?. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.230, p.565-572, 1988.

REIS, N.V.B.; CARRIJO, O.A. Manejo de temperatura em uma estufa do modelo teto em arco para produção de tomate em Brasília-DF. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.14, n.1, p.111, 1996.

REIS, N.V.B.; HORINO, Y. Uso de estufas plásticas para produção de tomate e pepino. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.6, n.1, p.75, 1988.

RICIERI, R.P.; ESCOBEDO, J.F. Radiação solar global e difusa em estufas túneis com cobertura de polietileno. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.11, n.1, p.15-37, 1996.

ROBLEDO DE PEDRO, F.; MARTIN VICENTE, L. **Aplicación de los plásticos en la agricultura**. 2.ed. Madri: Ediciones Mundi-Prensa, 1988. 573p.

SEMEDO, C.M.B. **A intensificação da produção hortícola**. 3.ed. Mem Martins: European, 1988. 192p.

SENTELHAS, P.C.; VILLA NOVA, N.A.; ANGELOCCI, L.R. Efeito de diferentes tipos de cobertura, em mini-estufas, na atenuação da radiação solar e da luminosidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1997. p.479-481.

SERRANO CERMEÑO, Z. **Cultivo de plantas horticolas em estufa**. Lisboa: Litexa, s.d. 367p.

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

SILVA, M.L.O. **Avaliação de parâmetros ambientais em dois modelos de estufa, sem e com presença de cultura**. São Carlos, 1997. 61p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SKOV, O. Light transmission in greenhouses. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.245, p.86-93, 1989.

STANGHELLINI, C. Environmental effect on growth and its implications for climate management in "mediterranean" greenhouses. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.361, p.57-66, 1994

TEITEL, M.; TANNY, J. Natural ventilation of greenhouses: experiments and model. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.96, n.1-3, p.59-70, 1999.

TOMALTY, R. The climate of a passive solar greenhouse in a semiarid region. Arid lands: today and tomorrow, p.89-95, 1988. In: **Horticultural Abstracts**, Wallingford, v.60, n.9, p.796, (Resumo 6931), 1990.

TULLER, S.E.; PETERSON, M.J. The solar radiation environment of greenhouse-grown Douglas-fir seedlings. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.44, p.49-65, 1988.

UDO, S.O.; ARO, T.O. Global PAR related to global solar radiation for central Nigeria. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.97, n.1, p.21-31, 1999.

VLADIMIROVA, S.V.; BUCKLIN, R.A.; MCCONNELL, D.B. Influence of shade level, wind velocity, and wind direction on interior air temperatures of model shade structures. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.39, n.5, p.1825-1830, 1996.

VOLTOLINI, J.A.; MENDEZ, M.E.G.; ASSIS, F.N. Radiação fotossinteticamente ativa transmitida por sombrites comerciais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1997. p.485-7.

WITTWER, S.H. World-wide use of plastics in horticultural production. **HortTechnology**, Alexandria, v.3, n.1, p.6-19, 1993.

YATES, D.J. Shade factors of a range of shadecloth materials. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.257, p.201-217, 1989.

ZABELTITZ, C. von Greenhouse construction in function of better climate control. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.263, p.357-374, 1990.

ABSTRACT

The results of three different experiments that evaluated the effects of distinct covering materials for protected environment on inside microclimate, are presented in this work.

The first experiment was carried out in Ilha Solteira (SP), from October 2nd, 1999 to August 16th, 2000. It was investigated the changes in the microclimatic parameters in an unshaded greenhouse, and in a greenhouse with 18% additional shading (black shadenet used directly over the plastic film), compared to open field. Climatic parameters, such as air temperature, air relative humidity, saturation vapour pressure deficit and radiant flux density, were obtained. The results pointed out that radiation levels inside the greenhouses were reduced, mainly, in that one with additional shading, as compared to open field. No differences were observed among the environments in respect to the other microclimatic parameters, except for air maxima temperatures which were higher under protected ones.

In the second experiment that was conducted in Ilha Solteira (SP), from August 19th, 2000 to May 20th, 2001, it was studied the microclimate in a normal polyethylene film covered greenhouse, and in a improved polyethylene film (lower transmission to long-wave radiation and higher radiation scattering) covered greenhouse, compared to open field. The air temperature, air relative humidity, and radiant flux density were measured, while the saturation vapour pression was estimated from temperature and humidity data . The results showed that available radiation inside the greenhouses was reduced, mainly, in the one covered with improved polyethylene film, as compared to open field. The protected environment increased air maxima temperatures as well as reduced the air minimum relative humidity. Improved polyethylene film, as compared to normal one, decreasead the available solar radiation in 16.2%.

The third experiment was carried out in Selvíria (MS), from October 18th, 2000 to May 15th, 2001. It was investigated the climatic conditions in screenhouses that used white shadenets of different mesh (2x2 mm and 2x1 mm), compared to open field. Climatic parameters, such as air temperature, air relative humidity, saturation vapour pression deficit, radiant flux density (global radiation) and photon flux density (photosynthetically active radiation–PAR) were obtained. No differences were observed among the environments, in respect to the air temperature and psicrometric parameters, however, global and PAR radiation were reduced by the screens, with higher attenuations by that one with a 2x1 mm mesh. The relations between PAR radiation and global radiation were stablished and the data from regression were well fitted, with high determination coefficients.



