

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**VARIABILIDADE DOS ELEMENTOS ENERGÉTICOS E
AMBIENTAIS EM MEIO PROTEGIDO COM POLIETILENO, SEM E
COM CULTURA DO PIMENTÃO (*Capsicum annuum* L.)**

MARCELO AUGUSTO DE AGUIAR E SILVA

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Mestre em
Agronomia - Área de Concentração em
Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU-SP
Outubro – 2.001

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**VARIABILIDADE DOS ELEMENTOS ENERGÉTICOS E
AMBIENTAIS EM MEIO PROTEGIDO COM POLIETILENO, SEM E
COM CULTURA DO PIMENTÃO (*Capsicum annuum* L.)**

MARCELO AUGUSTO DE AGUIAR E SILVA

Orientador: Prof. Dr. João Francisco Escobedo

Co-orientador: Emerson Galvani

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Mestre em
Agronomia - Área de Concentração em
Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU-SP
Outubro - 2.001

DEDICATÓRIA

Aos meus pais,

Paulo Roberto de Aguiar e Silva (*in memorian*) e Ivonete Aparecida Dorini de Aguiar e Silva, que foram fundamentais na formação do meu caráter e dedicação.

À minha amada namorada Tânia que me ajudou e incentivou, e que não me deixou esmorecer e nem desistir nos momentos mais difíceis.

Aos meus irmão e amigos, que sempre acreditaram no meu potencial.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. João Francisco Escobedo pela orientação e oportunidade de participar do grupo que encontra-se sob sua orientação;

Em especial ao amigo Emerson Galvani, pela co-orientação, apoio, dedicação, compreensão, paciência e amizade, que nunca mediu esforços para passar todo seu conhecimento e tornar possível a realização desse trabalho;

Aos colegas Antonio Ribeiro da Cunha e Valéria de Almeida Frisina que colaboraram imensamente na fase de montagem da área experimental e condução do experimento;

Ao Departamento de Recursos Naturais por intermédio de seus funcionários, a citar, Izaura, Fatima, Selma, Silvia e em especial ao Aparecido Pires de Campos, Valdomiro Rossi e Vicente Viegas que colaboram com seu trabalho e sua amizade na fase de condução e análises do experimento;

Ao programa de pós graduação em Agronomia, área de concentração em Irrigação e Drenagem da FCA/UNESP;

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP, por intermédio do processo 99/06770-3, pelo incentivo financeiro concedido através de bolsa e reserva técnica, sem o qual o referido curso não teria se completado;

Aos colegas de pós-graduação Alexandre Dal Pai, Eduardo Nardini Gomes, Elcio Silvério Klosowski, Hildeu Ferreira de Assunção, Flávio Rodrigues Soares, Leuda da Silva Oliveira, Luiza Helena Duenhas, Marco Antônio Furlan, Marco Antônio Lunardi, Melania Inês Valiati, Millena Ariana Boueri, Jorge Washington da Silva, e aos colegas da graduação Gretta Lee Dias e Rodrigo Angela, pela amizade, permuta de conhecimentos e colaboração prestada ao longo deste trabalho;

À Prof. Dra. Romy Goto e ao Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Bôas, pelas orientações prestadas junto à cultura de pimentão;

Ao departamento de Solos e ao setor de Manutenção da FCA pelo apoio oferecido em análises de solo e de crescimento, e montagem da área experimental, respectivamente.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS.....	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
RESUMO.....	1
SUMMARY.....	3
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	7
2.1 Ambiente protegido.....	7
2.2 Cultura de pimentão: exigências climáticas.....	11
2.3 O cultivo de pimentão em ambiente protegido.....	15
2.4 Componentes da radiação solar em ambiente protegido.....	17
2.5 Coeficiente de reflexão.....	21
2.6 Temperatura e fluxo de calor no solo.....	23
2.7 Temperatura e umidade relativa do ar	25
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.1 Localização da área experimental.....	31
3.2 Caracterização do clima.....	31
3.3 Área experimental.....	32
3.4 Híbrido do pimentão.....	35
3.5 Manejo da irrigação.....	35
3.6 Condução do experimento.....	37
3.6.1 Preparo do solo e adubação de cobertura.....	37
3.6.2 Preparo e transplântio das mudas.....	37
3.6.3 Controle de plantas daninhas, pragas e doenças.....	39

3.6.4 Condução e tutoramento da cultura.....	41
3.7 Característica de crescimento da cultura do pimentão.....	42
3.8 Parâmetros agrometeorológicos da cultura do pimentão.....	43
3.8.1 Componentes da radiação solar.....	43
3.8.2 Coeficiente de reflexão (CR).....	44
3.8.3 Saldo de radiação de ondas curtas.....	45
3.8.4 Temperatura e umidade relativa do ar.....	45
3.8.5 Temperatura do solo.....	46
3.8.6 Aquisição de dados agrometeorológicos.....	46
3.9 Índice dos elementos energéticos e ambientais (I).....	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
4.1 Variabilidade dos elementos energéticos.....	48
4.1.1 Radiação solar global , refletida, coeficiente de reflexão e saldo de radiação de ondas curtas.....	48
4.1.2 Radiação solar difusa.....	62
4.1.3 Fluxo de calor no solo.....	65
4.2 Variabilidade dos elementos ambientais.....	67
4.2.1 Temperatura do solo.....	67
4.2.2 Temperatura e umidade relativa do ar.....	71
5. CONCLUSÕES.....	88
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
APÊNDICES.....	104

LISTA DE QUADROS	Página
1. Análise química do solo da área experimental (feita pelo Departamento de Recursos Naturais – Setor Ciência do Solo).....	34
2. Análise física do solo da área experimental (feita pelo Departamento de Recursos Naturais – Setor de Ciências Ambientais).....	34
3. Substrato empregado para produção das mudas de pimentão.....	38
4. Controle fitossanitário realizado durante o ciclo da cultura de pimentão, de acordo com recomendações técnicas de cada produto.....	40
5. Sensores das componentes da radiação solar e fluxo de calor no solo e suas respectivas constantes de calibração.....	43
6. Análise estatística através do teste de Tukey dos valores mínimos, médios e máximos de temperatura do solo em condições de ambiente protegido (Ap) e campo (Cp) ao longo do período sem cultura.....	68
7. Análise estatística através do teste de Tukey dos valores mínimos, médios e máximos de temperatura do solo em condições de ambiente protegido (Ap) e campo (Cp) ao longo do período com a cultura de pimentão.....	68
8. Análise estatística através do teste de Tukey dos valores mínimos, médios e máximos de temperatura do ar em condições de ambiente protegido (Ap) e campo (Cp) ao longo do período sem cultura.....	71
9. Análise estatística através do teste de Tukey dos valores mínimos, médios e máximos de temperatura do ar em condições de ambiente protegido (Ap) e campo (Cp) ao longo do período com a cultura de pimentão.....	72
10. Análise estatística através do teste de Tukey dos valores mínimos, médios e máximos de umidade relativa do ar em condições de ambiente protegido (Ap) e campo (Cp) ao longo do período sem cultura.....	76
11. Análise estatística através do teste de Tukey dos valores mínimos, médios e máximos de umidade relativa do ar em condições de ambiente protegido (Ap) e campo (Cp) ao longo do período com a cultura de pimentão.....	76

LISTA DE FIGURAS	Página
1. Vista interna do ambiente protegido, sistema de tutoramento e aparelhos (Foto: Aguiar e Silva, M.A., em 17/05/00).	33
2. Vista da condição de campo e sistema de tutoramento (Foto: Aguiar e Silva, M.A., em 17/05/00).	33
3. Variação da radiação solar global nas condições de ambiente protegido (GLO ap) e campo (GLO cp), para um período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e de 01/06 a 05/09/00), ao longo do período sem cultura (a) e com cultura (b) de pimentão.....	49
4. Variação da radiação solar refletida nas condições de ambiente protegido (REF ap) e campo (REF cp), para um período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e de 01/06 a 05/09/00), ao longo do período sem cultura (a) e com cultura (b) de pimentão.....	50
5. Variação do coeficiente de reflexão do solo (a) e do dossel da cultura de pimentão (b) para as condições de ambiente protegido (CR ap) e campo (CR cp), para o período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e de 01/06 a 05/09/00).....	52
6. Índice da radiação solar global para o período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e de 01/06 a 05/09/00) sem cultura (IG sc) e com cultura (IG cc) de pimentão.....	55
7. Curva do índice da radiação solar refletida para um período coincidente de 97 dias, no período sem cultura (IR sc) e com cultura (IR ccm) de pimentão.....	57
8. Precipitação pluviométrica para o período de 01/06 a 05/09/99 (a) e 01/06 a 05/09/00 (b).....	58
9. Índice de área foliar para as condições de ambiente protegido (IAFint) e campo (IAFext).....	58

10. Variação do índice do coeficiente de reflexão para os períodos sem cultura (ICR sc) e com cultura do pimentão (ICR cc), no período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e de 01/06 a 05/09/00).....	59
11. Saldo de radiação de ondas curtas nas condições de ambiente protegido (SRoc ap) e campo (SRoc cp), para o período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e de 01/06 a 05/09/00) sem cultura (a) e com cultura do pimentão (b)	60
12. Índice do saldo de radiação de ondas curtas para o período sem cultura (ISRoc sc) e com cultura do pimentão (ISRoc cc), no período de 97 dias coincidentes (01/06 a 05/09/99 e de 01/06 a 05/09/00).....	61
13. Variação da radiação solar difusa nas condições de ambiente protegido (DIF ap) e campo (DIF cp) para o período de 97 dias sem cultura (a) e com cultura do pimentão (b)	63
14. Variação do índice da radiação solar difusa para o período sem cultura (ID sc) e com cultura do pimentão (ID cc), no período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e de 01/06 a 05/09/00).....	64
15. Fluxo de calor no solo para o período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e de 01/06 a 05/09/00), sem cultura (a) e com cultura do pimentão (b), nas condições de ambiente protegido (FCS ap) e campo (FCS cc).....	65
16. Variação do índice do fluxo de calor no solo para o período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e 01/06 a 05/09/00), sem cultura (IFCS sc) e com cultura do pimentão (IFCS cc).....	66
17. Variação do índice da temperatura mínima (a) e máxima (b) do solo, para o período sem cultura (ITS min sc e ITS max sc) e com cultura do pimentão (ITS min cc e ITS max cc), no período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e 01/06 a 05/09/00).....	69

18. Variação do índice da temperatura média do solo para o período sem cultura (ITS med sc) e com cultura do pimentão (ITS med cc), no período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e 01/06 a 05/09/00).....	70
19. Variação do índice da temperatura mínima (a) e máxima (b) do ar, para o período sem cultura (ITAR min sc e ITAR max sc) e com cultura (ITAR min cc e ITAR max cc), no período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e 01/06 a 05/09/00).....	74
20. Variação do índice das temperaturas médias do ar para um período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e 01/06 a 05/09/00), no período sem cultura (ITAR med sc) e com cultura do pimentão (ITAR med cc)....	75
21. Variação do índice da umidade relativa mínima (a) e máxima (b) do ar para o período sem cultura (IUAR min sc e IUAR max sc) e com cultura do pimentão (IUAR min cc e IUAR max cc), no período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e 01/06 a 05/09/00).....	78
22. Variação do índice da umidade relativa média do ar no período sem cultura (IUAR med sc) e com cultura do pimentão (IUAR med cc), para um período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e 01/06 a 05/09/00)...	79
23. Variação da temperatura do ar para os dias 16/07, 17/07 e 18/07/00, nas condições de ambiente protegido (TAR ap) e campo (TAR cp).....	82
24. Variação da umidade relativa do ar para os dias 16/07, 17/07 e 18/07/00, nas condições de ambiente protegido (UAR ap) e campo (UAR cp).....	83
25. Variação da temperatura do solo nos dias 16/07, 17/07 e 18/07/00, para as condições de ambiente protegido (TS ap) e campo (TS cp).....	85
26. Variação do fluxo de calor no solo para os dias 16/07, 17/07 e 18/07/00, nas condições de ambiente protegido (FCS ap) e campo (FCS cp).....	86
27. Variação da velocidade do vento na condição de campo (Vt cp), para os dias 16/07, 17/07 e 18/07/00.....	87

RESUMO

O experimento foi desenvolvido na área experimental do Departamento de Recursos Naturais – Setor Ciências Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Campus de Botucatu, SP. Neste trabalho avaliaram-se os elementos energéticos (radiação solar global, refletida, difusa, coeficiente de reflexão, saldo de radiação de ondas curtas e fluxo de calor no solo) e ambientais (temperatura do solo, temperatura e umidade relativa do ar), nas condições de ambiente protegido e campo, e o índice de cada um desses elementos, em dois períodos coincidentes de 97 dias, em anos diferentes, sem cultura (01/06 a 05/09/99) e com cultura do pimentão híbrido Margarita (01/06 a 05/09/00).

A área experimental constitui-se de duas parcelas, com dimensões e sentido idênticas, uma representando a condição de ambiente protegido e a outra a condição de campo. O ambiente protegido utilizado, foi do tipo arco não-climatizada, com área de 140 m², coberta com polietileno de 100µm de espessura e nas laterais utilizou-se malha preta de polietileno (sombrite) com redução de 50% da radiação solar global, orientado predominantemente na direção leste-oeste geográfico.

Os resultados mostraram que: a) O índice da radiação solar global (transmissividade) foi maior no período com a cultura do pimentão devido, principalmente, as diferentes condições atmosféricas no momento da determinação e ao tempo de exposição do material de cobertura às condições ambientais, não sendo essa diferença relacionada diretamente a um efeito da cultura sobre o microclima de cultivo; b) O coeficiente de reflexão da cultura do pimentão apresentou menores valores que o coeficiente de reflexão do solo, devido a “armadilhas” formadas pelas folhas que aprisionaram parte da radiação solar refletida; c) O índice da radiação solar refletida e do coeficiente de reflexão apresentaram valores superiores no período com a cultura, mas esse aumento não está relacionado a um efeito da cultura do pimentão no microclima de cultivo. A variação desse índice no período com cultura está relacionado com o índice de área foliar do pimentão e no período sem cultura, com a precipitação pluviométrica; d) Para o índice da componente difusa da radiação solar observou-se valores superiores no período com o pimentão, devido ao efeito difusor deste, caracterizando o efeito da cultura sobre essa variável; e) O efeito do pimentão alterando o microclima de cultivo também foi observado no fluxo de calor no solo e na temperatura do solo, que apresentaram menores valores do índice no período com a cultura, uma vez que o dossel, funcionou como uma barreira física que impediu que a radiação solar chegasse ao solo; f) Os valores encontrados para o índice da temperatura e umidade relativa do ar no período sem cultura foram muito próximos aos encontrados no período com a cultura, não caracterizando o efeito do pimentão sobre essas variáveis; g) Em noites com ocorrência de geadas o ambiente protegido não apresentou efeito térmico desejado, estando os valores de temperatura do ar mínima na condição de ambiente protegido $1,04^{\circ}\text{C}$ inferior àqueles obtida a campo.

**ENERGY AND ENVIRONMENTAL ELEMENTS VARIABILITY IN
POLYETHYLENE GREENHOUSE, WITH AND WITHOUT BELL PEPPER**

CROP. Botucatu, 2001. 108p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MARCELO AUGUSTO AGUIAR E SILVA

Adviser: JOÃO FRANCISCO ESCOBEDO

Co-adviser: EMERSON GALVANI

SUMMARY

The experiment was carried out at the experimental area of the Departamento de Recursos Naturais – Área de Ciências Ambientais of Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, SP. It was evaluated the energy (global radiation, reflected, diffuse, reflection coefficient, short waves radiation balance and soil heat flow) and environmental elements (soil temperature, temperature and air relative humidity), in the conditions of protected atmosphere and on the field, and the index of each one of those elements, in two coincident periods of 97 days, in different years, without culture (01/06 to 05/09/99) and with hybrid bell pepper crop Margarita (01/06 to 05/09/00).

The experimental area is constituted of two portions, with dimensions and identical directions, the greenhouse and the field condition. The greenhouse was of arch type, no-acclimatized, with 140 m², covered with 100mm thickness polyethylene and black polyethylene net with 50% of the solar radiation reduction in the lateral, guided predominantly in the east-west geographical direction.

The results showed that: the) The global radiation index was higher in the bell pepper crop period, due mainly to the different atmospheric conditions at the determination moment and to the covering material time of exposure to the environmental conditions, the difference being not related directly to a crop effect on the cultivation microclima; b) The bell pepper crop reflection coefficient presented lower values than the soil reflection coefficient, due to "traps" formed by the leaves that arrested part of the reflected radiation; c) The index of the reflected radiation and of the reflection coefficient presented higher values in the crop period, but that increase is not related to an effect of bell pepper crop in the cultivation microclima. The variation of that index in the crop period is related to the bell pepper leaf area index, and in the period without crop, to the precipitation; d) To the radiation diffuse component index was observed higher values in the crop period, due to the crop diffusive effect, characterizing the bell pepper crop effect on that variable; e) The crop effect changing the cultivation microclima was also observed in the soil heat flow and in the soil temperature, that presented lower index values in the crop period, once the crop dossal worked as a physical barrier between radiation and soil; f) The temperature and air relative humidity index values in the greenhouse condition were very close to that found on the field condition, not characterizing the crop effect on those variable; g) In nights with frosts occurrence the greenhouse did not present positive thermal effect, being the air temperature values 1,04 °C lower than those obtained on the field.

Keywords: Energy and environmental elements, pepper crop, greenhouse.

1. INTRODUÇÃO

O cultivo em ambiente protegido com o objetivo de melhorar a produtividade e a qualidade dos produtos agrícolas, sem apresentar variação sazonal na produção, tem aumentado consideravelmente nas últimas décadas, não só no Brasil, mas em todo mundo. Nas diversas regiões do país, o interesse em estudos com ambientes protegidos, principalmente com cobertura plástica, tem aumentado muito nos últimos anos, objetivando conhecer as diferentes estruturas utilizadas, as principais pragas e doenças, e as alterações microclimáticas que nesse meio ocorrem.

Estima-se que no Brasil a superfície coberta por casas de vegetação (casas de vidro e polietileno), seja de aproximadamente 1000ha, utilizados para cultivo e produção de plantas ornamentais, hortaliças e de mudas das mais variadas espécies. O espaço ocupado pelo ambiente protegido, em áreas destinadas a pesquisa, é de aproximadamente 40ha (Oliveira, 1995). A pesquisa tem mostrado várias vantagens na utilização desses ambientes protegidos, bem como, algumas desvantagens. Atualmente, o interesse maior dos órgãos e

instituições de pesquisa, está em caracterizar o efeito do ambiente protegido nos elementos agrometeorológicos e no crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas.

Normalmente, os estudos relacionados a ambientes protegidos visam quantificar a influência dos elementos meteorológicos na qualidade e quantidade da produção final nesses ambientes. Não se observa na literatura trabalhos objetivando avaliar o efeito inverso, ou seja, qual seria a influência nos elementos energéticos e ambientais que a cultura exerceria no microclima de cultivo.

O presente trabalho objetivou quantificar e avaliar os elementos energéticos (radiação solar global, refletida, difusa, coeficiente de reflexão, saldo de radiação de ondas curtas e fluxo de calor no solo) e ambientais (temperatura do solo, temperatura e umidade relativa do ar) nas condições de campo e ambiente protegido coberto com polietileno, em um período sem cultura (solo sem cobertura vegetal), e um período com a cultura do pimentão, em anos diferentes. Objetivou ainda, avaliar a influência da cultura do pimentão no microclima de cultivo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Ambiente protegido

A produção agrícola fica comprometida em algumas épocas do ano devido às temperaturas extremas, ao vento e as precipitações excessivas, que limitam o uso do solo, privando os agricultores de obterem maiores lucros. Esses elementos climáticos limitam o aproveitamento do solo, no cultivo de hortaliças, em apenas alguns meses do ano (Cañizares, 1998). Com o intuito de reduzir essas limitações, é cada vez maior a utilização de ambientes protegidos na produção de hortaliças. Segundo Pinheiro (1997), mesmo com o aumento no custo de produção, o cultivo em ambiente protegido atende às necessidades da entressafra e consumidores mais exigentes em termos de qualidade do produto, proporcionando ao produtor maiores lucros.

Neste trabalho, a denominação ambiente protegido foi empregada de maneira genérica para designar estufas (climatizadas, semi-climatizadas ou não climatizadas),

com ou sem cultura. A definição de ambiente protegido, segundo Cermeño (1990), é qualquer estrutura coberta e abrigada artificialmente com materiais transparentes, tendo por objetivo a proteção das plantas contra a ação dos elementos meteorológicos externos e permitindo, no seu interior, a passagem da luz solar para o crescimento e desenvolvimento de culturas em todo seu ciclo vegetativo. O ambiente protegido utilizado neste trabalho, foi classificado segundo Cermeño (1990), como estufa não-climatizada, pois nele não havia nenhum aparelho de controle das variáveis micrometeorológicas (temperatura do ar, umidade relativa do ar, intensidade de luz, fotoperíodo e concentração de CO₂).

No Brasil, Oliveira (1995) constatou a existência de aproximadamente 1.000ha de superfície coberta com ambiente protegido, sendo estas utilizadas para o cultivo e produção de plantas ornamentais, hortaliças e mudas das mais variadas espécies. A utilização do ambiente protegido para fins científicos, ocupa aproximadamente 40ha.

Segundo Goto & Tivelli (1998), no período de janeiro a abril de 1995, a Associação dos Engenheiros Agrônomos do Estado de São Paulo, realizando um levantamento do mercado de plasticultura em todo o estado, encontrou uma área de 897ha com algum tipo de cultivo em ambiente protegido, e desse total, 58,9% com hortaliças e 38,7% com flores.

De acordo com Sganzerla (1995), a utilização do plástico como insumo agrícola aumentou rapidamente à medida que seu emprego foi sendo ajustado e suas técnicas de manejo empregadas corretamente. Segundo Cunha (2001), é cada vez maior o interesse em se conhecer as diferentes estruturas utilizadas, bem como, as alterações que este ambiente pode causar nos elementos meteorológicos, sua influência no crescimento e desenvolvimento das culturas, e quais são as principais pragas e doenças que ocorrem na

condição de ambiente protegido. O ambiente protegido é responsável por várias alterações nos diversos elementos meteorológicos, tornando viável a produção de vegetais em épocas ou lugares cujas condições climáticas são críticas (Sentelhas & Santos, 1995), sendo a radiação solar um dos principais elementos alterados (Farias et al., 1993b). Muitos trabalhos mostram que as modificações microclimáticas, causadas pelo uso de ambientes protegidos, acarretam em aumento na produção agrícola, como os de Tapia (1981), Mougou et al. (1989), Mills et al. (1990), Andriollo et al. (1991), Reis et al. (1991), Peñuelas et al. (1992), Buriol et al. (1993b), Farias et al. (1993a), Farias et al. (1993b), Heldwein et al. (1995) e Scatoloni (1996).

Segundo Bliska Junior & Honório (1996), existem no mercado nacional oferta de diversos materiais para a cobertura do ambiente protegido. Os materiais de cobertura do ambiente protegido variam quanto à sua composição e durabilidade. O material de cobertura plástica mais empregado na agricultura, em todo mundo, é o polietileno de baixa densidade (PEBD) (Prados, 1986), e ele apresenta boa transparência à radiação solar, permitindo que em média passe de 70 a 90% da radiação solar de onda curta incidente, com um percentual máximo de 95% de transmissividade (Robledo de Pedro & Martin, 1981; Gonzales, 1985).

Oliveira (1995) apresentou um levantamento sobre as diferentes estruturas empregadas nos diversos ambientes protegidos utilizados no Brasil com fins agronômicos, e destacou as principais vantagens e desvantagens do uso desse ambiente modificado artificialmente. De acordo com os resultados obtidos, destaca-se como vantagem da utilização do ambiente protegido a proteção contra os fenômenos climáticos adversos: geadas, granizo, excesso de chuvas, temperaturas muito elevadas durante o dia e queda acentuada dessa temperatura à noite; proteção do solo contra lixiviação; redução dos custos

com fertilizantes e defensivos e menor incidência de pragas. O cultivo em ambiente protegido está se expandindo com o objetivo de se obter, durante o ano todo, maior produtividade e melhor qualidade, e na entressafra, barateamento do produto, uma vez que, segundo Oliveira et al. (1992), a produção no ambiente protegido é duas a três vezes maior que as conduzidas nas condições de campo. Como desvantagens, o autor destaca a necessidade de constante atualização das novas técnicas e novos materiais por parte dos agricultores, manutenção e conserto dos ambientes protegidos, que podem aumentar os custos de produção de forma considerável, aumento do índice de pragas e doenças específicas, devido ao aumento da uniformidade genética das culturas. Outros autores também mostram vantagens e desvantagens do uso do ambiente protegido. Melo (1997), apresenta algumas vantagens na produção em ambiente protegido tais como: precocidade das culturas, menor incidência de pragas, proteção contra alguns fenômenos climáticos, proteção do solo contra lixiviação de nutrientes e redução dos custos com defensivos e fertilizantes. Uma desvantagem apontada por Martinez Garcia (1986), é o comportamento insatisfatório do ambiente protegido do ponto de vista térmico, uma vez que durante o período diurno ocorrem temperaturas elevadas, e no noturno, temperaturas inferiores às críticas das plantas cultivadas. Outra desvantagem apontada por Van den Bos (1983), seria o aparecimento de pragas e doenças específicas, em função da uniformidade genética das culturas e em decorrência da ausência de inimigos naturais.

Galvani (2001), definiu duas situações geográficas distintas para o uso de ambientes protegidos cobertos com filmes plástico ou sombrite. Nas regiões sul e sudeste, o ambiente protegido funcionaria como um regulador da temperatura, diminuindo o efeito danoso causado por baixas temperaturas em algumas culturas, proporcionando assim,

produção na entressafra. Nas demais regiões do país, o efeito sobre a temperatura, causado pelo ambiente protegido, não é tão característico, nessas regiões esses ambientes proporcionam um controle da quantidade de água sobre as culturas, protegendo-as do excesso de precipitação pluviométrica, granizo e estresse provocado pela ação direta dos ventos.

2.2 Cultura do pimentão: exigências climáticas

No Estado de São Paulo, no ano agrícola de 1995/96, segundo Camargo & Camargo Filho (1998), a área cultivada com hortaliças representou cerca de 0,9% da área total ocupada com atividades agrícolas, o que corresponde a 175.150ha plantados, apresentando 2.472 produtores de pimentão explorando uma área média de 2,64ha, num total de 6.537ha. No Brasil, o Distrito Federal é um importante produtor e fornecedor de pimentão, alcançando em média 12.000t/ano, das quais 6.500t são produzidas em ambientes protegidos e o restante em condições de campo (Distrito Federal, 1999).

Na literatura, o pimentão apresenta uma vasta região como sendo a de sua origem. Para alguns pesquisadores, a região tropical dos continentes americanos, compreendendo o México, a América Central e América do Sul, é a de origem do pimentão. Para outros, a região de origem do pimentão não seria tão ampla, restringindo-se à região Central do México como centro de origem principal, e como centro de origem secundário a Guatemala (Tivelli, 1998).

O pimentão (*Capsicum annuum* L.) pertence a família Solanaceae e caracteriza-se por apresentar uma planta com uma intensa vegetação, com raiz principal entre

0,5 e 1,25m e as raízes adventícias entre 0,5 e 1m de profundidade. Em regiões de clima tropical e subtropical a planta é arbustiva, podendo atingir altura entre 0,5 e 0,8m (Filgueira, 1982). As hastes são frágeis e se quebram com facilidade, as folhas são alternadas, uma por nó, com lâminas de formatos ovais ou elípticas. O pimentão apresenta flores hermafroditas com autogamia, solitárias e aparecem nas axilas das folhas, os frutos são do tipo baga carnosa e indeiscentes, e em geral, formato cônico (Siviero & Gallerani, 1992).

De acordo com Cunha (2001), a cultura do pimentão destaca-se entre as demais, uma vez que seu cultivo se faz com sementes de híbridos, apresentando diferentes sistemas de tutoramento e inúmeras possibilidades de espaçamento. A forma de se conduzir a cultura varia desde 2 hastes por planta até 6 e, recentemente, com crescimento livre (Tivelli, 1999).

Atualmente, o pimentão é cultivado em regiões tropicais e temperadas do mundo todo (Tivelli, 1998), com cultivo anual, porém a cultura pode permanecer como planta semi-perene na ausência de patógenos, principalmente com relação as viroses (Filgueira, 1982). A cultura apresenta um crescimento lento nos primeiros 67 dias após o transplântio, que se intensifica no período de florescimento e acentua-se no período de frutificação (Haag, et al., 1970).

Segundo Tivelli (1998), para cada fase de desenvolvimento da cultura do pimentão, há uma temperatura mais adequada para se obter um ótimo desenvolvimento das plantas, e essas faixas de temperatura não se alteram sensivelmente de um híbrido para o outro. Teodoro et al. (1993) afirmam que o pimentão é sensível às baixas temperaturas e não tolera às geadas, sendo que alterações relacionadas ao clima podem prejudicar sua safra e acarretar falta do produto no mercado e, conseqüentemente, grandes oscilações de preços.

Segundo Sonnenberg (1981), o pimentão é uma planta tropical, cuja a faixa térmica ideal, para um ótimo desenvolvimento da planta, varia de 20 a 30°C. Temperaturas superiores a 32°C, provocam quedas de flores, enquanto que, temperaturas constantes e inferiores a 15°C induzem a um lento desenvolvimento vegetativo e a redução no número de flores formadas. A medida que a planta se desenvolve, torna-se mais resistente às baixas temperaturas, e a termoperiodicidade. Temperaturas elevadas durante o dia e temperaturas mais amenas (10 a 20°C) à noite, podem favorecer seu desenvolvimento, semelhante ao que ocorre em outras solanáceas.

Filgueira (1982) observou que os estádios que as plantas de pimentão são mais sensíveis ao frio são a germinação e a formação de mudas. Para cada estágio de desenvolvimento a planta apresenta uma temperatura ideal: formação de mudas de 26-30°C; aos 90 dias da semeadura (frutificação) de 21°C; após 105 dias (produção) de 19°C e aos 150 dias de 9°C. Segundo o autor, a produtividade é beneficiada pela termoperiodicidade (temperaturas noturnas inferiores às diurnas de 6 a 8°C) e a cultura não é muito afetada pelo fotoperíodo.

Com relação a faixa ideal de temperatura para um bom desenvolvimento das plantas de pimentão, Pádua et al. (1984); Siviero & Bernardoni (1990) e Pereira (1990) concordam que a temperatura deve variar entre 16°C para a mínima e 30°C para a máxima. Já Camargo (1984) encontrou valores médios de temperaturas adequadas ao bom desenvolvimento da cultura do pimentão, variando entre 21,1 e 23,8°C, com média das máximas até 26,5°C e das temperaturas mínimas até 18,3°C.

Pádua et al. (1984) recomenda temperatura do solo na faixa de 25-30°C para a germinação de sementes de pimentão e valores em torno de 17°C para o

desenvolvimento e crescimento das plantas. Temperaturas do solo acima de 30°C causam crescimento lento de raiz. Com relação à temperatura do ar, o autor afirma que a melhor faixa térmica para o desenvolvimento de mudas, encontra-se entre 26 e 30°C, sendo a temperatura de 27°C a que obteve o melhor crescimento. Na formação de flores as temperaturas noturnas variando entre 18 e 20°C favorecem à produção de frutos bem formados, ao passo que, temperatura noturnas baixas após a antese, entre 8 e 10°C, induzem a formação de frutos deformados. Com relação a umidade relativa do ar, há maior crescimento da planta em condições de alta umidade relativa. A combinação de baixa umidade relativa com altas temperaturas, causa um déficit de água na planta, ocorrendo morte de gemas, queda de flores e formação de frutos pequenos. Sganzerla (1995) e Cermeño (1990) concordam que o pimentão necessita, na fase de desenvolvimento, de 20 a 25°C (ideal de 25°C) durante o dia e de 16 a 18°C durante a noite; na fase de florescimento temperaturas entre 18 e 35°C (ideal de 25°C). Para um bom desenvolvimento das plantas, os autores recomendam umidade relativa entre 50 e 70%.

Com relação ao fotoperíodo, a cultura do pimentão comporta-se como uma planta de dia curto facultativo, ou seja, apresenta florescimento mais abundante e iniciando-se mais cedo em dias curtos que em dias longos (Sonnenberg, 1981). Segundo Pádua et al. (1984), o pimentão é classificado como uma planta neutra ao fotoperíodo, embora dias curtos favoreçam o florescimento. No que se refere aos efeitos da intensidade da luz, o pimentão é considerado como planta de sombra, sendo seu crescimento pouco influenciado pelos tratamentos que visam aumentar a quantidade de luz disponível. Contrariamente, Sganzerla (1995) e Cermeño (1990), apontaram o pimentão como uma planta que necessita de boa luminosidade, especialmente durante o período de floração.

2.3 O cultivo do pimentão em ambiente protegido

Nas últimas décadas o cultivo em ambiente protegido tem evoluído rapidamente de forma a poder aumentar o rendimento, melhorar a qualidade do produto e produzir na entressafra. As espécies mais importantes cultivadas em ambiente protegido com cobertura plástica são: pimentão, beringela, tomate, pepino, alface, abobrinha, rabanete, melão, morango, entre outras. A cultura do pimentão atingiu 1,4% da produção nacional de hortaliças em 1990, segundo Camargo Filho & Mazzei (1994), ocupando uma área de 5.470ha, sendo que a produção paulista representou 34,23% deste montante, com uma área de 1.813ha. Segundo Junqueira (1999) a área com cultivo protegido no país é de aproximadamente 2.000ha.

Segundo Melo (1997), no Estado de São Paulo, dentre as culturas de importância econômica cultivadas em ambiente protegido, o pimentão é a olerícola mais cultivada, uma vez que é a cultura que tem melhor se adaptado ao ambiente protegido no estado.

Em algumas épocas do ano, elementos do clima, como temperatura e umidade relativa do ar, dificultam a produção do pimentão cultivado nas condições de campo, chegando até mesmo a limitar seu crescimento e desenvolvimento, dependendo da época do ano. A solução desses impasses é o cultivo em ambiente protegido, que tem como um dos principais objetivos diminuir a oscilação de preços durante o ano (Tivelli, 1999).

O cultivo de pimentão em ambiente protegido torna-se importante do ponto de vista fitossanitário, uma vez que, Chee et al. (1988) relataram que o cultivo de

pimentão em ambiente protegido em regiões chuvosas da Coreia, promoveu uma redução de 100 para 3% na incidência de viroses, e a podridão dos frutos caiu de 12,2% para 3,2%.

No Brasil, é variável a densidade utilizada no transplântio de pimentão em ambiente protegido. Segundo Nuez Viñals et al. (1996) a procura da melhor densidade de plantas está associada a algumas características de exploração, como as variedades (vigorosas, de porte alto, que requerem menor densidade de transplântio que as de porte baixo), comercialização, sistema de irrigação e a mecanização. A produção de pimentão em ambiente protegido sofre influência de vários fatores climáticos, sendo que, segundo Tivelli (1999), os dois particularmente importantes são a temperatura do solo e do ar.

Teodoro (1986) e Caixeta (1978), analisando a altura das plantas de pimentão, dentro e fora do ambiente protegido, encontraram alturas mais elevadas, em média, na condição de ambiente protegido. Faria Junior (1997) avaliando a altura média de dois híbridos de pimentão, dentro e fora do ambiente protegido, aos 196 dias após o transplântio, em Jaboticabal, SP, verificou que as duas variedades apresentaram maiores alturas em condição de ambiente protegido, sendo que o híbrido Mônica atingiu 153,3cm e o híbrido Magali 144,5cm de altura. Santos et al. (1999), conduzindo experimento nas condições de ambiente protegido e de campo, com dois híbridos do pimentão, Elisa e Magali-R, concluíram que, independente dos híbridos, a altura das plantas foi superior no ambiente protegido.

De acordo com Robledo de Pedro & Vicente (1988), a produção média em ambiente protegido, chega a 40t ha^{-1} , enquanto que na condição de campo alcança 20t ha^{-1} . Segundo Cermeño (1990), a produção média do pimentão, em cultivo de verão, foi de 80 a 150t ha^{-1} para a condição de ambiente protegido, e de 40 a 60t ha^{-1} na condição de campo.

Melo (1997), sem levar em conta o período de colheita e a densidade de plantio, concluiu que $8,4\text{kg pl}^{-1}$ é uma boa produção para o cultivo de pimentão em ambiente protegido no Brasil.

Em Botucatu, SP, Tivelli (1999) obteve para o híbrido Elisa, na condição de ambiente protegido, um rendimento de 35t ha^{-1} , já Cunha (2001) encontrou para o mesmo híbrido, produtividade de $9,29\text{kg m}^{-2}$ e $6,66\text{kg m}^{-2}$, para as condições de ambiente protegido e campo, respectivamente. Como os autores quantificam a produção com diversos conceitos diferentes, torna-se difícil a comparação da produção entre os diversos trabalhos apresentados na literatura (Tivelli, 1999).

2.4 Componentes da radiação solar em ambiente protegido

A determinação das componentes da radiação solar em ambientes protegidos sofre alterações causadas por diversos fatores, entre eles, sombreamento do sensor pela estrutura de sustentação do ambiente protegido, forma e inclinação do teto, tipo de cobertura das laterais e reflexões internas (Edwards & Lake, 1964, 1965).

Dois critérios para classificar a eficiência do ambiente protegido foram definidos por Baille & Baille (1990), quando estes estudavam a influência de diferentes estruturas na transmissão da radiação solar, primeiro, alta transmissividade da radiação solar durante o período do inverno e, segundo, a homogeneidade na distribuição da luminosidade no interior do ambiente protegido.

O fluxo de radiação solar global numa superfície horizontal inclui a recebida diretamente, formada pelo ângulo sólido do disco solar e a radiação que foi espalhada

ou refletida difusamente ao atravessar a atmosfera (Fritschen & Gay, 1979). Devido a absorção e reflexão do material de cobertura plástica, a densidade de fluxo da radiação solar global no interior do ambiente protegido é menor que observada externamente (Bugalho Semedo, 1978; Seeman, 1979; Prados, 1986; Robledo de Pedro & Vicente, 1988; Kurata, 1990; Cermeño, 1990). Devido às suas características óticas, a cobertura plástica atua como dispersante da radiação solar, podendo aumentar a fração difusa da radiação solar no interior do ambiente protegido (Prados, 1986; Farias et al. 1993b), efeito bastante desejável, uma vez que a radiação solar difusa é mais efetiva nos processos de fotossíntese, pois é multidirecional e penetra melhor através do dossel da cultura, e pode compensar, em parte, a opacidade do filme plástico à radiação solar (Martinez Garcia, 1978; Prados, 1986). A absorção é dependente da composição química do material de cobertura. A reflexão é determinada pelas condições da superfície de cobertura (deposição de poeira, período de utilização, etc.) e pelo ângulo de incidência da radiação solar sobre a cobertura (Montero et al., 1985), sendo assim, a reflexão pode variar em função da declinação solar, da inclinação da cobertura, da forma e da orientação geográfica da estrutura. Quanto mais perpendicular for a superfície da cobertura à incidência da radiação solar, menor será sua reflexão (Tanaka & Genta, 1982).

Robledo de Pedro & Vicente (1988), concluíram que os filmes plásticos comportam-se diferentemente quanto a absorção, reflexão e transmissão das radiações solares de onda curta e longa, de acordo com sua coloração, opacidade ou transparência.

A transmissividade do material de cobertura do ambiente protegido à radiação solar depende da sua composição, espessura, tempo de exposição às condições ambientais, condições atmosféricas no momento da determinação, condensação nas paredes

internas do ambiente protegido, deposição de poeira, ângulo de incidência dos raios solares, orientação e arquitetura da estufa (Alpi & Tognoni, 1984; Robledo de Pedro & Vicente, 1988; Camacho et al., 1995).

Segundo Bugalho Semedo (1978), cerca de 10 a 20% da radiação solar global incidente é refletida e/ou absorvida pelos materiais de cobertura utilizados no ambiente protegido. A transmissividade da cobertura à radiação solar pode ser superior a 75% (Alpi & Tognoni, 1984) apresentando uma transmissividade média que pode variar de 70 a 90% (Gonzalez, 1985; Robledo de Pedro & Vicente, 1988; Farias et al., 1993b; Buriol et al., 1993b, Buriol et al., 1995).

Comparando os valores encontrados no interior de dois modelos de ambientes protegidos (capela e truinfo), com os valores encontrados na condição de campo, em Curitiba, PR, Grodzki et al. (1991) concluíram que a radiação solar incidente é interceptada em 40%, e que essa redução não afeta o desenvolvimento das plantas. Martins et al. (1992) estudando o microclima proporcionado pelo ambiente protegido tipo capela (10x50m), em Pelotas, RS, coberta com filme de polietileno de 100µm de espessura, observaram uma transparência à radiação solar de 81,5%.

Farias et al. (1993b) observaram em um ambiente protegido tipo capela (10x50m), cujo o teto apresentava inclinação de 15°, no município de Capão do Leão, RS, que 83% da radiação solar verificada externamente, ao redor das 12 horas, penetrou no interior do ambiente protegido, no período de 10 a 21 de novembro de 1989. Esses autores constataram também uma variação na transmissividade entre 65 e 90%, em dia de céu limpo, e que 45% da radiação solar global, em média, correspondeu à radiação solar difusa. No ambiente externo esse valor foi de 24%, evidenciando o efeito difusivo da cobertura.

Escobedo et al. (1994) calcularam a transmissividade da radiação solar, medida em ambiente protegido coberto com polietileno no município de Botucatu, SP, e encontraram valor igual a 63%, comprovado por Souza (1996) sob diversas condições de cobertura do céu nas mesmas condições.

Camacho et al. (1995) trabalhando com ambiente protegido tipo túnel alto, com cobertura de polietileno (0,1mm), orientada no sentido norte-sul, no município de Capão do Leão, RS, no período de 01/11/92 a 30/11/93, observaram uma transmissividade média à radiação solar global de 78%, com seus valores variando de 65 a 89%, apresentando maior transmissividade na primavera. A maior transmissividade encontrada durante um dia ocorreu por volta do meio dia, sendo encontrada uma maior fração da radiação solar difusa no interior do ambiente protegido.

Para as condições de Botucatu, SP, Frisina (1998) constatou uma transmissividade de 79,59%, trabalhando com um ambiente protegido tipo túnel, com cobertura de polietileno de baixa densidade (PEBD) de 100 μ m, cultivado com alface. Também em Botucatu, SP, Assis (1998) avaliando ambientes protegidos cobertos com PEBD de 100 μ m, em duas orientações N-S e L-O, obteve variação na transmissividade de 55 a 77% e de 66 a 78%, respectivamente. Em dias com céu limpo a parcialmente nublados, a fração difusa da radiação solar apresentou-se maior no interior do ambiente protegido, o mesmo não acontecendo em dias de céu nublado. A radiação solar difusa no interior do ambiente protegido não sofreu alteração devido a diferentes orientações. Ainda em Botucatu, SP, Galvani (2001) avaliando a transmissividade do polietileno de 120 μ m em cultivo de pepino outono-inverno primavera-verão, obteve uma transmissividade média de 70,77% e 74,92%

para cada período, respectivamente, e Cunha (2001) trabalhando nas mesmas condições, com cultura pimentão, obteve uma transmissividade média para todo o ciclo da cultura de 68,81%.

Mastekbayeva & Kumar (2000), avaliando a transmissividade do polietileno de 200 μm de espessura, no interior de um ambiente protegido submetido a deposição de fumaça, com partículas variando entre 53 a 75 μm e diferentes camadas de acumulação, concluíram que a transmissividade do polietileno em estudo não alterou em função de acréscimos nos níveis de irradiância (200 a 800 W.m^{-2}) e, sim em função do número de dias de exposição do material e do acúmulo de fuligem sob a cobertura.

2.5 Coeficiente de reflexão

Uma parte da radiação solar direta incidente sobre um meio é refletida na forma de ondas curtas. Essa radiação solar refletida é representada no balanço de radiação pelo coeficiente de reflexão, também chamado de reflectância (Azevedo et al., 1997). O coeficiente de reflexão, nas superfícies cultivadas, é representado pelo percentual da radiação solar incidente que é refletido pelo solo e pela vegetação. Esse parâmetro é dependente da espécie cultivada, das condições de umidade da cultura, do ar e do solo, da porcentagem de cobertura do solo pela cultura, da coloração da vegetação e do arranjo foliar (espécie cultivada), do ângulo de incidência dos raios solares (época do ano e hora do dia), da quantidade e do tipo de nuvens e da irradiância (Stanhill et al., 1968; Willis, 1971; Blad & Baker, 1972; Azevedo et al., 1990; Leitão et al., 1990). Esse coeficiente caracteriza as

condições de reflexão da superfície, e pode variar de zero, uma superfície completamente negra, até um, para uma superfície completamente branca (Budiko, 1974).

O coeficiente de reflexão, em superfícies naturais com densa cobertura vegetal, varia entre 0,10 a 0,20-0,25 (Budiko, 1974). Segundo Monteith (1973), uma planta apresenta muitas variações de arquitetura, e o coeficiente é dependente da geometria do dossel, do ângulo de elevação solar e das propriedades radiativas dos componentes da vegetação. Para culturas agrícolas em crescimento, com altura variando entre 50 e 100cm, o coeficiente de reflexão está entre 18 e 25%, porém quando a cobertura do solo não é completa, quando há espaços entre as plantas, esse valor pode chegar a 10% (Monteith & Szeicz, 1961), devido a presença de muitas variações na arquitetura da planta, sendo que uma parte significativa da radiação solar refletida é bloqueada entre os espaços das folhas.

Muitos estudos já foram realizados objetivando avaliar o comportamento do coeficiente de reflexão de superfícies vegetadas, tais como: André & Viswanadham (1983) com cultura da soja; Fontana et al. (1991) com cultura da soja; Azevedo et al. (1991) com cultura do algodão herbáceo; Alves et al. (1998), com cultura do melão; Souza (1996) com a cultura do feijão-vagem; Frisina (1998) com cultura do alface; Assis (1998) com cultura do alface; Galvani (2001) com cultura do pepino; Cunha (2001) com cultura do pimentão.

2.6 Temperatura e fluxo de calor no solo

A maior causa de variação da temperatura na superfície do solo é a alteração da intensidade da radiação solar (Van Wijk, 1966). Devido ao fato da absorção e da perda de energia ocorrerem na superfície, e aliado a baixa velocidade de propagação do calor no interior do solo, as variações térmicas se limitam aos horizontes mais superficiais (Rosenberg, 1974; Bergamaschi & Guadagnin, 1993).

A temperatura do solo é o elemento do ambiente que determina a velocidade de germinação das plântulas, sendo sua influência maior nos períodos de semeadura-emergência e crescimento inicial, quando ocorrem acentuadas amplitudes térmicas diárias, principalmente próximo a superfície (Schneider et al., 1993). A temperatura do solo tem efeitos diretos no desenvolvimento da planta, pois a semente não germina até que o solo alcance uma temperatura crítica, assim como, o desenvolvimento normal da planta também necessitará de uma temperatura adequada. As reações químicas e a liberação de nutrientes para a planta, dependem de faixas adequadas de temperatura do solo (Van Wijk, 1966).

Segundo Bergamaschi & Guadagnin (1993), a temperatura do solo é um elemento de fundamental importância agrícola e ecológica, devido ao papel que desempenha nas interações solo-planta-atmosfera. Esta importância deve-se às influências em vários processos, destacando-se a germinação das sementes, o desenvolvimento e a atividade das raízes em absorver água e nutrientes do solo, a difusão de solutos e gases, o desenvolvimento de enfermidades e a velocidade das reações químicas do solo.

Segundo Alfonsi & Sentelhas (1996), o solo se comporta como um reservatório de grande capacidade térmica, sendo aquecido durante o dia e cedendo parte dessa energia durante a noite, aquecendo a atmosfera, e atuando como estabilizador térmico.

O fluxo de calor no solo é um importante elemento em modelos de balanço de energia, entre o ar e o solo, não somente para modelos de crescimento de plantas, mas também para modelos meteorológicos (Van Loon et al. 1998). O fluxo de calor no solo, de um modo geral, apresenta valores positivos no período noturno e negativos no período diurno. Os valores negativos representam entrada e os positivos saída de energia (calor) do meio. Durante as horas de brilho solar, há entrada de energia no sistema (solo), devido à incidência dos raios solares sobre o solo, que aumenta o gradiente de temperatura nos níveis inferiores do solo. No período noturno há uma gradual perda dessa energia, do solo para a atmosfera, que foi acumulada durante as horas de brilho solar (resfriamento do solo). O fluxo de calor no solo (FCS) é função da temperatura do solo em diferentes profundidades e da condutividade térmica do solo, sendo influenciado diariamente pela variação da temperatura do solo (Galvani, 2001), e a temperatura do solo por sua vez, influenciada pela radiação solar global (principalmente pela componente direta) (Van Wijk, 1966).

Mendez & Assis (1981), estudando a variação da temperatura do solo em Pelotas, RS, constataram que tanto em solo desnudo, como em solo gramado, as variações acentuadas de temperatura ficaram restritas a uma profundidade em torno de 20cm, sendo observado também que, a média anual de temperatura do solo foi praticamente constante com a profundidade, com desvios normalmente menores que 1 a 2°C.

Martins (1992), trabalhando com ambiente protegido tipo capela (8x25m), durante o verão em Jaboticabal, SP, constatou que a amplitude térmica do solo foi

menor na condição de ambiente protegido, quando comparada com aquela obtida na condição de campo. Avaliando as alterações causadas pelo ambiente protegido, coberto com polietileno de 100 μ m, na temperatura do solo, Schneider et al. (1993), em Santa Maria, RS, constataram que os valores de temperatura média do solo foram mais elevados na condição de ambiente protegido.

Para as condições de Botucatu, SP, Galvani et al. (1999), avaliando temperatura do solo em ambiente protegido, cultivado com pepino, concluíram que a temperatura média do solo ao longo do ciclo apresentou valores superiores, na profundidade de 10 e 20cm, na condição de campo. Aguiar e Silva et al. (2000), estudando a variação da temperatura do solo no interior do ambiente protegido, na profundidade de 10cm, obtiveram valores médios de 22,64°C e 21,92°C nas condições de ambiente protegido e campo, respectivamente. Cunha (2001), obteve ao longo do ciclo da cultura do pimentão valores médios de temperatura do solo na profundidade de 10cm de 20,98°C e 19,68°C, para as condições de ambiente protegido e campo, respectivamente.

2.7 Temperatura e umidade relativa do ar

É de fundamental importância o conhecimento da temperatura e da umidade relativa do ar no dossel vegetativo em estudos climatológicos das culturas que se desenvolvem num determinado ambiente, sendo que a variação desses elementos meteorológicos condicionam, não só o crescimento e o desenvolvimento das plantas, mas também a ocorrência de pragas e doenças (Heldwein & Krzysch, 1999). Vale a pena lembrar

que, a maioria das doenças somente ocorre em umidades relativas do ar acima de 80%, e que a faixa ótima de desenvolvimento para a maioria das culturas situa-se abaixo deste valor, portanto, apenas manejando adequadamente estes elementos meteorológicos, pode-se reduzir as aplicações de defensivos agrícolas (Tivelli, 1998).

Segundo Pereira et al. (1997), o ar apresentar maior capacidade de retenção de vapor d'água com o aumento da temperatura, este funciona então, como um reservatório que se expande/contrai com o aumento/decréscimo da temperatura.

A temperatura do ar no interior do ambiente protegido é dependente, entre outros fatores, do tamanho do ambiente protegido, do volume de ar a ser aquecido e das propriedades óticas da cobertura (Seeman, 1979; Robledo de Pedro, 1987; Robledo de Pedro & Vicente, 1988; Mougou et al., 1989; Buriol et al., 1993a) e das condições meteorológicas do local (Buriol et al., 1993b; Farias et al., 1993a). A temperatura do ar na condição de ambiente protegido difere da condição de campo e depende da densidade de fluxo da radiação solar incidente no interior destes e do seu manejo (Seeman, 1979). Segundo Tivelli (1998), no cultivo em ambiente protegido não controlado, as altas temperaturas causam, geralmente, danos mais significativos do que as baixas temperaturas.

Alpi & Tognoni (1991) verificaram a existência de um gradiente de temperatura do ar no interior do ambiente protegido. De uma maneira geral, as variações verticais da temperatura do ar no interior do ambiente protegido, são causas diretas dos fenômenos de transmissão de calor por irradiação, condução e principalmente, convecção, sendo que os menores valores foram encontrados próximos ao solo, e a medida que se aproximava do teto, os valores de temperatura do ar atingiram seus valores máximos.

As altas temperaturas observadas durante as horas de brilho solar no interior do ambiente protegido, devem-se à radiação solar (Mills et al., 1990). Segundo o autor, as temperaturas do ar diurnas encontradas interna ao ambiente protegido tipo túnel, coberto com polietileno, na África do Sul, não diferiram muito das encontradas no seu exterior, fato que pode ser explicado pela pequena opacidade às radiações de ondas longas apresentada pelo polietileno. Farias et al. (1993a) trabalhando com ambiente protegido tipo capela, de 10x50m, localizada em Capão do Leão, RS, de setembro de 1989 a janeiro de 1990, observaram que os valores médios de temperatura e umidade relativa do ar ficaram muito próximos entre as condições de ambiente protegido e campo.

O efeito da cobertura plástica sobre a temperatura mínima do ar ainda é conflitante. Os valores médios da temperatura mínima do ar encontrados internos ao ambiente protegido cobertos com filmes de PEBD, tendem a ser iguais ou ligeiramente superiores àqueles encontrados externamente (Montero et al., 1985; Mougou et al., 1989; Mills et al., 1990; Buriol et al., 1993a; Farias et al., 1993a). Buriol et al. (1993a) avaliando as modificações causada na temperatura do ar mínima pelo ambiente protegido tipo capela, com cobertura de polietileno (10x25m) em Santa Maria, RS, em épocas distintas do ano, constataram existir diferenças significativas entre as temperaturas mínimas entre os ambientes interno e externo, com 1,2°C superiores em ambiente interno. Utilizando um ambiente protegido tipo túnel alto, coberto com filme de PEBD, 0,1mm de espessura e aditivado com anti-UV, e orientada no sentido N-S e ventilação pelas frontais, Camacho et al. (1995) nas condições climáticas de Capão do Leão, RS, encontraram valores inferiores de temperatura do ar mínima em condição interna ao ambiente protegido, entre os meses de junho e outubro, o que mostra a incapacidade do ambiente protegido em proporcionar um adequado

armazenamento de energia, devido a grande transparência do material de cobertura às radiações de onda longa. O maior efeito da cobertura de polietileno sobre as temperaturas do ar ocorreu em seus valores máximos, apresentando valores superiores em condição interna ao ambiente protegido.

De acordo com Tapia (1981) e Robledo de Pedro (1987), o PEBD tem alta transparência à radiação de onda longa, portanto, não impedindo a perda noturna de energia, o que acarretaria uma queda acentuada da temperatura do ar. Sendo que o ambiente protegido proporciona um acréscimo na temperatura máximo do ar, e a temperatura mínima é praticamente igual nos dois ambientes, com relação a amplitude térmica diária, observa-se uma maior variação no interior do ambiente protegido quando comparado com o externo (Seeman, 1979; Montero et al. 1985; Farias et al., 1993a). Trabalhando com a caracterização do microclima formado numa estufa tipo capela de 10x50m, coberta com filme de polietileno de 0,1mm de espessura, em Pelotas, RS, no período de outubro a dezembro de 1988, Martins et al. (1992) concluíram que a temperatura média do ar, em todos os meses, não apresentou muita diferença entre as duas condições (ambiente protegido e campo). Os valores de umidade relativa do ar durante o dia, dentro e fora do ambiente protegido, não apresentaram diferença. Durante a noite, foram observados valores mais elevados no ambiente protegido.

Trabalhando com um ambiente protegido tipo capela (8x25m), durante o verão, em Jaboticabal, SP, Martins (1992) obteve maiores valores de temperatura do ar máxima no interior do ambiente protegido, entretanto, houve pequeno efeito da cobertura sobre a temperatura mínima e umidade relativa do ar, quando comparada àquela obtida em condição de campo. A amplitude térmica do solo foi menor no interior do ambiente protegido, quando comparado com a condição de campo. Faria Junior et al. (1993), estudando o

comportamento de cultivares de alface, durante o período de verão, em ambientes protegidos com cobertura plástica do tipo arco e capela, em Ilha Solteira, SP, verificaram que os valores de temperatura do ar máxima foram superiores no interior do ambiente protegido, entre 3 e 5°C. Com relação às temperaturas mínimas, as diferenças entre as condições de ambiente protegido e campo foram muito pequenas (0,3°C). Observaram ainda que os valores de umidade relativa do ar foi superior dentro do ambiente protegido.

Al-Riahi et al. (1988), cultivando pepino em Bagdá, Iraque, em ambiente protegido tipo túnel, durante os meses de janeiro a abril de 1987, verificaram valores médios mensais de temperatura do ar sempre superiores no interior do ambiente protegido, em média 1,1 a 3,2°C.

Investigando a variação de alguns elementos climáticos no interior de ambiente protegido com cobertura plástica, na região Sul do Brasil, Farias et al. (1993a), encontraram valores de umidade relativa máxima mais elevados no interior do ambiente protegido, durante o período noturno, quando comparados com o ambiente externo.

Os valores de umidade relativa do ar no interior dos ambientes protegidos são muito variáveis e estão relacionados aos valores de temperatura do ar, pois para um mesmo conteúdo de vapor d'água no ar, a umidade relativa é inversamente proporcional à temperatura (Seeman, 1979; Prados, 1986; Cunha, 2001). Durante o período diurno, com o aumento da temperatura do ar, a umidade relativa diminui no interior do ambiente sob cobertura plástica, tornando-se inferior à verificada externamente, enquanto no período noturno, a umidade relativa aumenta chegando próxima a 100%, em decorrência da queda da temperatura e à retenção do vapor d'água pela cobertura plástica (Tanaka & Genta, 1982).

Caracterizando o microclima formado num ambiente protegido tipo capela (10x50m), coberto com polietileno de 100 μ m de espessura, em Pelotas, RS, Martins et al. (1992), concluíram que os valores de umidade relativa do ar, durante o período diurno, não apresentaram diferenças entre as condições de ambiente protegido e campo, enquanto no período noturno, foram verificados valores superiores na condição de ambiente protegido. Fernandes (1996), estudando as condições microclimáticas em um ambiente protegido com cobertura plástica de PEBD, cultivado com crisântemo, na Região Sul do Brasil, observou que os valores das umidades relativas máxima, média e mínima determinadas na condição de ambiente protegido foram inferiores em média 4%, 1% e 4%, respectivamente, em relação aos valores obtidos na condição de campo.

Os valores médios de umidade relativa do ar na condição de ambiente protegido são similares aos encontrados na condição de campo (Prados, 1986; Cunha, 2001, Galvani, 2001).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área experimental

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Recursos Naturais – Setor Ciências Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu, localizada no município de Botucatu, Estado de São Paulo. A área experimental apresenta as seguintes coordenadas geográficas: latitude de 22° 51'S; longitude de 48° 26'W e altitude de 786m.

3.2 Caracterização do clima

Por meio da classificação climática de Köppen, o clima do município de Botucatu, SP, foi classificado como sendo Cwa, clima temperado quente (mesotérmico)

com chuvas no verão e seca no inverno com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C, apresentando temperatura do mês mais quente de 23,9°C e do mês mais frio de 16,5°C, e temperatura média anual de 20,5°C. A precipitação pluviométrica máxima de verão é de 309,6mm e a máxima de inverno de 108,6mm, com média anual de 1533,2mm; sendo esses valores encontrados para o período de 1971 a 1998 (Cunha et al., 1999).

3.3 Área experimental

A área experimental constitui-se de duas parcelas, com dimensões e sentido idênticas, uma a condição de ambiente protegido (Figura 1) e a outra a condição de campo (Figura 2). O ambiente protegido construído foi um tipo arco não-climatizada, modelo PLANTROTEC 700, com área de 140m², sendo 7,0m de largura por 20,0m de comprimento, com laterais a 2,2m acima do nível do solo e arco central de 4,0m. O polietileno utilizado foi de 100µm de espessura e nas laterais utilizou-se malha preta de polietileno (sombrite) com redução de 50% da radiação solar. O ambiente protegido foi orientado predominantemente no sentido leste-oeste geográfico.

Foram coletadas amostras compostas e aleatórias de solo da área experimental, para análise química nas profundidades de 0 a 20cm e de 20 a 40cm, e física nas profundidades de 0 a 20cm, 20 a 40cm e de 40 a 60cm, segundo EMBRAPA (1997), sendo feitas amostragens para as condições de ambiente protegido e campo. Os resultados podem ser observados nos Quadro 1 e 2.



Figura 1- Vista interna do ambiente protegido, sistema de tutoramento e aparelhos (Foto: Aguiar e Silva, M.A., em 17/05/00).



Figura 2 - Vista da condição de campo e sistema de tutoramento (Foto: Aguiar e Silva, M.A., em 17/05/00).

Quadro 1 – Análise química do solo da área experimental (feita pelo Departamento de Recursos Naturais – Setor Ciência do Solo) nas condições de ambiente protegido (ap) e campo (cp).

Camada (cm)	pH CaCl ₂	M.O. g/dm ³	P _{resina} mg/dm ³	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
-----Mmol _c /dm ³ -----										
0-20 ^{cp}	4,6	19	2	38	0,4	9	3	12	50	25
20-40 ^{cp}	4,6	15	2	31	0,5	10	3	13	44	30
0-20 ^{ap}	4,5	14	1	28	0,3	8	3	11	39	29
20-40 ^{ap}	4,7	15	2	31	0,4	10	3	13	44	30

Quadro 2 – Análise física do solo da área experimental (feita pelo Departamento de Recursos Naturais – Setor de Ciências Ambientais) nas condições de ambiente protegido (ap) e campo (cp).

Camada (cm)	Granulometria (%)		
	Argila	Silte	Areia
0-20 ^{ap}	29,35	10,58	60,07
20-40 ^{ap}	31,35	7,53	61,12
40-60 ^{ap}	28,45	10,19	61,36
0-20 ^{cp}	22,45	13,78	63,77
20-40 ^{cp}	26,05	8,40	65,55
40-60 ^{cp}	26,05	8,38	65,57

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico A moderado textura média, segundo EMBRAPA (1999).

3.4 Híbrido do pimentão

O híbrido do pimentão utilizado foi o Margarita, que apresenta frutos vermelhos quando maduros. A escolha desse híbrido deveu-se ao fato dele apresentar elevado valor comercial, permitindo uma relação custo benefício favorável para seu cultivo em ambiente protegido, principalmente no período de entre safra (inverno), além da grande aceitação pelo consumidor brasileiro. Segundo Tivelli (1999) os frutos vermelhos atingem cotação cerca de 10% maior que a de frutos verdes e em algumas épocas do ano pode ser até maior.

3.5 Manejo da irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi o de tubos gotejadores, trabalhando com 5,0m.c.a. (metros de coluna d'água) e vazão por gotejador de 1,0L h⁻¹. O espaçamento entre os gotejadores na linha de plantio foi de 0,30m, utilizando-se apenas um tubo por linha de plantio. Para evitar o entupimento dos tubos gotejadores e conseqüente variação da lâmina de água que devia ser aplicada, utilizou-se de um filtro de placas.

O controle da irrigação foi efetuado baseando-se no Método de Camargo (Camargo & Camargo, 1983). A escolha desse método deveu-se ao fato de não termos disponíveis as medidas de velocidade do vento na condição de ambiente protegido. Neste método a evapotranspiração de referência (ET_o) obtida em mm d⁻¹, é dada pela equação:

$$ET_o = F Q_o T N \quad (1)$$

onde Q_o (mm d^{-1}) é a radiação solar extraterrestre diária expressa em milímetros equivalentes de evaporação; T ($^{\circ}\text{C}$) é a temperatura média do período; F é o fator de ajuste que varia com a temperatura média anual do local; e N é o número de dias do período. Para a condição de ambiente protegido considerou-se a transmissividade média do polietileno de 70%, ou seja, os valores de Q_o foram multiplicados por 0,70.

Segundo Klosowski (2001), os valores do coeficiente da cultura (k_c) para o pimentão no período analisado (1ª colheita- 105 dias após o transplântio) nas condições climáticas de Botucatu, SP, foi de 0,7. Com os dados da ET_o e com o k_c da cultura, obteve-se a evapotranspiração da cultura (ET_c) através da seguinte equação:

$$ET_c = ET_o * k_c \quad (2)$$

Desenvolveu-se um modelo de regressão linear entre a vazão e o tempo de cada gotejador. O tempo, em minutos, necessário de funcionamento dos gotejadores para que lâmina d'água fosse repostada, está descrita na equação:

$$\text{Tempo} = 9,461 * \text{lâmina em litros. m}^{-2} \quad (3)$$

Assim, para que fosse aplicada uma lâmina de 2mm ou 2litros m^{-2} , por exemplo, o sistema deveria permanecer ligado por aproximadamente 19 minutos.

3.6 Condução do experimento

3.6.1 Preparo do solo e adubação de cobertura

O preparo do solo e a adubação de cobertura foram realizados mediante a recomendação de adubação feita à partir da análise química de solo. Os canteiros foram preparados manualmente através do revolvimento com enxada 15 dias antes do transplântio, incorporando-se os adubos numa profundidade de 25 a 40cm, aplicou-se 5 t ha⁻¹ de esterco de galinha decomposto, 1000 kg ha⁻¹ de 04-20-20 e 2250 kg ha⁻¹ de termofosfato Yoorin Master 1 S.

Na adubação de cobertura aplicaram-se 60 kg ha⁻¹ de nitrocálcio mais 40 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio a partir de 20-25 dias após o transplântio, repetindo mais 4 vezes com intervalos de 15-20 dias entre cada aplicação.

3.6.2 Preparo e transplântio das mudas

O preparo das mudas de pimentão foi feito na Fazenda Experimental de São Manuel em 05/01/00, as quais foram preparadas em bandejas de poliestireno expandido com 128 células e utilizou-se substrato preparado pela própria Fazenda Experimental, cujos produtos e proporções estão citados no Quadro 3. As mudas de pimentão foram irrigadas diariamente e, ao longo do seu desenvolvimento realizou-se pulverização com Decis (1cc L⁻¹),

para controle de pragas aéreas, fez-se uma adubação de cobertura com 1g L^{-1} de nitrocalcio e uma pulverização com Ridomil+Mancozeb ($3\text{g L}^{-1}\text{ H}_2\text{O}$), para controle de podridão de raiz.

Quadro 3 - Substrato empregado para produção das mudas de pimentão.

PRODUTO	PROPORÇÃO
Terra peneirada	60 L
Esterco de curral peneirado	60 L
Adubo 4-14-8	800 g
Plugmix	40 L
Palha de arroz carbonizada	Cobertura

O transplântio ocorreu dia 15/02/00 nas condições de ambiente protegido e de campo, utilizando-se uma planta por cova. O espaçamento utilizado foi de 0,3m na linha por 0,8m entre canteiros, num total de 4 canteiros, para cada condição, com apenas uma linha de cultura por canteiro, totalizando 211 plantas na condição de ambiente protegido e 225 plantas na condição de campo. Um número menor de plantas na condição de ambiente protegido, deve-se a instalação de dois anéis de sombreamento necessários à instalação dos sensores de radiação difusa dentro desse ambiente, o que não ocorreu na condição de campo, pois esses dados foram obtidos da Estação de Radiometria Solar, do Departamento de Recursos Naturais.

Antes do transplântio, os canteiros foram irrigados até a capacidade de campo. Após o transplântio das mudas, estas foram irrigadas duas vezes para garantir seu pegamento e depois, nos quinze dias subsequentes, as irrigações foram realizadas a cada três a quatro dias, mantendo as plantas sob estresse hídrico, para que estas desenvolvessem um sistema radicular mais profundo, possibilitando uma maior exploração de solo e uma maior

sustentação da planta. As mudas que eventualmente morreram ou tiveram seu desenvolvimento prejudicado, foram substituídas por mudas reservas. Após as mudas serem transplantadas, aplicou-se Ridomil+Mancozeb na dose de 3 g L⁻¹ de H₂O, para evitar a podridão de raiz (*Phytophthora capsici*).

3.6.3 Controle de plantas daninhas, pragas e doenças

O controle de plantas daninhas foi feito por capinas manuais, sempre que necessário. Tanto o controle de pragas quanto o de doenças, foi efetuado mediante exame visual do agente, inseto ou patógeno, e de acordo com recomendações técnicas do produto químico em questão, conforme o Quadro 4.

Quadro 4 - Controle fitossanitário realizado durante o ciclo da cultura do pimentão, de acordo com recomendações técnicas de cada produto.

Data	Praga ou Doença	Nome científico	Produto	Dosagem
16/02/00	Podridão de raiz	<i>Phytophthora capsici</i>	Ridomil + Mancozeb	3g / 1L
21/02/00	Vaquinha	<i>Diabrotica speciosa</i>	Decis	0,002L / 1L
03/03/00	Vaquinha	<i>Diabrotica speciosa</i>	Decis	0,002L / 1L
15/03/00	Vaquinha	<i>Diabrotica speciosa</i>	Decis	0,002L / 1L
	Pulgão	<i>Myzus persicae</i>		
11/04/00	Vaquinha	<i>Diabrotica speciosa</i>	Stron	0,001L / 1L
28/04/00	Tripes	<i>Frankliniella schulzei</i>	Stron	0,001L / 1L
	Vaquinha	<i>Diabrotica speciosa</i>		
02/05/00	Oidiopsis sicula	<i>Leveillula taurica</i>	Afugan	0,0015L / 1L
04/05/00	Oidiopsis sicula	<i>Leveillula taurica</i>	Rubigan	0,002L / 1L
12/05/00	Oidiopsis sicula	<i>Leveillula taurica</i>	Tilt	0,0005L / 1L
23/05/00	Tripes	<i>Frankliniella schulzei</i>	Stron	0,001L / 1L
	Vaquinha	<i>Diabrotica speciosa</i>		
25/05/00	Oidiopsis sicula	<i>Leveillula taurica</i>	Tilt	0,0005L / 1L
08/06/00	Vaquinha	<i>Diabrotica speciosa</i>	Decis	0,002L / 1L
21/06/00	Tripes	<i>Frankliniella schulzei</i>	Decis	0,002L / 1L
	Vaquinha	<i>Diabrotica speciosa</i>		
05/07/00	Tripes	<i>Frankliniella schulzei</i>	Decis	0,002L / 1L

3.6.4 Condução e tutoramento da cultura

As plantas de pimentão foram conduzidas com crescimento livre (sem poda), isto quer dizer que, só foram realizadas desbrotas de ramos ladrões, deixando que todos os outros ramos se desenvolvessem. Optou-se pela condução das plantas com crescimento livre, pois segundo Tivelli (1999), as plantas de crescimento livre apresentaram, de uma forma geral, número de frutos e produção por planta semelhante aos das plantas podadas.

A técnica utilizada no tutoramento das plantas de pimentão foi espaldeira tipo simples, ou seja, para uma linha única de plantas são utilizados de três a seis fios, distantes 30 a 50cm um do outro, o que permite conduzir as plantas até dois metros de altura (Tivelli, 1999). As plantas foram tutoradas individualmente, utilizando-se de um cintador Max modelo HT-B, em fitilhos esticados em bambus ao longo de todo o canteiro. Essa prática visa evitar o tombamento das plantas e a quebra das hastes, devido ao peso do frutos. Os bambus, com 2 m de altura, foram fixados a cada 1 m, em arames que estavam presos em mourões nas extremidades dos canteiros. Segundo Tivelli (1999), as hastes de pimentão são muito quebradiças quando cultivadas na condição de campo aberto, e esse problema agrava-se em culturas conduzidas na condição de ambiente protegido, pois as plantas apresentam maior desenvolvimento (Farias Junior, 1997), seus tecidos tornam-se mais frágeis e as hastes ficam sobrecarregadas com o número maior de frutos e, portanto, maior peso (Cormeño, 1977). Devido ao grande desenvolvimento das plantas de pimentão, principalmente na condição de ambiente protegido, o sistema de tutoramento dificultou que todas as hastes fossem presas ao fitilho, e sendo suas hastes muito quebradiças,

consequentemente, alguns frutos foram perdidos, devido a quebra de ramos causada pelo próprio peso do fruto.

3.7 Característica de crescimento da cultura do pimentão

Foram previamente marcadas, de forma aleatória e na fase de muda, 30 plantas na condição de ambiente protegido e 30 na condição de campo, para análise de crescimento. As coletas das plantas foram realizadas durante o ciclo da cultura de pimentão em intervalos de 14 dias, onde 4 plantas eram extraídas da área experimental e analisadas, 2 plantas para cada condição. Essas análises tiveram início em 22/02/00 e contaram com as seguintes medidas: altura, número de folhas, matéria fresca e seca total (raiz, caule, folhas e frutos), área foliar e índice de área foliar (média de duas plantas para cada condição).

A área foliar foi determinada utilizando-se um "Automatic Area-meter modelo AAM-7" (equipamento integrador de área foliar). Para obter-mos o Índice de Área Foliar (IAF) utilizou-se a seguinte equação:

$$IAF = (AF * NP)/AT \quad (4)$$

em que: AF é a área foliar média de duas plantas; NP é o número de plantas na área considerada e AT é a área total considerada (m²).

Assim, o Índice de Área Foliar será expresso em m² m⁻², ou seja, m² de folhas por m² de terreno.

3.8 Parâmetros agrometeorológicos da cultura do pimentão

3.8.1 Componentes da radiação solar

As especificações dos sensores das componentes global, difusa, refletida e fluxo de calor no solo, utilizados no monitoramento da área experimental, para as condições de ambiente protegido e campo, encontram-se no Quadro 5 com suas respectivas constantes de calibração.

Quadro 5 – Sensores das componentes da radiação solar e fluxo de calor no solo e suas respectivas constantes de calibração.

Componentes da Radiação solar	Constante de calibração	
	Cultivo protegido	Cultivo de Campo
Global	$24,10 \mu\text{V.m}^2.\text{W}^{-1} \text{ (1)}$	$8,13 \mu\text{V.m}^2.\text{W}^{-1} \text{ (2)*}$
Difusa	$21,16 \mu\text{V.m}^2.\text{W}^{-1} \text{ (1)}$	$8,17 \mu\text{V.m}^2.\text{W}^{-1} \text{ (2)*}$
Refletida	$20,87 \mu\text{V.m}^2.\text{W}^{-1} \text{ (1)}$	$16,98 \mu\text{V.m}^2.\text{W}^{-1} \text{ (1)}$
Fluxo de calor no solo	$37,50 \text{ W.m}^{-2}.\text{mV}^{-1} \text{ (3)}$	$39,10 \text{ W.m}^{-2}.\text{mV}^{-1} \text{ (3)}$

⁽¹⁾ Fabricante Kipp-Zonen

⁽²⁾ Fabricante Eppley

⁽³⁾ Fabricante Rebs

* sensores instalados na Estação de Radiometria Solar de Botucatu, que se encontra a 100 metros de distância da área experimental.

Para a determinação da radiação solar global utilizaram-se 2 piranômetros, um para o ambiente protegido e outro para a condição de campo.

As medidas da radiação solar difusa foram obtidas utilizando-se um anel de sombreamento sobre um piranômetro, sendo utilizados 2 piranômetros e dois anéis de sombreamento, um para a condição de ambiente protegido e outro para a condição de campo. A função do anel de sombreamento é barrar a radiação solar direta sobre o sensor. As medidas

da radiação solar difusa foram corrigidas por um fator de correção (FC), o qual é função das dimensões do anel (0,40 m de raio e 0,10 m de largura), da latitude do local, da declinação solar e do ângulo horário no por do sol (Melo, 1993).

Uma parte da radiação solar que chega a superfície é refletida na forma de ondas curtas, radiação solar refletida, ela pode ser refletida pelo solo, pela cultura ou qualquer superfície. Para obtenção de sua medida, utilizaram-se dois piranômetros voltados para o solo, um em condição de ambiente protegido e outro no campo.

O fluxo de calor no solo representa a energia, na forma de calor, que foi transmitida para o interior do solo. O fluxo de calor no solo foi medido por dois fluxímetros REBS modelo HFT-3, instalados a 0,02 m de profundidade na linha central de plantio, um na condição de campo e outro na condição de ambiente protegido.

3.8.2 Coeficiente de reflexão (CR)

O coeficiente de reflexão é a fração da radiação solar incidente refletida pela superfície em estudo. O coeficiente é dependente do ângulo de incidência da radiação solar (ângulo zenital) e do poder refletor da superfície. É dado pela expressão:

$$CR = (R_r/R_g) \cdot 100 \quad (5)$$

em que, CR é o coeficiente de reflexão da superfície em %; R_r a radiação solar refletida pela superfície e R_g a radiação solar global.

3.8.3 Saldo de radiação de ondas curtas

O saldo de radiação de ondas curtas (SRoc) representa a energia disponível para os processos de um determinado meio, após contabilizada a emissão de ondas longas para a atmosfera e a contra-irradiada pelas nuvens e a atmosfera. O saldo de radiação de ondas curtas foi obtido através da seguinte equação:

$$SRoc = Rg - Rr \quad (6)$$

em que : SRoc é o saldo de radiação de ondas curtas; Rg a radiação solar global incidente e Rr a radiação solar refletida.

3.8.4 Temperatura e umidade relativa do ar

Foram instalados a 2 metros de altura dois sensores eletrônicos marca Vaisala, modelo HMP 45C, um na condição de ambiente protegido e outro na condição de campo. Esses sensores fornecem medidas de temperatura do ar em °C e de umidade relativa do ar em %. O sensor Vaisala foi instalado em um abrigo evitando assim a incidência de radiação solar direta e da chuva sobre o sensor.

3.8.5 Temperatura do solo

A temperatura do solo foi monitorada por dois sensores eletrônicos CSI modelo 107B, instalado a 0,1 m de profundidade, sendo instalado na linha central de plantio, um na condição de ambiente protegido e outro na condição de campo. O sensor fornece as medidas de temperatura do solo em °C.

3.8.6 Aquisição de dados agrometeorológicos

A aquisição de dados, tanto para a condição de campo quanto para a de ambiente protegido, foi realizada utilizando-se de um coletor de dados acoplado a um multiplexador, para a expansão do número de entradas para a conexão dos sensores. Os sinais gerados e enviados pelos sensores ao coletor de dados foram lidos em intervalos de 5 segundos e feita a média dos dados a cada 5 minutos, pré estabelecidos na programação.

3.9 Índice dos elementos energéticas e ambientais (I)

Com o objetivo de quantificar o efeito da cultura do pimentão sobre os elementos energéticos (radiação solar: global, refletida, difusa, coeficiente de reflexão, saldo de radiação de ondas curtas e fluxo de calor no solo) e ambientais (temperatura do solo, temperatura e umidade relativa do ar), calculou-se um índice entre esses elementos. Esse

índice é adimensional e foi determinado através da relação entre o elemento estudado na condição de ambiente protegido e o mesmo elemento na condição de campo, obtendo-se assim um índice para o período sem cultura e outro índice para o período com a cultura do pimentão.

$$I = \frac{\text{Elemento (ap)}}{\text{Elemento (cp)}} \quad (7)$$

onde, I é o índice dos elementos energéticas e ambientais, obtido através da relação entre o elemento na condição de ambiente protegido (ap) e campo (cp).

Como os dados foram obtidos em duas épocas distintas, o período sem cultura foi de 01/06 a 30/11/99, totalizando 6 meses de dados com solo sem vegetação, e o período com a cultura do pimentão foi de 15/02 a 05/09/00, aproximadamente 8 meses de ciclo da cultura, necessitou-se minimizar o efeito da sazonalidade, para poder comparar estes dois períodos diferentes e tentar quantificar como a cultura alterou essas variáveis. Para tanto, o período utilizado foi coincidente, mas em anos diferentes, sendo de 01/06 a 05/09/99 para o período sem cultura e de 01/06 a 05/09/00 para o período com a cultura, totalizando assim 97 dias de dados para cada período.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variabilidade dos elementos energéticos

4.1.1 Radiação solar global , refletida, coeficiente de reflexão e saldo de radiação de ondas curtas

Na Figura 3 observa-se a variação da radiação solar global para um período coincidente de 97 dias, nas condições de ambiente protegido (GLO ap) e campo (GLO cp). O período de análises sem a cultura foi de 01/06 a 05/09/99 e com a cultura do pimentão foi de 01/06 a 05/09/00. No dia 01/06/00, início do período de análises com cultura, as plantas de pimentão encontravam-se com 107 dias após o transplante (DAT) em plena fase de desenvolvimento vegetativo e início da fase reprodutiva.

A variação das curvas nos dois períodos, com e sem cultura, apresentou uma tendência semelhante, sendo a diferença entre os períodos associada às diversas condições de cobertura do céu (céu limpo, céu parcialmente nublado e céu nublado), uma vez que o período foi o mesmo, consequentemente, a declinação solar foi a mesma, só que em anos diferentes. Observa-se que, nos dois períodos, o ambiente protegido apresentou menores valores de radiação solar global devido a absorção e reflexão do polietileno (Bugalho Semedo, 1978; Seeman, 1979; Prados, 1986; Robledo de Pedro & Vicente, 1988; Kurata, 1990; Cermeño, 1990), esse valor será expresso pela transmissividade desse material, que é obtido pela relação entre a radiação solar global nas condições de ambiente protegido e campo (Figura 6) e será discutida mais adiante.

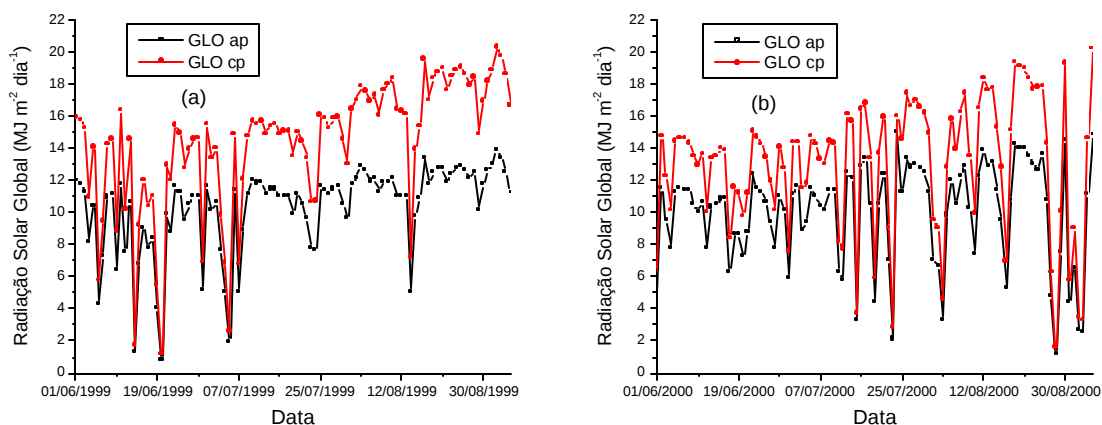


Figura 3 - Variação da radiação solar global nas condições de ambiente protegido (GLO ap) e campo (GLO cp), para um período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e de 01/06 a 05/09/00), ao longo do período sem cultura (a) e com cultura do pimentão (b).

Em dias nublados, como os dias 14/06, 20/06 e 05/07/99 para o período sem cultura, e os dias 15/07, 23/07 e 28/08/00 para o período com a cultura, os valores da radiação solar global, nas condições de ambiente protegido e campo, tendem a serem muito próximos, uma vez que nestes dias grande parte da radiação solar global foi constituída pela componente difusa e uma pequena parte pela radiação solar direta. Como nestes dias a maior porcentagem da radiação solar global foi constituída pela radiação solar difusa, a cobertura de polietileno não alterou significativamente os valores da radiação solar global no ambiente protegido, apresentando valores muito próximos aos obtidos à campo, concordando com os valores obtidos por Cunha (2001) e Galvani (2001).

A radiação solar refletida para o período estudado sem e com cultura do pimentão, de 01/06 a 05/09/99 e de 01/06 a 05/09/00, respectivamente, está representada na Figura 4.

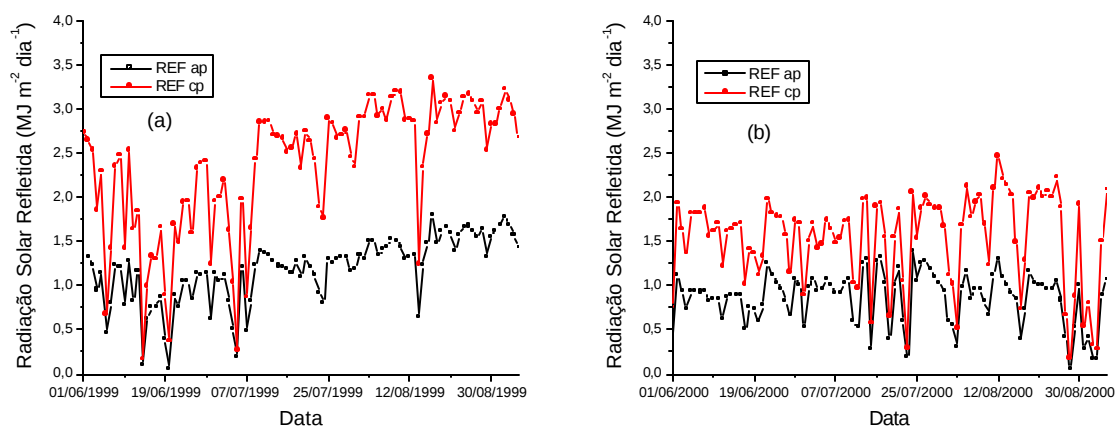


Figura 4 - Variação da radiação solar refletida nas condições de ambiente protegido (REF ap) e campo (REF cp), para um período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e de 01/06 a 05/09/00), ao longo do período sem cultura (a) e com cultura do pimentão (b).

De maneira geral, a radiação solar refletida para os dois períodos, sem e com a cultura do pimentão, apresentaram menores valores na condição de ambiente protegido. Como a fração da radiação solar que é refletida pelo substrato é proveniente, em grande parte, da radiação solar direta, a redução da radiação solar refletida no ambiente protegido deve-se basicamente a dois motivos. Primeiro, devido a absorção e reflexão de parte da radiação solar global pelo polietileno, reduzindo a quantidade de radiação solar passível de ser refletida dentro do ambiente protegido (Figura 3). Segundo, devido ao efeito difusor que o polietileno exerce sobre a radiação solar global (Figura 13), fazendo com que parte dessa radiação solar torne-se difusa e uma pequena parte permaneça direta e possa ser refletida pelo substrato.

São também observados dias com baixos valores de radiação solar refletida, próximos de zero. Esses dias apresentaram céu nublado e radiação solar quase que exclusivamente difusa, portanto nestes dias, quase não houve reflexão da radiação solar, também observado por Cunha (2001), ou ao erro instrumental em dias de baixa energia.

A fração da radiação solar incidente que é refletida pela superfície em estudo é dada pelo coeficiente de reflexão. O coeficiente de reflexão de uma determinada superfície é dependente da coloração da vegetação, condições de umidade do ar e do solo, percentagem de cobertura do solo, arranjo foliar da cultura, ângulo de inclinação solar, quantidade e tipo de nuvens (Stanhill et al., 1968; Blad & Baker, 1972; Azevedo et al., 1990; Leitão et al., 1990).

A variação do coeficiente de reflexão para o período de 97 dias, com e sem cultura do pimentão, está representada na Figura 5. Observa-se que nos dois períodos o

coeficiente de reflexão apresentou menores valores na condição de ambiente protegido, como já observado e discutido na radiação solar refletida (Figura 4).

Os valores médios encontrados do coeficiente de reflexão da superfície do solo (Figura 5a) foram de 11,32 e 16,14% para as condições de ambiente protegido e campo, respectivamente. Para o período com a cultura do pimentão (Figura 5b) os valores encontrados para o coeficiente de reflexão foram de 8,59% para a condição de ambiente protegido e de 11,80% para a condição de campo.

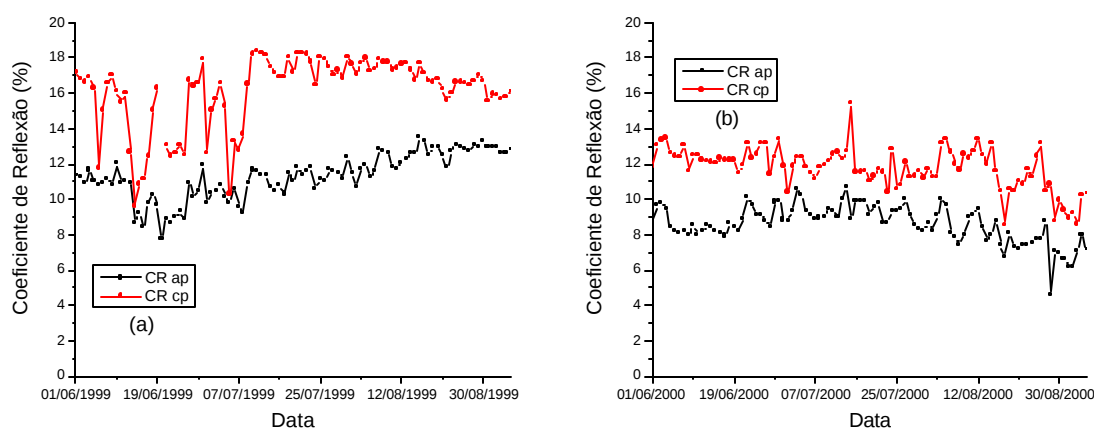


Figura 5 - Variação do coeficiente de reflexão do solo (a) e do dossel da cultura do pimentão (b) nas condições de ambiente protegido (CR ap) e campo (CR cp), para o período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e de 01/06 a 05/09/00).

No período sem cultura, a porção refletida da radiação solar era proveniente unicamente do substrato (solo), plano e homogêneo, e grande parte da radiação solar refletida era registrada pelo sensor. Ao contrário, no período com a cultura do pimentão, a radiação solar refletida não era proveniente exclusivamente da cultura, mas sim, do dossel da

cultura e do solo. Devido ao espaçamento (0,3m x 0,8m) e ao sistema de tutoramento (espaldeira simples) utilizados na condução da cultura, que não permitiram que o dossel cobrisse completamente a superfície do solo, simulando uma condição de medida ideal, ficaram as entre-linhas refletindo grande quantidade de solo. A arquitetura das plantas de pimentão, que é uma característica da própria cultura, juntamente com o espaçamento e o sistema de tutoramento, influenciaram impedindo que a radiação solar refletida por esse sistema fosse registrada pelo sensor. A radiação solar que chegou às folhas superiores do dossel da cultura foram refletidas em todas as direções e sentidos e parte dela foi registrada pelo sensor. Já a radiação solar que atingiu as folhas medianas e inferiores, mais próximas ao solo, ou até mesmo a superfície do solo, quando refletida atingiu novamente as folhas e era novamente refletida, formando “armadilhas” que aprisionavam parte da radiação solar refletida. Como as plantas da condição de ambiente protegido apresentaram um maior índice de área foliar (Figura 9) e conseqüentemente, um dossel mais denso, foi nessa condição que se encontrou os menores valores de coeficiente de reflexão. Cunha (2001) trabalhando com pimentão dentro e fora do ambiente protegido, obteve resultados semelhantes. Apesar do maior desenvolvimento das plantas na condição de ambiente protegido, estas apresentaram menor coeficiente de reflexão que as plantas cultivadas a campo. Para culturas agrícolas em crescimento, com altura variando entre 50 e 100cm, o coeficiente de reflexão está entre 18 e 25%, porém quando a cobertura do solo não é completa, quando há espaços entre as plantas, esse valor pode chegar a 10% (Monteith & Szeicz, 1961), devido a presença de muitas variações na arquitetura da planta, sendo que uma parte significativa da radiação solar refletida é bloqueada entre os espaços das folhas.

A oscilação dos valores do coeficiente de reflexão no início do período sem cultura deve-se à ocorrência de chuvas (Figura 8). Como o solo seco reflete mais que o solo úmido (Azevedo et al., 1990), quando da ocorrência de chuvas o solo na condição de campo molhava-se, fazendo com que este refletisse menos, enquanto o solo da condição de ambiente protegido mantinha-se seco.

Com o objetivo de avaliar e quantificar as alterações microclimáticas causadas pela cultura do pimentão no microclima de cultivo, utilizou-se da relação entre os elementos energéticos e ambientais, na condição de ambiente protegido e os obtidos a campo. Assim sendo, obteve-se um índice para o período sem cultura e outro para o período com a cultura do pimentão. Os dados foram obtidos na mesma época do ano, mas em anos diferentes, 01/06 a 05/09/99 para o período sem cultura e de 01/06 a 05/09/00 para o período com cultura do pimentão, tentando reduzir assim, o efeito da sazonalidade.

A Figura 6 mostra a variação do índice da radiação solar global para o período estudado, sem cultura (RG sc) e com cultura do pimentão (RG cc). Se multiplicar-mos os valores do índice da radiação solar global por 100, obteremos os valores do que usualmente convencionou-se chamar de transmissividade da cobertura. Sendo a transmissividade de um material a relação entre a radiação solar que atravessou o material (transmitida) e a radiação solar que está incidindo sobre este, constatou-se nesse trabalho que, quando se determina a radiação solar que atravessou o material, não se está apenas estimando o valor transmitido pela cobertura, mas sim um valor superestimado devido a reflexão do substrato e a difusibilidade da radiação solar causada pela cobertura e pelo próprio substrato. Quando a radiação solar atravessa o polietileno, uma parte mantém-se direta e outra difundi-se, tornando-se multidirecional podendo atingir novamente o sensor e superestimar o valor transmitido. Assim

como, a radiação solar direta pode ser refletida pelo substrato e retornar ao sensor, também superestimando seu valor.

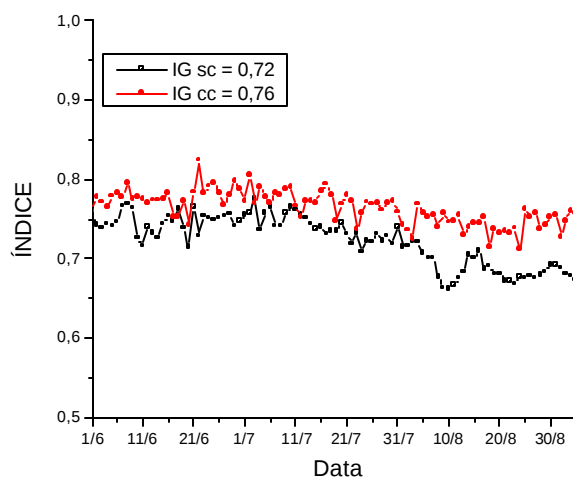


Figura 6 – Índice da radiação solar global para o período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e de 01/06 a 05/09/00) sem cultura (IG sc) e com cultura do pimentão (IG cc).

Os valores médios do índice da radiação solar global, para os períodos sem e com cultura do pimentão, foram de 0,72 e 0,76, respectivamente. Isto quer dizer que no período sem a cultura, o valor da radiação solar global no ambiente protegido representou 72% da radiação solar em condição de campo, e no período com a cultura, 76% da radiação solar global observada no campo foi detectada no ambiente protegido, concordando com os valores obtidos por (Alpi & Tognoni, 1984; Gonzalez, 1985; Robledo de Pedro & Vicente, 1988; Farias et al., 1993b; Buriol et al., 1993b, Buriol et al., 1995; Cunha, 2001; Galvani, 2001). Dentre os fatores que influenciam os valores de transmissividade, destaca-se a composição do material de cobertura, espessura, tempo de exposição às condições ambientais, condições

atmosféricas no momento da determinação, condensação nas paredes internas do ambiente protegido, deposição de poeira, ângulo de incidência dos raios solares, orientação e arquitetura do ambiente protegido (Alpi & Tognoni, 1984; Robledo de Pedro & Vicente, 1988; Camacho et al., 1995). Como o ambiente protegido e o polietileno utilizados foram os mesmos nos dois períodos, (mesma arquitetura, orientação, composição e espessura do material de cobertura) e como as medidas foram feitas no mesmo período em anos diferentes (mesmo ângulo de incidência dos raios solares), esse aumento do índice no período com a cultura deve-se, entre outros fatores, as condições atmosféricas no momento da determinação (tipo e total de nuvens), que foi diferente nos dois anos, condensação nas paredes internas do ambiente protegido, tempo de exposição às condições ambientais, que possivelmente levaram a uma decomposição do material de cobertura e a deposição de poeira.

Os valores médios do índice da radiação solar refletida para os períodos sem e com cultura foram de 0,51 e 0,56, respectivamente, e estão representados na Figura 7. Observa-se, no período sem cultura, que os valores da radiação solar refletida na condição de ambiente protegido representou 51% da radiação solar refletida na condição de campo, e para o período com a cultura, 56% da radiação solar refletida na condição de campo foi refletida na condição de ambiente protegido.

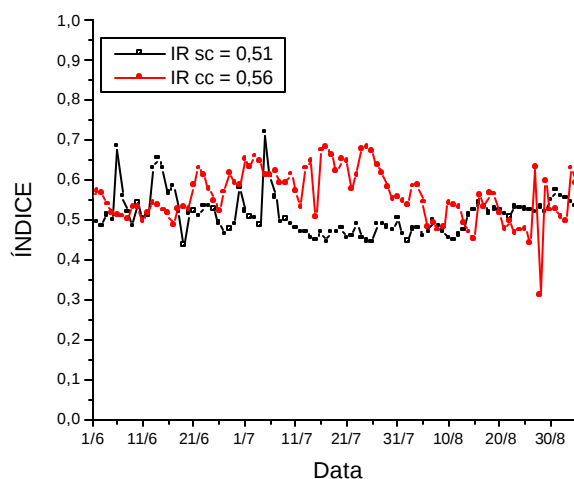


Figura 7 - Curva do índice da radiação solar refletida para um período coincidente de 97 dias, no período sem cultura (IR sc) e com cultura do pimentão (IR cc).

De maneira geral, o índice da radiação solar refletida no período sem cultura apresentou uma menor variação quando comparado ao período com a cultura do pimentão. No início do período sem cultura (IR sc), as variações observadas deveram-se a um período de chuvas (Figura 8a). Quando da ocorrência de chuvas, o solo na condição de campo apresentava a superfície molhada e o solo na condição de ambiente protegido mantinha-se seco. Como o solo seco tem um coeficiente de reflexão maior que o solo úmido, e como o índice foi obtido através da relação entre o ambiente protegido e o campo, houve um aumento do índice nestes dias. Para o período com a cultura do pimentão (IR cc), a variação do índice está relacionada com o índice de área foliar (IAF) da cultura (Figura 9). No dia 01/06/00, primeiro dia do período de análises com a cultura do pimentão, o dossel da cultura encontrava-se em pleno desenvolvimento vegetativo, atingindo seu índice máximo de área foliar no dia 11/07/00 e 27/06/00 nas condições de ambiente protegido e campo, respectivamente. Sendo

que o índice apresentou seus maiores valores entre os dias 22/06 e 25/07/00, período em que o dossel apresentou os maiores valores de IAF. A partir do dia 25/07/00 podemos observar decréscimo no IAF na condição de ambiente protegido (estádio de senescência das plantas). Na condição de campo o decréscimo do IAF começou dia 27/06/00, e com o decréscimo do IAF houve, consequentemente, queda no índice da radiação solar refletida.

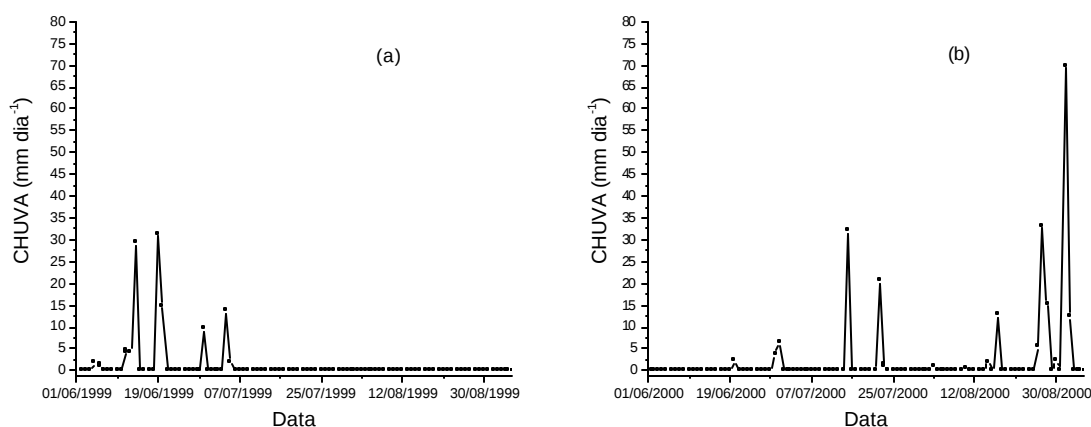


Figura 8 - Precipitação pluviométrica para o período de 01/06 a 05/09/99 (a) e 01/06 a 05/09/00 (b).

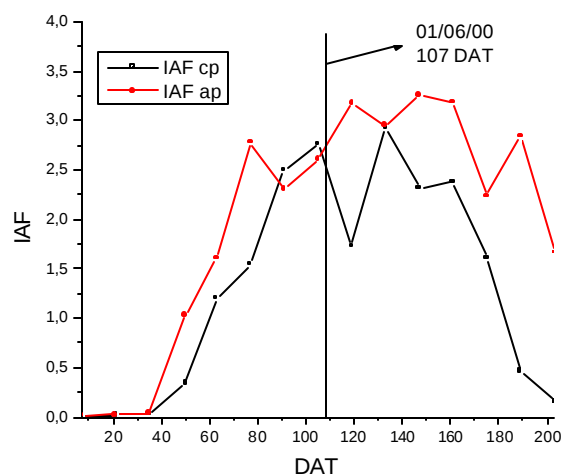


Figura 9 – Índice de área foliar para as condições de ambiente protegido (IAF ap) e campo (IAF cp).

O índice dos coeficientes de reflexão nos períodos sem cultura (ICR sc) e com cultura do pimentão (ICR cc), está representada na Figura 10. A variação do índice do coeficiente de reflexão e a variação do índice da radiação refletida (Figura 7) são similares, sendo que o índice do coeficiente de reflexão apresentou valores superiores nas duas condições, campo e ambiente protegido. Para o período sem cultura o coeficiente de reflexão na condição de ambiente protegido representou 71% do encontrado na condição de campo e para o período com a cultura, 73% dos valores observados na condição de campo foram quantificados na condição de ambiente protegido.

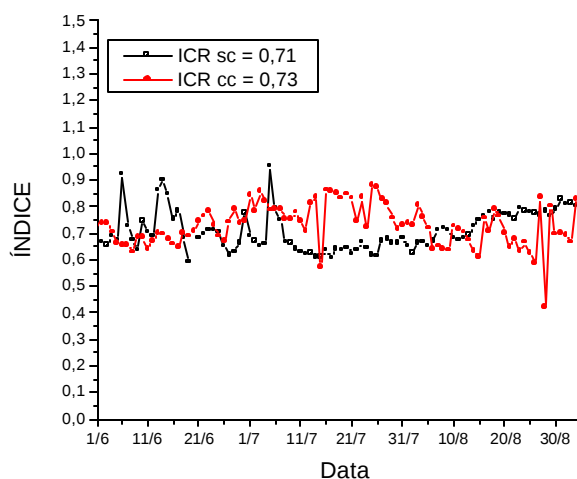


Figura 10 - Variação do índice do coeficiente de reflexão para os períodos sem cultura (ICR sc) e com cultura do pimentão (ICR cc), no período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e de 01/06 a 05/09/00).

Como a radiação solar é a fonte de energia para os processos de fotossíntese, e conseqüente, obtenção de energia (alimento) dos vegetais, Galvani (2001)

afirma que o saldo de radiação de ondas curtas (SRoc) representa, para um meio vegetal qualquer, a fonte primária de energia. Depois de contabilizada a emissão de ondas longas para a atmosfera e a contra-irradiada pelas nuvens, o saldo de radiação de ondas curtas representaria a energia disponível para os processos que nesse meio ocorrem.

A variação do saldo de radiação de ondas curtas para o período estudado, sem cultura (a) e com cultura (b), está representada na Figura 11.

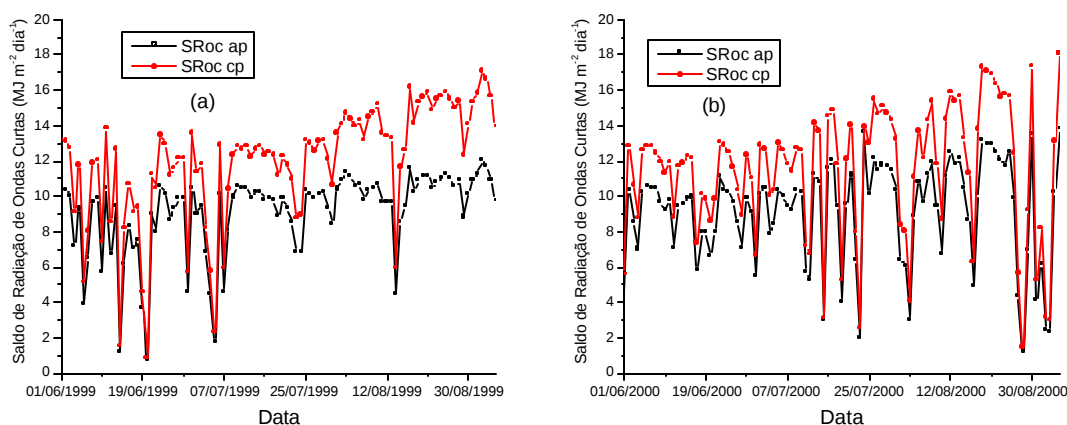


Figura 11 – Saldo de radiação de ondas curtas nas condições de ambiente protegido (SRoc ap) e campo (SRoc cp), para o período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e de 01/06 a 05/09/00) sem cultura (a) e com cultura do pimentão (b).

Observa-se que nos dois períodos, sem e com cultura, o saldo de radiação de ondas curtas apresentou valores inferiores na condição de ambiente protegido, isto deve-se a uma menor incidência de radiação solar global e conseqüente diminuição da radiação solar refletida, proporcionado pela absorção e reflexão do polietileno. Em determinados dias, houve diminuição acentuada dos valores do saldo de radiação, fazendo

com que os valores obtidos na condição de campo apresentassem valores próximos aos obtidos no ambiente protegido. Estes dias apresentaram alta nebulosidade, a cobertura de polietileno não alterou significativamente os valores na condição de ambiente protegido, concordando com os valores obtidos por Cunha (2001).

Na Figura 12 está representada a variação do índice do saldo de radiação de ondas curtas. O valor médio do índice foi de 0,76 para o período sem cultura e de 0,79 para o com cultura do pimentão, o que mostra que no período sem a cultura o saldo de radiação na condição de ambiente protegido representou 76% do obtido na condição de campo, e para o período com a cultura, 79% do saldo obtido na condição de campo foi observado na condição de ambiente protegido.

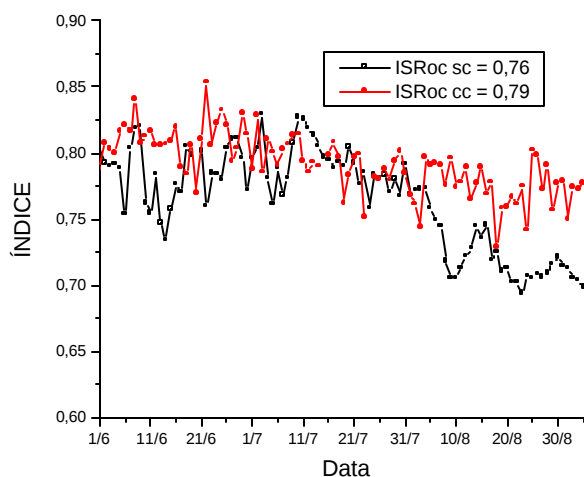


Figura 12 – Índice do saldo de radiação de ondas curtas para o período sem cultura (ISRoc sc) e com cultura do pimentão (ISRoc cc), no período de 97 dias coincidentes (01/06 a 05/09/99 e de 01/06 a 05/09/00).

4.1.2 Radiação solar difusa

A radiação solar difusa para o período de 97 dias, 01/06 a 05/09/99 e 01/06 a 05/09/00, sem e com cultura do pimentão, respectivamente, nas condições de ambiente protegido (DIF ap) e campo (DIF cp), são apresentadas na Figura 13. Segundo Galvani (2001), a radiação solar difusa é função do tipo de cobertura do céu (tipo e total de nuvens), e as diferentes condições de céu (céu limpo, céu parcialmente nublado e céu nublado) irão influenciar a radiação solar difusa para determinado dia. Em condições de céu completamente limpo, os valores de radiação solar difusa tendem a ser percentualmente superiores dentro do ambiente protegido, devido à difusão do polietileno à componente direta da radiação solar e sua contra-irradiação. Em dias de céu nublado, ao contrário, os valores da radiação solar difusa na condição de campo se aproximaram bastante daqueles encontrados na condição de ambiente protegido. Nestes dias o efeito do polietileno é muito pouco perceptível, participando somente na absorção da radiação solar e muito pouco na sua difusão. Isso deve-se ao efeito difusivo da cobertura do céu (nuvens) e das partículas em suspensão ou aerossóis, que aumentam a porcentagem de radiação solar difusa, apresentando um efeito semelhante à difusão do polietileno, atuando como meio dispersante da radiação solar e aumentando a fração da radiação solar difusa (Prados, 1986; Farias et al., 1993b). Este efeito é bastante desejável, pois a radiação difusa é mais eficiente para os processos de fotossíntese, por ser multidirecional e ter maior penetração entre e no interior das plantas, compensando em parte, a parcial opacidade do polietileno à radiação solar global (Martinez Garcia, 1978).

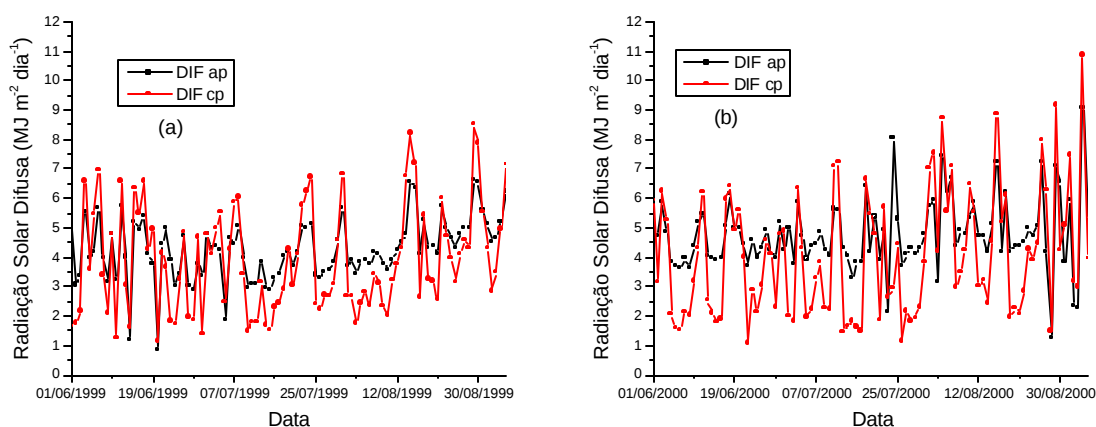


Figura 13 - Variação da radiação solar difusa nas condições de ambiente protegido (DIF ap) e campo (DIF cp) para o período de 97 dias sem cultura (a) e com cultura do pimentão (b).

O índice da radiação solar difusa para o período de estudos, sem cultura (ID sc) e com cultura do pimentão (ID cc), está representado na Figura 14. Observa-se que a no período sem cultura os valores médios foram de 1,24, mostrando que a radiação solar difusa na condição de ambiente protegido foi 24% superior a radiação solar obtida na condição de campo. Para o período com a cultura o valor do índice foi de 1,43, isto quer dizer que, a radiação solar difusa observada na condição de ambiente protegido foi 43% superior a obtida na condição de campo.

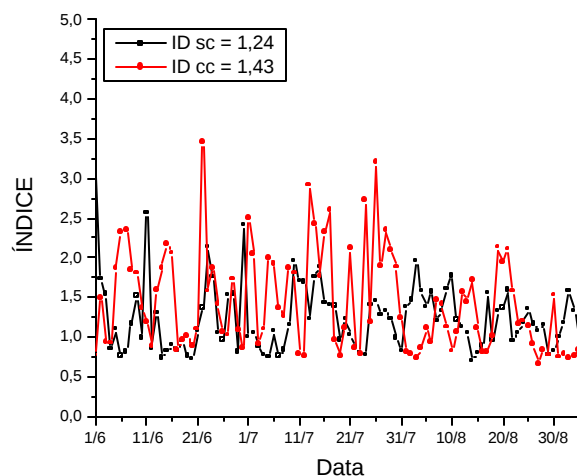


Figura 14 - Variação do índice da radiação solar difusa para o período sem cultura (ID sc) e com cultura do pimentão (ID cc), no período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e de 01/06 a 05/09/00).

Os picos do índice radiação solar difusa, como observados nos dias 22/06, 13/07 e 26/07/00 no período com cultura e nos dias 01/06, 11/06 e 30/06/99 no período sem cultura, devem-se a dias de céu com ausência total de nuvens, onde a condição de ambiente protegido apresentou valores superiores de radiação solar difusa em relação àqueles encontrados no campo, evidenciando o efeito difusor da cobertura de polietileno para esta componente da radiação solar. O aumento do índice no período com cultura deve-se, possivelmente, a um efeito difusor da própria cultura. Na condição de ambiente protegido, uma fração da radiação solar ao atravessar o polietileno difundiu-se e outra continuou direta, esta fração direta da radiação solar ao interagir com a cultura do pimentão, apresentou parte desta radiação solar refletida pela cultura (grande parte retida nas “armadilhas”) e a outra parte difundiu-se, tornando-se multidirecional, atingindo o sensor novamente e superestimando seu

valor. Como a cultura apresentou maior área foliar na condição de ambiente protegido (Figura 9), este efeito difusor da cultura foi maior nesta condição.

4.1.3 Fluxo de calor no solo

A Figura 15 mostra as curvas de FCS para o período sem cultura e com cultura, nas condições de ambiente protegido e campo.

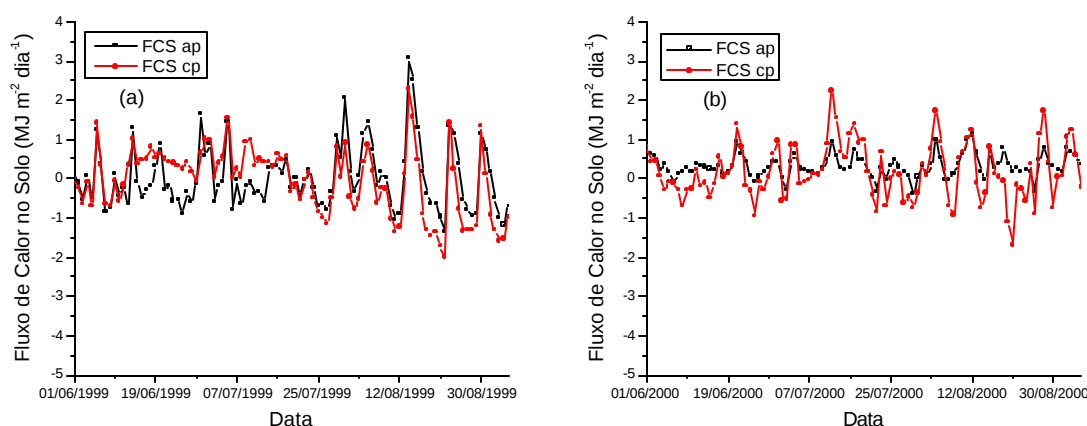


Figura 15 - Fluxo de calor no solo para o período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e de 01/06 a 05/09/00), sem cultura (a) e com cultura do pimentão (b), nas condições de ambiente protegido (FCS ap) e campo (FCS cp).

Na Figura 15b, observa-se que ao longo do ciclo da cultura do pimentão, o FCS apresentou menor variação na condição de ambiente protegido (FCS ap), pois as plantas desta condição apresentaram maior desenvolvimento vegetativo (Figura 9), apresentando um dossel mais denso, que acarretou em um maior sombreamento do solo e

consequentemente do sensor, que estava instalado na linha de plantio, concordando com os valores obtidos por Cunha (2001). Essa menor variação no ambiente protegido também está relacionada com a característica do polietileno em diminuir a radiação solar direta, e consequentemente, diminuir a energia disponível na superfície do solo no período diurno. Outro efeito do polietileno é o da contra-irradiação, que evita perdas de energia de ondas longas no período noturno, e com isso também, minimiza a variação (Cunha, 2001 e Galvani, 2001).

A variação do índice do fluxo de calor no solo no período sem cultura (IFCS sc) e com cultura do pimentão (IFCS cc), para o período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e 01/06 a 05/09/00), está representada na Figura 16.

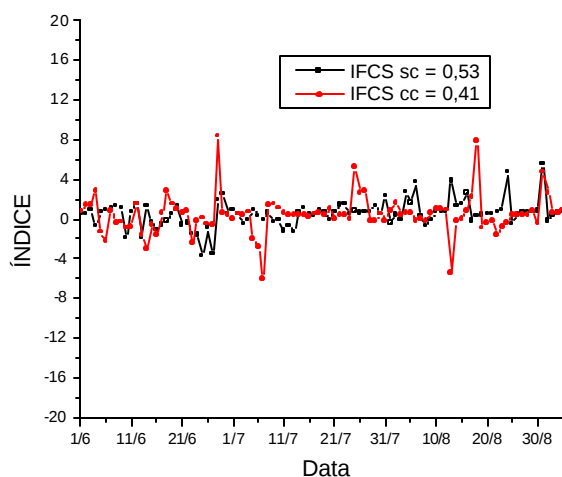


Figura 16 - Variação do índice do fluxo de calor no solo para o período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e 01/06 a 05/09/00), sem cultura (IFCS sc) e com cultura do pimentão (IFCS cc).

Os valores médios do índice encontrados para o período sem cultura foram de 0,53 e para o período com cultura de 0,41, observa-se que no período sem cultura, o fluxo de calor no solo na condição de ambiente protegido representou 53% do fluxo obtido na condição de campo, e para o período com a cultura, o fluxo de calor no solo na condição de ambiente protegido representou 41% do obtido a campo. Essa redução do fluxo de calor na condição de ambiente protegido, no período com a cultura, deveu-se ao sombreamento do solo pelo dossel da planta, e conseqüente diminuição dos gradientes de temperatura no solo, reduzindo os valores de FCS no período com a cultura do pimentão.

4.2. Variabilidade dos elementos ambientais

4.2.1 Temperatura do solo

O Quadro 6 mostra existir diferença significativa entre as condições de campo e ambiente protegido, para os valores mínimos e médios da temperatura do solo no período sem cultura e, mostra também, que os valores de temperatura do solo no ambiente protegido foram superiores. Ao contrário, no período com a cultura do pimentão, Quadro 7, os valores foram superiores na condição de campo, e apresentaram valores significativamente diferentes para os valores médios e máximos.

Quadro 6 - Análise estatística através do teste de Tukey dos valores mínimos, médios e máximos de temperatura do solo em condições de ambiente protegido (ap) e campo (cp) ao longo do período sem cultura.

Temperatura do Solo (°C) (Sem Cultura)					
Valores Mínimos		Valores Médios		Valores Máximos	
ap	cp	ap	cp	ap	cp
19,61 a	18,32 b	22,64 a	21,89 b	26,34 a	26,15 a

Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem significativamente em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Quadro 7- Análise estatística através do teste de Tukey dos valores mínimos, médios e máximos de temperatura do solo em condições de ambiente protegido (ap) e campo (cp) ao longo do período com a cultura do pimentão.

Temperatura do Solo (°C) (Com Cultura)					
Valores Mínimos		Valores Médios		Valores Máximos	
ap	cp	ap	cp	ap	cp
17,51 a	17,95 a	20,01 a	21,04 b	23,04 a	25,04 b

Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem significativamente em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

No período sem a cultura, quando o solo se encontrava sem cobertura, parte da radiação solar que chegava a superfície, aquecia o solo e, era registrado pelo sensor que estava instalado a 0,1m de profundidade na linha de plantio. Mesmo sendo a densidade de fluxo da radiação solar no interior do ambiente protegido menor que a verificada na condição de campo, a temperatura do solo em média foi superior na condição de ambiente protegido. Ao contrário, no período com a cultura do pimentão, a condição de ambiente protegido apresentou menores valores de temperatura no solo, o que pode ser explicado pelo sombreamento do solo pelo dossel da cultura, que apresentou maior desenvolvimento nessa

condição, e conseqüente diminuição da incidência da radiação solar direta sobre o solo, diminuindo assim a energia disponível na linha de plantio onde estava instalado o sensor.

Na Figura 17 está representado as curvas do índice da temperatura mínima (a) e máxima (b) do solo, para o período sem cultura e com cultura do pimentão. Os valores médios do índice da temperatura mínima do solo foram de 1,08 e 0,98 para o período sem cultura e com cultura do pimentão, respectivamente, o que mostra que, no período sem cultura, a temperatura do solo na condição de ambiente protegido foi 8% superior à temperatura do solo na condição de campo e no período com a cultura, a temperatura do solo na condição de ambiente protegido foi 2% inferior a encontrada na condição de campo.

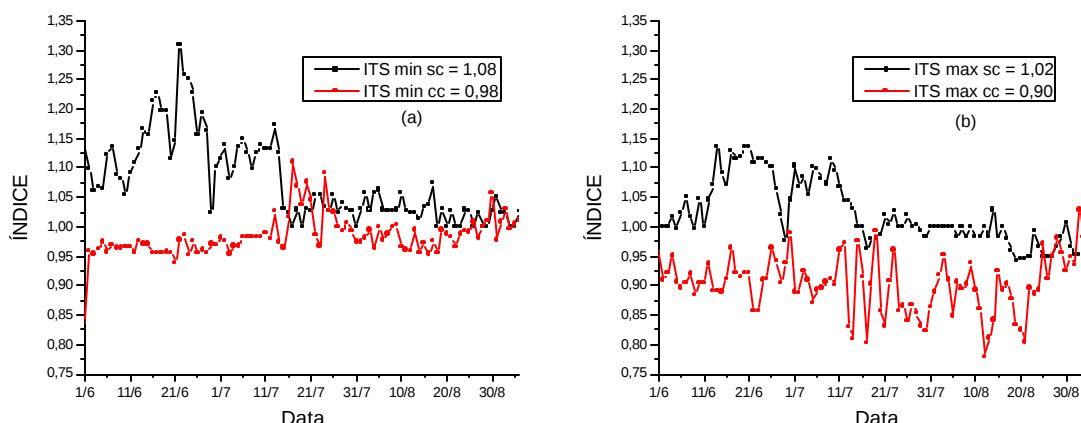


Figura 17 - Variação do índice da temperatura mínima (a) e máxima (b) do solo, para o período sem cultura (ITS min sc e ITS max sc) e com cultura do pimentão (ITS min cc e ITS max cc), no período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e 01/06 a 05/09/00).

Os valores médios do índice da temperatura máxima do solo foram de 1,02 e 0,90 para o período sem e com cultura, respectivamente, demonstrando que no período sem cultura, a temperatura do solo na condição de ambiente protegido foi 2% superior à

temperatura obtida a campo, já no período com a cultura do pimentão, a temperatura do solo na condição de ambiente protegido foi 10% inferior a temperatura do solo encontrada na condição de campo.

A variação do índice da temperatura média do solo para o período sem cultura e com cultura do pimentão, esta representado na Figura 18. Os valores médios do índice foram de 1,04 e 0,95 para o período sem cultura e com cultura do pimentão, respectivamente. Observa-se que no período sem a cultura, a temperatura do solo na condição de ambiente protegido foi superior 4% à temperatura encontrada na condição de campo, e no período com a cultura, a temperatura do solo na condição de ambiente protegido foi 5% inferior a temperatura do solo a campo.

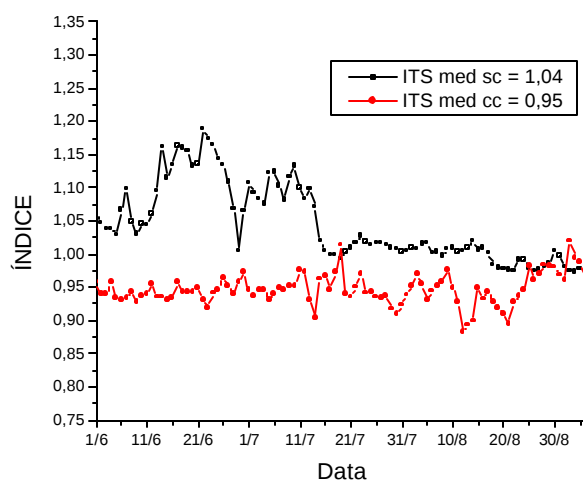


Figura 18 - Variação do índice da temperatura média do solo para o período sem cultura (ITS med sc) e com cultura do pimentão (ITS med cc), no período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e 01/06 a 05/09/00).

O índice da temperatura mínima, média e máxima do solo foi menor no período com a cultura do pimentão. Sendo a temperatura do solo função da radiação solar global (principalmente da componente direta) que atinge a superfície, e a quantidade de radiação que atingiu a superfície do solo foi menor no período com cultura, devido ao sombreamento do solo pelo dossel da cultura do pimentão, o índice da temperatura do solo para os valores mínimo, médio e máximo, foi menor no período com a cultura do pimentão.

4.2.2 Temperatura e umidade relativa do ar

O Quadro 8 e o Quadro 9 mostram os valores médios da temperatura do ar mínima, média e máxima, no período sem e com cultura do pimentão, respectivamente, nas condições de ambiente protegido (ap) e campo (cp).

Quadro 8 - Análise estatística através do teste de Tukey dos valores mínimos, médios e máximos de temperatura do ar em condições de ambiente protegido (ap) e campo (cp) ao longo do período sem cultura.

Temperatura do Ar (°C)					
(Sem Cultura)					
Valores Mínimos		Valores Médios		Valores Máximos	
ap	cp	ap	cp	ap	cp
13,76 a	13,98 a	19,61 a	19,22 a	27,30 a	25,29 b

Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem significativamente em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A análise dos valores de temperatura do ar mínima e média, no período sem a cultura, não apresentaram diferenças estatísticas significativas, estando em média na

faixa de 13,76 e 13,98 °C e, 19,61 e 19,22 °C, para as condições de ambiente protegido e campo, respectivamente. Somente a temperatura do ar máxima apresentou diferença estatística significativa a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, estando seus valores em média na faixa de 27,30 °C para a condição de ambiente protegido e 25,29 °C para a condição de campo.

Quadro 9 - Análise estatística através do teste de Tukey dos valores mínimos, médios e máximos de temperatura do ar em condições de ambiente protegido (ap) e campo (cp) ao longo do período com a cultura do pimentão.

Temperatura do Ar (°C)					
(Com Cultura)					
Valores Mínimos		Valores Médios		Valores Máximos	
ap	cp	ap	cp	ap	cp
14,89 a	15,29 a	20,28 a	19,85 a	28,48 a	25,78 b

Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem significativamente em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Para o período com a cultura, a variação da temperatura foi semelhante ao período sem cultura, com valores médios e máximos superiores e mínimos inferiores na condição de ambiente protegido. Sendo que os valores mínimos e médios da temperatura do ar não apresentaram diferenças significativas, estando em média na faixa de 14,89 e 15,29 °C e, 20,28 e 19,85 °C, para as condições de ambiente protegido e campo, respectivamente. Os valores máximos de temperatura do ar apresentaram diferenças significativas, com valores médios de 28,48 e 25,78 °C para as condições de ambiente protegido e campo, respectivamente.

Tanto no Quadro 8 quanto no Quadro 9, observamos não existir diferença significativa entre os valores médios e mínimos da temperatura do ar. Para os

valores máximos observa-se diferença significativa, sendo o valor na condição de ambiente protegido superior em 2,01°C para o período sem cultura, e 2,70 °C no período com a cultura de pimentão, concordando com os resultados obtidos por Buriol et al. (1993a), Farias et al. (1993a), Camacho et al. (1995) e Faria Junior. (1997). Temperaturas do ar superiores no ambiente protegido devem-se, durante as horas de brilho solar, a um gradiente de temperatura do ar que ocorre na condição de ambiente protegido (Alpi & Tognoni, 1991), e como os sensores foram instalados a 2 metros do solo, houve um acúmulo de calor próximo a cobertura do ambiente protegido. No período noturno, toda energia acumulada foi perdida devido a alta transmissividade de calor pelo polietileno e principalmente pelo sombrite lateral, mas na média do dia, o valor encontrado na condição de ambiente protegido foi superior ao encontrado na condição de campo.

Com relação a temperatura do ar mínima, Camacho et al. (1995) observaram, nas condições climáticas de Capão do Leão, RS, valores inferiores em condição de ambiente protegido, entre os meses de junho e outubro, denotando a incapacidade do ambiente protegido em proporcionar um adequado armazenamento de energia, o que é atribuído a grande transparência do material de cobertura às radiações de ondas longa. A temperatura mínima não apresentou diferença significativa entre os ambientes, fato que está associado a ausência de camada de condensação e a alta transmissividade do polietileno de baixa densidade a radiação de ondas longa (Tapia, 1981; Robledo de Pedro & Vicente, 1988).

Na Figura 19 estão representadas as variações do índice para as temperaturas do ar mínima (a) e máxima (b), em um período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e de 01/06 a 05/09/00). O índice obtido para temperatura mínima do ar foi de 0,97 para o período sem a cultura e de 0,96 para o período com a cultura de pimentão, mostrando

que a temperatura mínima do ar, para o período sem cultura, na condição de ambiente protegido foi 3% inferior a temperatura encontrada à campo, e para o período com a cultura, a temperatura mínima do ar na condição de ambiente protegido foi 4% inferior a temperatura na condição de campo. Para a temperatura máxima do ar, o índice obtido foi de 1,08 e 1,09, para o período sem cultura e com cultura de pimentão, respectivamente. Para o período sem a cultura, a temperatura máxima do ar na condição de ambiente protegido foi 8% superior à temperatura a campo e para o período com a cultura, foi 9% superior ao valor obtido na condição de campo.

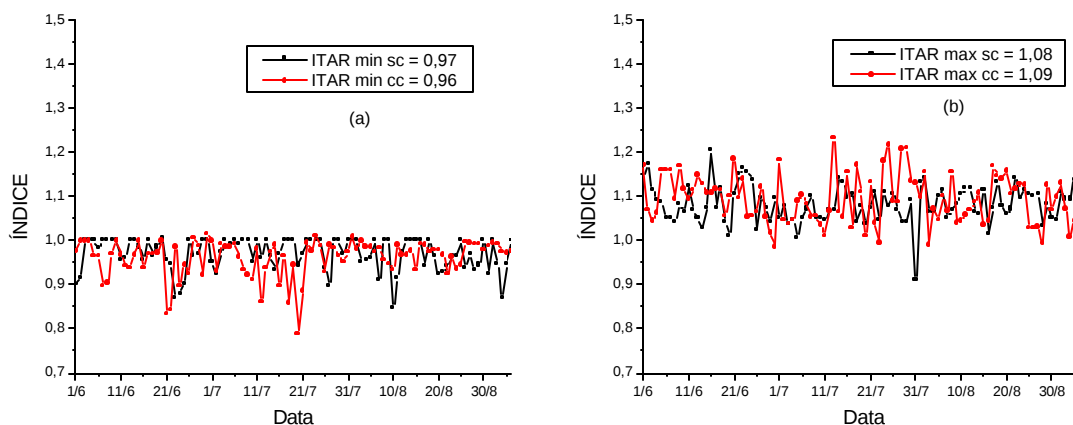


Figura 19 - Variação do índice da temperatura mínima (a) e máxima (b) do ar, para o período sem cultura (ITAR min sc e ITAR max sc) e com cultura (ITAR min cc e ITAR max cc), no período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e 01/06 a 05/09/00).

O índice das temperaturas médias do ar está representada na Figura 4.

O valor médio do índice da temperatura média do ar foi para o período sem cultura de 1,02 e com cultura de pimentão de 1,01, demonstrando que, no período sem a cultura, o valor da

temperatura média do ar na condição de ambiente protegido foi 2% superior ao valor da temperatura encontrada no campo e para o período com a cultura, foi 1% superior ao valor da temperatura média do ar obtida na condição de campo.

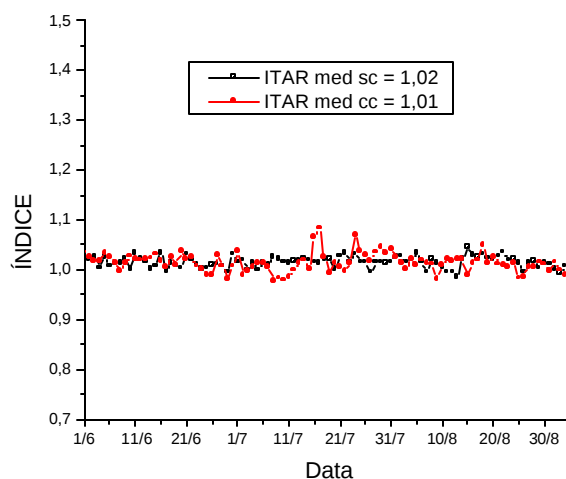


Figura 20 - Variação do índice das temperaturas médias do ar para um período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e 01/06 a 05/09/00), no período sem cultura (ITAR med sc) e com cultura (ITAR med cc) de pimentão.

O índice das temperatura mínimas, médias e máximas do ar para o período sem e com cultura de pimentão, apresentaram diferenças muito pequenas, o que não caracteriza o efeito da cultura de pimentão sobre o microclima, e torna difícil qualquer afirmativa com relação ao efeito da cultura alterando a temperatura do ar. Efetivamente a cultura de pimentão não influenciou o índice da temperatura do ar.

No Quadro 10 e Quadro 11 observa-se os valores médios da umidade relativa do ar mínima, média e máxima, nas condições de ambiente protegido (ap) e campo (cp), no período sem e com cultura de pimentão.

Quadro 10 - Análise estatística através do teste de Tukey dos valores mínimos, médios e máximos de umidade relativa do ar em condições de ambiente protegido (ap) e campo (cp) ao longo do período sem cultura.

Umidade Relativa do Ar (%)					
(Sem Cultura)					
Valores Mínimos		Valores Médios		Valores Máximos	
ap	cp	ap	cp	ap	cp
40,32 a	44,20 b	65,75 a	67,12 a	87,37 a	87,84 a

Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem significativamente em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Quadro 11 - Análise estatística através do teste de Tukey dos valores mínimos, médios e máximos de umidade relativa do ar em condições de ambiente protegido (ap) e campo (cp) ao longo do período com a cultura de pimentão.

Umidade Relativa do Ar (%)					
(Com Cultura)					
Valores Mínimos		Valores Médios		Valores Máximos	
ap	cp	ap	cp	ap	cp
41,10 a	46,37 b	66,36 a	67,90 a	87,18 a	87,30 a

Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem significativamente em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Observamos nos Quadro 10 e Quadro 11 que houve diferença significativa somente entre os valores mínimos de umidade relativa do ar, fato que corrobora com os valores máximos de temperatura do ar (Quadro 8 e Quadro 9), mostrando existir uma relação inversa entre temperatura e umidade relativa do ar (Pereira et al. 1997). Os menores

valores de umidade relativa do ar encontrados na condição de ambiente protegido, podem estar relacionado com o aumento da temperatura, associado a uma baixa renovação do ar. O polietileno retém essa energia térmica fazendo com que a umidade relativa do ar mantenha-se baixa.

De acordo com as observações de Farias et al. (1993a), os valores de umidade relativa do ar, verificados na condição de ambiente protegido (uma estufa tipo capela), localizada em Capão do Leão, RS, e aqueles na condição de campo, ficaram próximos. Portanto, os valores de umidade relativa do ar, tanto para as condições de ambiente protegido, como de campo, são muito variáveis e estão diretamente relacionadas aos valores de temperatura do ar. A medida que a temperatura do ar aumenta, há uma diminuição da umidade relativa, mostrando uma relação inversamente proporcional.

O índice para o período estudado da umidade relativa mínima (a) e máxima (b) do ar, está representado na Figura 21. Observa-se que o índice da umidade relativa mínima e máxima do ar foi superior no período com a cultura. Os valores médios do índice da umidade relativa mínima do ar foram de 0,90 e 0,91 para o período sem cultura e com cultura de pimentão, respectivamente, o que mostra que, no período sem a cultura, a umidade relativa mínima na condição de ambiente protegido foi 10% inferior a umidade obtida a campo e no período com cultura, a umidade relativa mínima na condição de ambiente protegido foi 9% inferior a obtida na condição de campo. Para o índice da umidade relativa máxima seus valores médios foram 1,00 e 1,01 para o período sem cultura e com cultura de pimentão, respectivamente, demonstrando que no período sem a cultura, a umidade relativa máxima na condição de ambiente protegido apresentou os mesmo valores que a umidade relativa a campo

e para o período com a cultura, a umidade relativa máxima obtida na condição de ambiente protegido foi 1% superior à obtida na condição de campo.

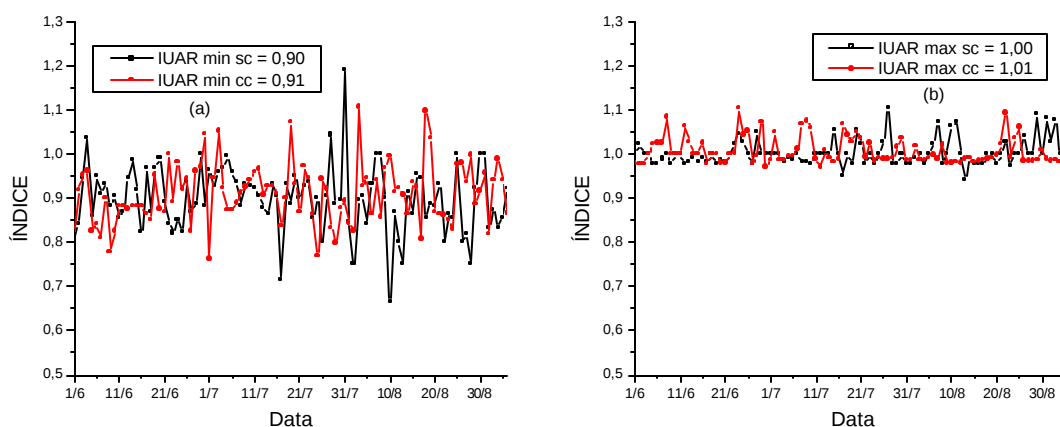


Figura 21 - Variação do índice da umidade relativa mínima (a) e máxima (b) do ar para o período sem cultura (IUAR min sc e IUAR max sc) e com cultura (IUAR min cc e IUAR max cc) de pimentão, no período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e 01/06 a 05/09/00).

O índice da umidade relativa média do ar, para o período coincidente de 97 dias, no período sem cultura (IUAR med sc) e com cultura (IUAR med cc) de pimentão, está representado na Figura 22. O índice da umidade relativa média do ar não apresentou diferença entre os períodos sem cultura e com cultura. O valor médio do índice foi de 0,99 para os dois períodos.

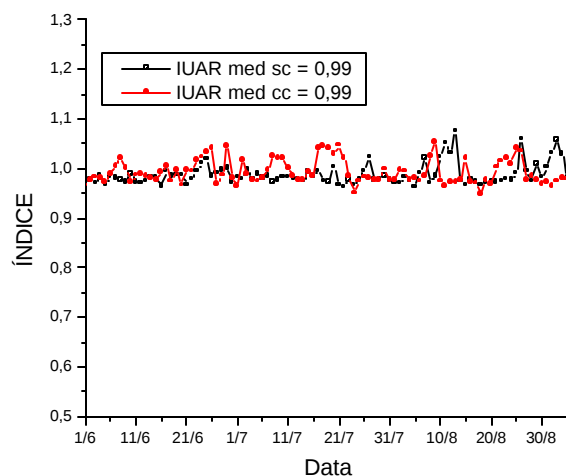


Figura 22 - Variação do índice da umidade relativa média do ar no período sem cultura (IUAR med sc) e com cultura (IUAR med cc) de pimentão, para um período coincidente de 97 dias (01/06 a 05/09/99 e 01/06 a 05/09/00).

Como o ar apresenta maior capacidade de retenção de vapor d'água com o aumento da temperatura, este funciona então, como um reservatório que se expande/contrai com o aumento/decréscimo da temperatura (Pereira et al. 1997). Deste modo, os índices da umidade relativa mínima, média e máxima do ar não apresentaram diferenças entre o período sem e com cultura de pimentão, do mesmo modo que o índice da temperatura do ar. O que mostra que a cultura de pimentão não contribuiu para alterar os índices destas variáveis.

Os valores encontrados para os elementos ambientais (temperatura do ar, do solo e umidade relativa do ar) podem não representar o que realmente está acontecendo no microclima de cultivo. Isto pode estar relacionado com erros na amostragem, quantidade e posição dos aparelhos de medidas. O que parece mais razoável é a obtenção de um perfil de

temperaturas e umidades, do solo e do ar, em várias alturas e profundidades e em diferentes locais dentro de cada condição. A sensação, do ponto de vista físico, é que há diferença entre as condições de campo e ambiente protegido, mas essa diferença nem sempre é registrada pelo sensor. Para ilustrar que houve realmente diferença entre as condições de campo e ambiente protegido, mas que nem sempre essa diferença foi registrada pelo sensor, no período com a cultura de pimentão ocorreu o fenômeno da geada e é isso que será discutido a seguir.

O dia 17/07/00 foi o dia mais frio do ciclo da cultura de pimentão, nesse dia ocorreu o fenômeno da geada, chegando a queimar folhas e ramos de algumas plantas somente na condição de campo. Neste dia a água do tanque classe A do posto meteorológico congelou e a temperatura mínima de relva foi de -4°C , observada em posto meteorológico convencional no Departamento de Recursos Naturais – Setor Ciências Ambientais. O pimentão é uma planta tropical, sensível as baixas temperaturas e intolerante às geadas (Teodoro et al., 1993), e os danos causados pelo abaixamento da temperatura do ar só não foram maiores, porque as plantas encontravam-se com 153 dias após o transplântio (DAT), em pleno desenvolvimento vegetativo e com grande quantidade de reservas. E devido a utilização de medidas de combate direto à geada, como a nebulização (neblinas artificiais a base de óleo) e a irrigação por superfície, horas antes da ocorrência da geada propriamente dita. Segundo Filgueira (1982) para cada estágio de desenvolvimento as plantas de pimentão apresentam uma temperatura ideal, sendo aos 150 dias de 9°C . Outros autores como Pádua et al. (1984); Siviero & Bernardoni (1990) e Pereira (1990) concordam que a temperatura do ar deva variar entre 16 e 30°C . Já para Sonnenberg (1981) a faixa térmica ideal para um bom desenvolvimento das plantas é uma pouco mais restrita, variando de 20 a 30°C .

A variação da temperatura do ar para os dias 16/07, 17/07 e 18/07/00 está representado na Figura 23. Observa-se que durante as horas de brilho solar a temperatura do ar na condição de ambiente protegido foi superior a encontrada a campo, e na ausência de brilho solar, o inverso aconteceu, sendo superior os valores encontrados na condição de campo. Esta variação deve-se, entre outros fatores, a um armazenamento de calor que ocorre durante as horas de brilho solar na condição de ambiente protegido, e a uma rápida perda dessa energia, principalmente pelo sombrite lateral, durante a noite. As altas temperaturas observadas durante o dia no interior do ambiente protegido, devem-se à radiação solar (Mills et al., 1990) e a um gradiente de temperatura do ar que ocorre no interior do ambiente protegido (Alpi & Tognoni, 1991). Segundo esses autores, os menores valores de temperatura do ar são encontrados próximos ao solo, e a medida que se aproxima do teto, a temperatura do ar atinge seus valores máximos. Como os sensores de temperatura do ar foram instalados a 2 metros do solo, um em cada condição, e durante as horas de brilho solar houve um acúmulo de calor próximo ao teto do ambiente protegido, o sensor registrou temperaturas do ar superiores às encontradas na condição de campo. Durante a noite, toda a energia acumulada durante as horas de brilho solar na condição de ambiente protegido, foi perdida rapidamente devido a alta transmissividade de calor, principalmente pelo sombrite, ficando a condição de campo com valores superiores, uma vez que a quantidade de radiação solar que atingiu a condição de campo, foi em média, superior em 30% a que atingiu a condição de ambiente protegido, devido a absorção e reflexão do polietileno. Camacho et al. (1995) observaram nas condições climáticas de Capão do Leão, RS, valores inferiores de temperatura mínima do ar em condição de ambiente protegido, entre os meses de junho e outubro, denotando a incapacidade do ambiente protegido em proporcionar um adequado armazenamento de energia, o que é

atribuído a grande transparência do material de cobertura às radiações de ondas longas. No caso deste trabalho, além das perdas citadas por Camacho pela cobertura, houve uma grande perda pelas laterais do ambiente protegido, fechado com sombrite.

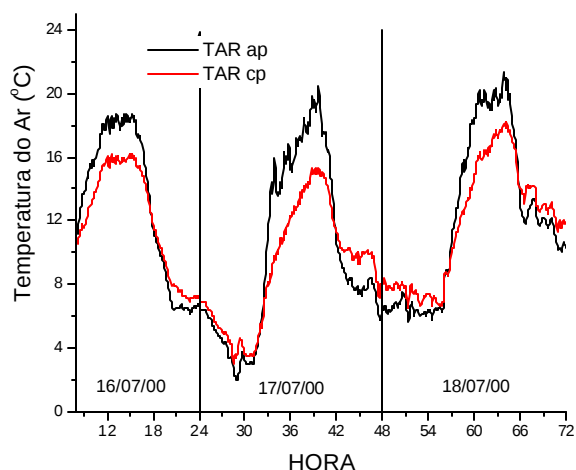


Figura 23 – Variação da temperatura do ar para os dias 16/07, 17/07 e 18/07/00, nas condições de ambiente protegido (TAR ap) e campo (TAR cp).

No dia 17/07/00, dia em que ocorreu a geada, a menor temperatura do ar foi encontrada na condição de ambiente protegido, as 5 horas da manhã, 1,86 °C. A temperatura mínima do ar na condição de campo ocorreu as 4 horas e 35 minutos e foi de 2,90 °C. Observa-se que a temperatura do ar foi 1,04 °C inferior no ambiente protegido, e mesmo assim, as plantas que mais sofreram com a queda da temperatura foram as da condição de campo. Segundo Castro Neto (1998), em noites de inverno com ausência de vento e de nuvens, a temperatura das folhas chega a ser menor em 5 a 7 °C a temperatura do ar. Os menores danos causados às plantas da condição de ambiente protegido, podem estar

relacionados com a umidade relativa do ar, temperatura do solo, fluxo de calor no solo e vento.

Na Figura 24 observa-se a curva da umidade relativa do ar para os dias 16/07, 17/07 e 18/07/00 nas condições de ambiente protegido (UAR ap) e campo (UAR cp). No dia 17/07/00, no momento de menor temperatura do ar, a umidade relativa do ar para a condição de ambiente protegido foi 68,31% e para a condição de campo de 65,46%, um aumento de 4,35% na condição de ambiente protegido. Como a condição de ambiente protegido apresentou uma porcentagem maior de umidade relativa, consequentemente uma maior concentração de vapor d'água, e sendo o vapor d'água o principal absorvente seletivo de radiação, quanto maior a concentração de vapor d'água menor será emissão efetiva do solo.

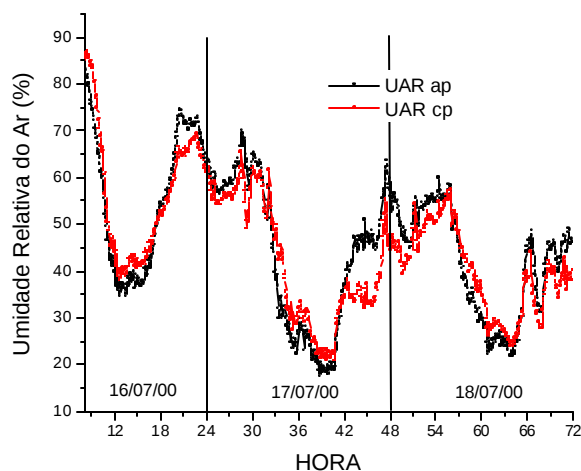


Figura 24 – Variação da umidade relativa do ar para os dias 16/07, 17/07 e 18/07/00, nas condições de ambiente protegido (UAR ap) e campo (UAR cp).

A variação da temperatura do solo nos dias 16/07, 17/07 e 18/07/00 nas condições de ambiente protegido (TS ap) e campo (TS cp), está representada na Figura 25. Os valores encontrados para a temperatura do solo no momento de menor temperatura do ar foi de 9,82°C para a condição de campo e de 10,28 °C para a condição de ambiente protegido. Observa-se que a variação da temperatura do solo foi semelhante a variação da temperatura do ar, entretanto, a condição de ambiente protegido apresentou valores superiores aos encontrados à campo no período noturno, e durante as horas de brilho solar, os maiores valores foram encontrados na condição de campo. Durante as horas de brilho solar, esta variação deve-se principalmente a dois fatores, primeiro, a quantidade de radiação que chega no ambiente protegido é, em média, 30% da radiação que chega à campo, devido a reflexão e a absorção do material da cobertura plástica (Prados, 1986; Kurata, 1990). Segundo, as plantas de pimentão do ambiente protegido apresentaram um maior desenvolvimento vegetativo, maior índice de área foliar (Figura 9), maior quantidade de solo sombreada pela cultura e, conseqüentemente, menor a temperatura do solo, que é em grande parte influenciada pela alteração da intensidade de radiação solar (Van Wijk, 1966). Durante a noite, ausência de brilho solar, a emissão efetiva de radiação de ondas longas (perda de calor) é maior na condição de campo. Isso deve-se a uma maior movimentação do ar na condição de campo (Figura 27) quando comparada a condição de ambiente protegido, que retira o calor das regiões próximas às plantas, fazendo com que o solo emita mais onda longa (calor) para compensar esse desequilíbrio. Outro motivo que justifica os menores valores de temperatura do solo à noite em condição de campo, é que, como as plantas do ambiente protegido apresentaram maior desenvolvimento, houve uma menor exposição do solo a céu aberto, isto significa que, a emissão de calor (onda longa) proveniente do solo, foi refletida com maior

intensidade no ambiente protegido pelo dossel da cultura e pela cobertura de polietileno e voltou ao solo, e uma menor quantidade foi perdida para a atmosfera, além de uma maior emissão de calor por parte das plantas dessa condição. Esses fatores fizeram com que a condição de ambiente protegido apresentasse um menor gradiente de temperatura do solo, e consequentemente, um conforto maior as plantas dessa condição, fazendo com que as plantas do ambiente protegido sofressem menos os efeitos da geada.

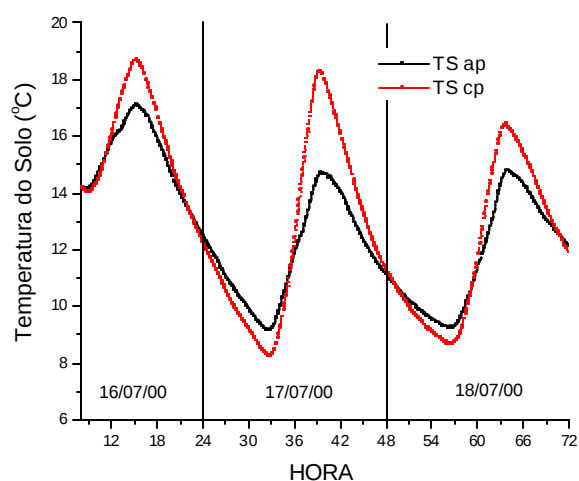


Figura 25 – Variação da temperatura do solo nos dias 16/07, 17/07 e 18/07/00, para as condições de ambiente protegido (TS ap) e campo (TS cp).

O fluxo de calor no solo está representada na Figura 26, onde observamos sua variação nos dias 16, 17 e 18/07/00, nas condições de ambiente protegido (FCS ap) e campo (FCS cp). Observa-mos que durante as horas de brilho solar os valores do FCS não negativos, representando entrada de calor no solo, e a condição de campo apresentou um maior fluxo de calor no solo, uma maior entrada de calor, consequentemente uma maior

temperatura do solo diurna. Durante a ausência de brilho solar, os valores são positivos, e representam perdas de calor do solo, e as maiores perdas ocorreram na condição de campo, como discutido na temperatura do solo. Devido a um menor gradiente de FCS na condição de ambiente protegido, devido a contra-irradiação do polietileno e da própria cultura, há um maior conforto proporcionado a cultura, e menores danos causados as plantas dessa condição.

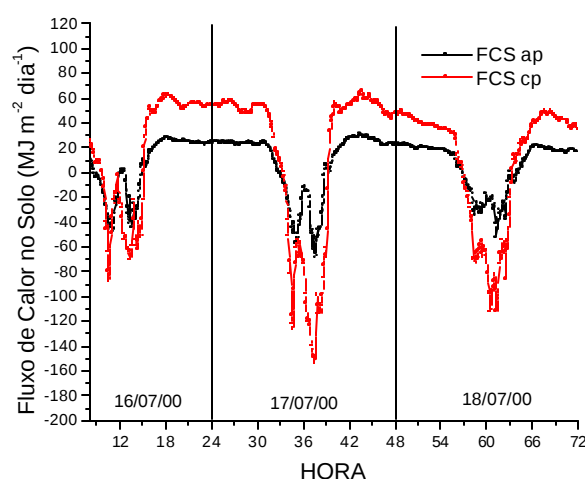


Figura 26 – Variação do fluxo de calor no solo para os dias 16/07, 17/07 e 18/07/00, nas condições de ambiente protegido (FCS ap) e campo (FCS cp).

A variação da velocidade do vento para os dias 16/07, 17/07 e 18/07/00, na condição de campo, está representada na Figura 27. Os dados de velocidade do vento foram obtidos a 2 metros de altura no posto meteorológico do Departamento de Recursos Naturais – Setor Ciências Ambientais. Segundo Cunha (2001) e Galvani (2001) a velocidade do vento no ambiente protegido é em média 5,24% e 5,73%, respectivamente, da encontrada na condição de campo. Como a velocidade do vento, no período de menor

temperatura do ar, foi em média de $0,14\text{m s}^{-1}$ na condição de campo, é de se esperar que para a condição de ambiente protegido tenha ocorrido 5% desse vento, isto quer dizer que praticamente não houve vento na condição de ambiente protegido no momento da geada.

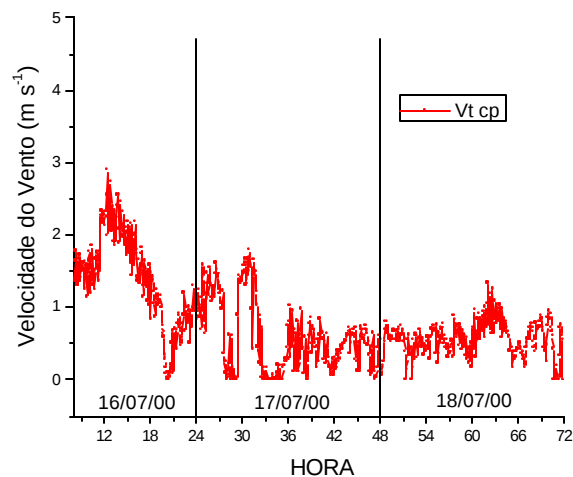


Figura 27 – Variação da velocidade do vento na condição de campo (Vt cp), para os dias 16/07, 17/07 e 18/07/00.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e analisados ao longo dos períodos sem e com cultura do pimentão (híbrido Margarita), pode ser concluído que:

- O índice da radiação solar global (transmissividade) foi maior no período com a cultura do pimentão devido, principalmente, as diferentes condições atmosféricas no momento da determinação e ao tempo de exposição do material de cobertura às condições ambientais, não sendo essa diferença relacionada diretamente a um efeito da cultura sobre o microclima de cultivo;
- O coeficiente de reflexão da cultura do pimentão apresentou menores valores que o coeficiente de reflexão do solo, devido a “armadilhas” formadas pelas folhas que retinham parte da radiação solar refletida;
- O índice da radiação solar refletida e do coeficiente de reflexão apresentaram valores superiores no período com a cultura, mas esse aumento não está relacionado a um efeito da cultura do pimentão no microclima de cultivo. A variação desse índice no período com

cultura está relacionado com o índice de área foliar do pimentão e no período sem cultura, com a precipitação pluviométrica;

- Para o índice da componente difusa da radiação solar observou-se valores superiores no período com o pimentão, devido ao efeito difusor deste, caracterizando o efeito da cultura sobre essa variável;
- O efeito do pimentão alterando o microclima de cultivo também foi observado no fluxo de calor no solo e na temperatura do solo, que apresentaram menores valores do índice no período com a cultura, uma vez que o dossel, funcionou como uma barreira física que impediu que a radiação solar chegasse ao solo;
- Os valores encontrados para o índice da temperatura e umidade relativa do ar no período sem cultura foram muito próximos aos encontrados no período com a cultura, não caracterizando o efeito do pimentão sobre essas variáveis;
- Em noites com ocorrência de geadas o ambiente protegido não apresentou efeito térmico desejado, estando os valores de temperatura mínima do ar na condição de ambiente protegido 1,04 °C inferior aqueles obtidos a campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR e SILVA, M.A., ESCOBEDO, J.F., GALVANI, E., CUNHA, A.R., ANGELA, R.
Avaliação de temperatura e umidade relativa do ar, temperatura do solo e fluxo de calor no solo em estufa com cobertura de polietileno. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, II, 2000, Botucatu. *Anais...Botucatu*, 2000. p.547-55.
- ALFONSI, R.R., SENTELHAS, P.C. Estimativa da temperatura do solo através da temperatura do ar em abrigo meteorológico. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.4, n.2, p.57-61, 1996.
- ALPI, A., TOGNONI, F. *El cultivo en invernadero*. Lisboa: Presença, 1984. 196p.
- ALPI, A., TOGNONI, F. *Cultivo en invernadero*. 3.ed. Madri: Ediciones Mundi-Prensa, 1991. 347p.
- AL-RIahi, M., AL-KARAGHOULI, A., HASSON, A.W. Relations between radiation fluxes of a greenhouse in semi-arid conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 44, n.3, p.329-38, 1988.

- ALVES, A.V., AZEVEDO, P.V., SILVA, B.B. Balanço de energia e reflectância de um cultivo de melão. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.6, n.2, p.139-46, 1998.
- ANDRÉ, R.G.B., VISWANADHAN, Y. Radiation balance of soybeans grown in Brazil. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.30, n.3, p.157-73. 1983.
- ANDRIOLLO, J.L., BURIOL, G.B., STRECH, N.A., FIORIN, J. Influência da proteção ambiental com estufa de polietileno sobre alguns parâmetros de crescimento e desenvolvimento do pimentão, em Santa Maria, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7, 1991, Viçosa. *Resumos...* Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1991. p.27-29.
- ASSIS, S.V. *Radiação solar em estufas de polietileno, nas orientações norte-sul e leste-oeste*. Botucatu, 1998. 81p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual Paulista.
- AZEVEDO, P.V., LEITÃO, M.M.V.B.R., RAO, T.R. Reflectância e requerimentos térmicos de um cultivo de algodão herbáceo irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7, 1991, Viçosa. *Resumos...* Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, Universidade Federal de Viçosa, 1991. p.39-41.
- AZEVEDO, P.V., LEITÃO, M.M.V.B.R., SOUZA, I.F., MACIEL, G.F. Balanço de radiação sobre culturas irrigadas no semi-árido do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.5, n.1, p.403-10, 1990.
- AZEVEDO, P.V., TEIXEIRA, A.H.C., SILVA, B.B., SOARES, J.M., SARAIVA, F.A.M. Avaliação da reflectância e do saldo de radiação sobre um cultivo de videira européia. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.5, p.1-7, 1997.

- BAILLE, M., BAILLE, A. A. Simple model for the estimation of greenhouses transmission: influence of structures and internal equipment. *Acta Hortic. (Wageningen)*, v.281, p.35-46, 1990.
- BERGAMASCHI, H. GUADAGNIN, M.R. Modelo de ajuste para médias de temperatura do solo, em diferentes profundidades. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.1, p.95-9, 1993.
- BLAD, L.B., BAKER, D.G. Reflected radiation from a soybean crop. *Agronomy Journal*, Madison, v.64, p.277-80, 1972.
- BLISCA JÚNIOR, A.; HONÓRIO, S.L. *Cartilha tecnológica, plasticultura e estufa*. Campinas: Ed. da Unicamp, 1996. 51p.
- BUDIKO, M.I. *Climate and life*. New York: Academic Press, 1974. 507p.
- BUGALHO SEMEDO, C. M. *A intensificação da produção hortícola*. Portugal: Europa-América, 1978. 191 p.
- BURIOL, G. A., STRECK, N. A., PETRY, C. 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.
- BURIOL, G.A., SCHNEIDER, F.M., STEFANEL, V., ANDRIOLO, J.L., MEDEIROS, S.L.P. Modificação na temperatura mínima do ar causada por estufas de polietileno transparente de baixa densidade. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.1, p.43-9, 1993a.
- BURIOL, G.A., STRECK, N.A. SCHNEIDER, F.M. Modificação ambiental causada por túneis baixos de polietileno transparente perfurado, cultivados com alface. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.23, n.3, p.261-6, 1993b.

- CAIXETA, T.J. *Estudo comparativo entre sistemas de irrigação por sulcos e gotejamento e efeito da lâmina de água e frequência de irrigação por gotejamento na cultura do pimentão*. Viçosa, 1978. 60p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.
- CAMACHO, M.J., ASSIS, F.N., MARTINS, S.R., MENDEZ, M.E.G. Avaliação de elementos meteorológicos em estufa plástica em Pelotas, RS. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.3, p.19-24, 1995.
- CAMARGO, A. P. & CAMARGO, M.B.P., Teste de uma equação simples da evapo(transpi)ração potencial baseado na radiação solar extraterrestre e na temperatura média do ar. In: CONG. BRAS. DE AGROMETEOROLOGIA, 3. Campinas, p. 229-244. 1983.
- CAMARGO FILHO, W.P., MAZZEI, A.R. Hortaliças prioritárias no planejamento da produção orientada: estacionalidade da produção e dos preços. *Informe Econômico*, v.24, p.9-54, 1994.
- CAMARGO, A.M.M.P., CAMARGO FILHO, W.P. Área cultivada e regiões produtoras de hortaliças em São Paulo, 1995/96. *Horticultura Brasileira*, v.16, n.1, 1998.
- CAMARGO, L.S. *As hortaliças e seu cultivo*. 2ed. Campinas: Fundação Cargill, 1984. 448p.
- CAÑIZARES, K.A.L. A cultura do pepino. In: GOTO, R., TIVELLI, S.W. (Orgs). *Produção de hortaliças em ambiente protegido: Condições subtropicais*. São Paulo: Editora Unesp, 1998, p.195-256.
- CERMEÑO, Z.S. Pimento. In: *Cultivo de plantas hortícolas em estufas*. Lisboa: Litexa, 1977 cap. 17, p. 261-75.
- CERMEÑO, Z.S. *Estufas: Instalação e manejo*. Lisboa: Litexa, 1990. 355p.

- CHEE, K.H. et al. Effect of rain-protected cultivation on the production of sound fruit vegetables in Highland areas. *Research Reports of the Rural Development Administration – Horticulture*, v.30, p.31-7, 1988.
- CUNHA, A.R., KLOSOWSKI, E.S., GALVANI, E., ESCOBEDO, J.F., MARTINS, D. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1, 1999, Botucatu. *Anais...* Botucatu: UNESP-FCA, 1999, p.487-91.
- CUNHA, A.R. *Parâmetros agrometeorológicos de cultura de pimentão (Capsicum annuum L.) em ambientes protegido e de campo*. Botucatu, 2001. 128p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas - Universidade Estadual Paulista.
- DISTRITO FEDERAL (Estado). Emater. *Boletim do núcleo de agronegócios da coordenadoria de operações*. Distrito Federal, 01-24/08/1999. p.1-2.
- EDWARDS, R.I., LAKE, J.V. Transmission of solar radiation in a large-span east-west glasshouse. *Journal Agric. Eng. Res.*, v.9, p.245-9, 1964.
- EDWARDS, R.I., LAKE, J.V. Transmission of solar radiation in a large-span east-west glasshouse II. *Journal Agric. Eng. Res.*, v.10, p.125-31, 1965.
- EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212p.
- EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: CNPS, 1999. 412p.
- ESCOBEDO, J.F., MELO, J.M.D., FRISINA, V.A. Radiações solar global e fração global refletida em estufa tipo túnel em cobertura de polietileno. In: CONGRESSO IBÉRICO DE ENERGIA SOLAR, 7, 1994, Vigo, Espanha. *Anais...* Vigo: Energias Limpas en Progreso, 1994. p.53-8.

- FARIA JÚNIOR, M.J.A. *Avaliação de diferentes arquiteturas de estufas, coberturas do solo com filme plástico, em híbridos de pimentão (Capsicum annuum L.)*. Jaboticabal, 1997. 102p. Tese (Doutorado em Agronomia/Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista.
- FARIA JUNIOR, M.J.A. Avaliação de cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.) e de dois modelos de estufas com coberturas plásticas durante o verão, em Ilha Solteira-SP. Ilha Solteira, SP. *Cultura Agronômica*. v.1, n.1, p.111-18, 1993.
- FARIAS, J.R.B. BERGAMASCHI, S.R., BERLATO, M.A., OLIVEIRA, A.C.B. Alterações na temperatura e umidade relativa do ar provocadas pelo uso de estufa plástica. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.1, p.51-62, 1993a.
- FARIAS, J.R.B., BERGAMASCHI, S.R., MARTINS, S.R., BERLATO, M.A. Efeito da cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.1, p.31-6, 1993b.
- FERNANDES, A.L.T. *Uso de estação agrometeorológica automática para o controle da irrigação de uma cultura de crisântemo em estufa*. Piracicaba, 1996, 91p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”-Universidade de São Paulo.
- FILGUEIRA, F.E.A.R. *Manual de olericultura: cultivo e comercialização de hortaliças*. 2.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1982. v.2, 357p.
- FONTANA, D.C., BERLATO, M.A., BERGAMASCHI, H. Balanço de energia em soja irrigada e não irrigada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.26, n.3, p.403-10, 1991.

- FRISINA, V.A. *Otimização de um albedômetro e aplicação no balanço de radiação e energia da cultura de alface (Lactuca sativa L.) no exterior e interior de estufa de polietileno*. Botucatu, 1998. 86p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual Paulista.
- FRITSCHEN, L. J., GAY, L. W. *Environmental instrumentation*. New York: Springer Verlag, 1979. 216p.
- GALVANI, E., AGUIAR E SILVA, M.A., ESCOBEDO, J.F., GOMES, N., PICCINI, A. Temperatura e fluxo de calor no solo em meio protegido por polietileno. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1, 1999, Botucatu. *Anais...Botucatu*, 1999. p.7-12.
- GALVANI, E. *Avaliação agrometeorológica do cultivo de pepino (Cucumis sativus L.) em ambientes protegido e a campo, em ciclos de outono-inverno e primavera-verão*. Botucatu, 2001. 124p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual Paulista.
- GONZALES, A.M. Ahorro energetico y materiales de cobertura para cultivos horticolas. In: CURSO INTERNACIONAL DE HORTICULTURA INTENSIVA (COMESTIBLE Y ORNAMENTAL) EN CLIMAS ARIDOS, 4, 1985. Murcia, España. *Apostilas*. Murcia: Ministerio de Agricultura, Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. v.2, 1985.
- GOTO, R., TIVELLI, S.W. (Orgs) *Produção em ambiente protegido: Condições subtropicais*. São Paulo: Editora UNESP, 1998. 319p.
- GRODZKI, L., BRENNER, N.L., SCOTTI, C.A. Estudo do ambiente em estufas plásticas na região de Curitiba, PR. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.9, p.55, 1991.
- HAAG, H.P., HOMA, P., KIMOTO, T. Nutrição mineral de hortaliças – absorção de nutrientes pela cultura do pimentão. *O Solo*, Piracicaba, v.62, n.2, p.7-11, 1970.

- HELDWEIN, A.B., KRZYSCH, G. Estimativa da temperatura e da pressão de vapor d'água do ar no topo de uma cultura de batata. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.7, n.1, p.101-05, 1999.
- HELDWEIN, A.B., STRECK, N.A., BURIOL, G.A., SCHNEIDER, F.M., ESTEFANEL, V., DALMAGO, G.A. Efeito da cobertura plástica sobre a temperatura mínima do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9, 1995, Campina Grande. *Anais...* Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1995, p.304-6.
- JUNQUEIRA, A.H. Hortaliças, novos caminhos no ambiente protegido. In: *Anuário da agricultura brasileira*. São Paulo: Editora Agros, 1999. p.35-8.
- KLOSOWSKI, E. S. *Determinação do consumo de água em cultura de pimentão (Capsicum annuum L.) em ambiente protegido*. Botucatu, 2001. 83p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual Paulista.
- KURATA, K. Role of reflection in light transmissivity of greenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.52, p.319-31, 1990.
- LEITÃO, M.M.V.B.R., AZEVEDO, P.V., COSTA, J.P.R. Balanço de radiação e energia numa cultura de soja irrigada, nas condições semi-áridas do Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 6, 1990, Salvador. *Anais...* Salvador: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1990. p.27-32.
- MARTINEZ GARCIA, P.F. *Características climáticas de los invernaderos de plástico*. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias – INIA, 1978. 48p. (Hoja Técnica, 19)

- MARTINEZ GARCIA, P.F. La regulación de las condiciones del ambiente en los cultivos protegidos. In: FERIA TECNICA INTERNACIONAL DE LA MAQUINARIA AGRICOLA, 1986. Zaragoza, Espana. *Anais...*, Zaragoza: Asociación Nacional de Ingenieros Agronomos, 1986. p. 135-47.
- MARTINS, G., *Uso da casa-de-vegetação com cobertura plástica na tomaticultura de verão*. Jaboticabal, 1992. 65p. Tese (Doutorado em Agronomia/Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista.
- 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/UFRGS, 1992, p.53.
- MASTEKBAYEVA, G.A.; KUMAR, S. Effect of dust on the transmittance of low density polyethylene glazing in a tropical climate. *Solar Energy*, v. 68, n.2, p.135-141, 2000.
- MELO, J. M.D., ESCOBEDO, J. F. Radiações global, direta e difusa em dias de céu aberto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 1993, Ilhéus. *Anais...* Ilhéus: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1993. p.751-65.
- MELO, A.M.T. *Análise genética de caracteres de fruto em híbridos de pimentão*. Piracicaba, 1997. 112p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo.
- MENDEZ, M.E.G., ASSIS, F.N. Comportamento térmico de um planossolo da unidade de mapeamento Pelotas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2, 1981. Pelotas. *Resumos Ampliados...*Pelotas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1981, p.234-36.

- 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.
- MONTEITH, J.L. *Principles of environmental physics*. London: Edward Arnold, 1973. 241p.
- MONTEITH, J.L., SZEICK, G. The radiation balance of bare soil and vegetation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v.7, p.159-70, 1961.
- MONTERO, J.I., CASTILLA, N., GUTIERREZ de RAVÉ, E., BRETONES, F. Climate under plastic in the Almeria area. *Acta Horticulturae*, Wageningen, v.170, p.227-234, 1985.
- MOUGON, R., MOUGON, A., BEN MECHILA, N. Comparative study of greenhouse covers with and without thermal screens. *Plasticulture*, Paris, v.81, p.37-42, 1989.
- NUEZ VIÑALS, F., GIL ORTEGA, R., COSTA GARCIA, J. Manejo en cultivo extensivo. In: *El cultivo de pimientos, chiles y ajies*. Madrid: Mundi-Prensa, 1996. p.445-500.
- OLIVEIRA, M.R.V. O emprego de casas de vegetação no Brasil: vantagens e desvantagens. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.30, n.8, p.1049-60, 1995.
- OLIVEIRA, M.R.V., FERREIRA, D.N.M., MIRANDA, R.G., MESQUITA, H.R. *Estufas, sua importância e ocorrência de pragas*. Brasília: EMBRAPA-CENARGEN, 1992. 7p. (Comunicado Técnico, 11)
- PÁDUA, J.G., CASALI, V.W.D., PINTO, C.M.F. Efeitos climáticos sobre o pimentão e pimenta. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.10, n.113, p.11-3, 1984.
- PEÑUELAS, J., SAVÉ, R., MARFÁ, O., SERRANO, L. Remotely measured canopy temperature of greenhouse strawberries as indicator of water status and yield under mild

and very mild water stress conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.58, n.1-2, p.63-77, 1992.

PEREIRA, A.L. *Cultura do pimentão*. Fortaleza : DNOCS, 1990. 49p.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997, 183p.

PINHEIRO, F.A. Segmentação de mercado de produtos hortícolas e cultivo em ambientes protegidos. In: FORO INTERNACIONAL DE CULTIVO PROTEGIDO, 1997, Botucatu. *Anais...* Botucatu: FCA-UNESP/FAPESP, 1997. p.154-67.

PRADOS, N.C. *Contribución al estudio de los cultivos enarenados en Almeria: necesidades hídricas y extracción del nutrientes del cultivo de tomate de crecimiento indeterminado em abrigo de polietileno*. Almeria, Espanha, 1986. 195p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Caja Rural Provincial.

REIS, N.V.B., HORINO, Y., OLIVEIRA, C.A.S., BOITEUX, L.S. Cultivo de tomate com e sem cobertura plástica. I. Efeito sobre a produção e radiação interceptada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7, 1991, Viçosa. *Resumos...* Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1991. p.12-15.

ROBLEDO DE PEDRO, F. *Láminas de polietileno y copolímero EVA para usos en agricultura*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca Y Alimentacion, 1987. 20p. (Hojas divulgadoras, 2).

ROBLEDO DE PEDRO, F., MARTIN, L.V. *Aplicación de los plásticos en la agricultura*. Madrid: Mundi-Prensa, 1981, 552p.

ROBLEDO DE PEDRO, F., VICENTE, L.M. *Aplicación de los plásticos en la agricultura*. Madrid: Mundi-Prensa, 1988, 573p.

- ROSENBERG, N.J. Windbreaks and shelter effect. In: *Microclimate: the biological environment*. U.S.A.: John Wiley & Sons, 1974. p.238-64.
- SANTOS, R.F., RICIERI, R.P., KLAR, A.E., KRUGER, F.C. Comportamento de altura de planta de dois híbridos de pimentão cultivado na estufa e à campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2, 1999, Florianópolis. CD... Florianópolis: Epagri, 1999.
- SCATOLONI, M.E. *Estimativa da evapotranspiração da cultura de crisântemo em estufa a partir de elementos meteorológicos*. Piracicaba, 1996. 65p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo.
- SCHNEIDER, F.M., BURIOL, G.A., ANDRIOLO, J.L., ESTEFANEL, V., STRECK, N.A. Modificação na temperatura do solo causada por estufas de polietileno transparente de baixa densidade em Santa Maria-RS. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.1, n.1, p.37-42, 1993.
- SEEMAN, J. Greenhouse climate. In: *Agrometeorology*. New York, Germany: Springer-Verlag, 1979. p.165-78.
- SEEMAN, J. Greenhouse climate. In: *Agrometeorology*. New York, Germany: Springer-Verlag, 1979. p.165-78.
- SENTELHAS, C. S.; SANTOS, A. O. Cultivo Protegido: Aspectos microclimáticos. *Revista Brasileira de Floricultura e Plantas Ornamentais*. v.1, n. 2, p.108-115, 1995.
- SGANZERLA, E. *Nova agricultura: a fascinante arte de cultivar com plásticos*. 5ed. Guaíba: Agropecuária, 1995. 342p.
- SIVIERO, P., BERNARDONI, M. Um tutto perperone. *Inf. Agrar.*, v.46, p.73-82, 1990.

- SIVIERO, P., GALLERANI, M. *La coltivazione del pepperone*. Verona: Edizioni L'Informatore Agrario, 1992. 217p.
- SONNENBERG, P.E. *Olericultura Especial: 2ª parte*. 2.ed. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 1981. 143p.
- SOUZA, J.L. *Saldo radiômetro com termopilha de filme fino e aplicação no balanço de radiação e energia em cultivo de feijão-vagem (Phaseolus vulgaris L.) em casa de vegetação com cobertura de polietileno*. Botucatu, 1996. 172p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas - Universidade Estadual Paulista.
- STANHILL, G., COX, J.T.H., MORESHET, S. The effect of crop and climate factors on the radiation balance of on irrigated maize crop. *Journal of Applied Ecology*, v.5, p. 707-20, 1968.
- TANAKA, M., GENTA, H. *Control del medio ambiente bajo invernadero y túnel plástico*. Salto: Uruguay – Estación Experimental de Citricultura, 1982. 61p.
- TAPIA, G.J. Filmes térmicos para invernaderos. *Revista de plásticos modernos*, Madrid, v.295, p.75-82, 1981.
- TEODORO, R.E.F. *Efeito da irrigação no crescimento e produção do pimentão (Capsicum annuum L.) conduzido em casa de vegetação e em condições de campo*. Piracicaba, 1986. 67p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo.
- TEODORO, R.E.F., OLIVEIRA, A.S., MINAMI, K. Efeitos da irrigação por gotejamento na produção de pimentão (*Capsicum annuum* L.) em casa-de-vegetação. *Sci.Agric.*, Piracicaba, v.50, n.2, p.237-243, 1993.

- TIVELLI, S.W. Manejo do ambiente em cultivo protegido. In: GOTO, R., TIVELLI, S.W. (Orgs). *Produção de hortaliças em ambiente protegido: Condições subtropicais*. São Paulo: Editora Unesp, 1998, p.15-30.
- TIVELLI, S.W. *Sistemas de cultivo na cultura do pimentão (Capsicum annuum L.) vermelho em ambiente protegido*. Botucatu, 1999. 157p. Tese (Doutorado em Agronomia/Horticultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas – Universidade Estadual Paulista.
- VAN DEN BOS, J. *The isolating effect of greenhouses on arthropod pests and its significance for integrated pest management*. Wageningen: Pudoc, 1983. 92p.
- VAN LOON, W.K.P., BASTINGS, H.M.H., MOORS, E.J. Calibration of soil heat flux sensors. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.92, n.1, p.1-8, 1998.
- VAN WIJK, W.R. *Physics of plant environment*. North-Holland Publication, Amsterdam, 382p. 1966.
- WILLIS, J. Some high values of the albedo of the sea. *Journal of Applied Meteorology*, v.10, p.1296, 1971.

APÊNDICE

Quadro 1 – Valores médios de altura de planta (A.P.) em cm, peso da matéria fresca total (M.F.T.) em gramas, peso da matéria seca total (M.S.T.) em gramas e número de folhas (N.F.), para duas plantas na condições de campo (cp) e duas plantas na condição de ambiente protegido (ap), para todo o ciclo da cultura do pimentão.

Data	A.P.		M.F.T.		M.S.T.		N.F.	
	(cp)	(ap)	(cp)	(ap)	(cp)	(ap)	(cp)	(ap)
22/02/00	8,60	10,20	1,57	1,73	0,16	0,17	5	6
07/03/00	10,40	13,80	1,90	2,34	0,19	0,23	6	7
21/03/00	19,00	25,00	3,48	4,23	0,35	0,42	11	10
05/04/00	43,50	71,00	77,32	210,15	5,31	12,15	71	126
18/04/00	62,50	76,50	405,85	548,95	36,82	46,53	168	180
02/05/00	74,50	95,50	615,40	1435,55	53,51	107,34	216	279
16/05/00	82,50	93,50	1390,87	1270,15	111,30	94,34	276	182
30/05/00	84,75	116,00	1766,85	1597,05	136,65	122,26	312	278
13/06/00	78,50	99,50	1261,50	2072,10	122,67	158,31	189	290
27/06/00	89,50	111,50	1755,30	2618,60	166,74	223,21	322	369
11/07/00	98,00	120,50	1305,30	2909,65	152,61	240,65	236	404
25/07/00	79,00	133,50	1986,90	3053,75	196,29	267,47	213	322
08/08/00	82,50	123,50	1782,30	3010,70	161,85	272,62	140	246
22/08/00	82,50	117,50	1341,75	3422,45	126,21	309,82	39	237
05/09/00	78,00	110,00	1332,65	2755,70	129,93	236,50	205	145

Quadro 2 – Valores médias da área foliar (A.F.) em cm^2 e do índice de área foliar (I.A.F.) em $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$, de duas plantas da condição de campo (cp) e duas plantas na condição de ambiente protegido (ap), para todo o ciclo da cultura do pimentão.

Data	A.F.		I.A.F.	
	(cp)	(ap)	(cp)	(ap)
22/02/00	36,06	37,67	0,0150	0,0157
07/03/00	43,60	50,96	0,0182	0,0213
21/03/00	79,66	92,32	0,0332	0,0385
05/04/00	824,21	2477,54	0,3437	1,0331
18/04/00	2870,72	3861,91	1,1971	1,6104
02/05/00	3699,81	6668,58	1,5428	2,7808
16/05/00	5978,21	5526,33	2,4929	2,3045
30/05/00	6603,15	6267,61	2,7535	2,6136
13/06/00	4150,06	7607,20	1,7306	3,1722
27/06/00	7010,24	7068,74	2,9233	2,9477
11/07/00	5558,88	7806,89	2,3181	3,2555
25/07/00	5706,85	7637,25	2,3798	3,1847
08/08/00	3856,25	5361,82	1,6081	2,2359
22/08/00	1115,99	6815,38	0,4654	2,8420
05/09/00	382,55	4007,87	0,1595	1,6713

Quadro 3 - Valores médios do número de frutos por planta, do peso dos frutos, da produção e da produtividade (4 plantas – condição de ambiente protegido).

Data	Nº médio de frutos/planta	Peso médio dos frutos (g)	Produção (kg/planta)	Produtividade (kg/m ²)
30/05/00	1,33	326,47	0,43	1,79
06/06/00	1,75	284,30	0,50	2,08
13/06/00	2,25	217,80	0,49	2,04
19/06/00	1,67	208,76	0,35	1,46
004/07/00	1,00	287,80	0,29	1,21
11/07/00	1,00	232,10	0,23	0,96
18/07/00	2,00	207,15	0,41	1,71
25/07/00	-	-	-	-
08/08/00	1,00	259,00	0,25	1,04
15/08/00	4,00	202,95	0,81	3,38
22/08/00	2,33	175,64	0,41	1,71
29/08/00	2,75	218,91	0,60	2,50
05/09/00	1,67	157,31	0,26	1,08
Total/Média	22,75	231,52	5,03	20,96

Quadro 4 - Valores médios do número de frutos por planta, do peso dos frutos, da produção e da produtividade (4 plantas – condição de campo).

Data	Nº médio de frutos/planta	Peso médio dos frutos (g)	Produção (kg/planta)	Produtividade (kg/m ²)
30/05/00	2,00	302,85	0,61	2,54
06/06/00	1,50	300,03	0,45	1,88
13/06/00	2,00	259,40	0,52	2,17
19/06/00	1,00	354,40	0,35	1,46
04/07/00	1,50	152,77	0,23	0,96
11/07/00	2,50	95,54	0,24	1,00
18/07/00	1,00	122,60	0,12	0,50
25/07/00	1,75	58,51	0,10	0,42
08/08/00	1,00	58,50	0,06	0,25
15/08/00	-	-	-	
22/08/00	1,00	43,7	0,04	0,17
29/08/00	-	-	-	
05/09/00	-	-	-	
Total/Média	15,25	174,83	2,72	11,35