

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

**AVALIAÇÃO AGROMETEOROLÓGICA DO CULTIVO DE PEPINO**  
*(Cucumis sativus L.)* **EM AMBIENTES PROTEGIDO E A CAMPO, EM**  
**CICLOS DE OUTONO-INVERNO E PRIMAVERA-VERÃO**

**EMERSON GALVANI**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU-SP  
Abril – 2.001

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

**AVALIAÇÃO AGROMETEOROLÓGICA DO CULTIVO DE PEPINO  
(*Cucumis sativus* L.) EM AMBIENTES PROTEGIDO E A CAMPO, EM  
CICLOS DE OUTONO-INVERNO E PRIMAVERA-VERÃO**

**EMERSON GALVANI**

*Orientador:* **Prof. Dr. João Francisco Escobedo**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU-SP  
Abril - 2.001

## DEDICATÓRIA

Em primeiro, a meus pais Laercio e Leonilde Galvani, que contribuíram, não em formação técnica-científica, mas sim na base de tudo isso, caráter e dedicação.

À Rosane que soube compreender minha ausência quando das minhas viagens a Botucatu e a outras cidades a participar de congressos, simpósios, seminários, encontros, ....

Ao meu falecido irmão (José Carlos Galvani) que foi espelho de exemplo e de dedicação e persistência enquanto vivo e ainda hoje guia grande parte de meus passos.

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor João Francisco Escobedo pela orientação e oportunidade de participar do grupo que encontra-se sob sua responsabilidade.

Aos colegas Élcio Silvério Klosowski e Antonio Ribeiro da Cunha que colaboram 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, Isabel, Selma, Silvia e em especial ao Valdomiro Rossi e Vicente Viegas que colaboram com seu trabalho e sua amizade na fase de condução do experimento.

Ao colega André Belmont Pereira que na realidade foi o primeiro contato com esta instituição.

Ao curso de pós graduação em Agronomia, área de concentração em Energia na Agricultura da FCA/UNESP.

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP, por intermédio do processo 96/08974-7, pelo incentivo financeiro concedido através de bolsa e reserva técnica, sem o qual o referido curso não teria se completado.

Aos colegas de república Gandolfo, Luiz Fernando, Silas e Tanaka que souberam colaborar com sua grandiosa amizade.

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

## SUMÁRIO

	Págin
	a
LISTA DE QUADROS.....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
RESUMO.....	1
SUMMARY.....	3
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	8
2.1 Vantagens e desvantagens do uso de ambiente protegidos.....	8
2.2 Aspectos gerais da cultura de pepino.....	10
2.3 Saldo de radiação em ambientes protegidos.....	11
2.4 Radiação solar global em ambientes protegidos.....	13
2.5 Temperatura do ar e do solo e umidade do ar.....	16
2.6 Coeficiente de reflexão de culturas.....	18
2.7 Balanço de Energia .....	19
2.8 Relação entre elementos meteorológicos e índice de área foliar de culturas.....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 Campo Experimental.....	23
3.2. Instrumental utilizado.....	26
3.3. Indicadores de crescimento e produtividade.....	31
3.4. Estimativa dos fluxos de calor latente e sensível.....	32
3.5. Controle de irrigação.....	35
3.6. Estimativa dos componentes da radiação.....	36
3.7. Modelos de estimativa.....	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1 Saldo de radiação .....	39
4.2. Radiação solar global.....	47

4.3 Radiação solar refletida.....	54
4.4 Radiação solar difusa.....	56
4.5 Saldo de radiação de ondas curta e ondas longa.....	58
4.6 Temperatura do ar .....	61
4.7 Umidade relativa do ar.....	63
4.8 Temperatura do solo.....	64
4.9 Velocidade do vento.....	67
4.10 Coeficiente de reflexão.....	68
4.11 Fluxo de calor no solo.....	73
4.12 Balanço de energia .....	75
4.12.1 Validação do balanço de energia .....	82
4.13 Índice de Área foliar.....	86
4.13.1 Estimativa de Índice de Área Foliar.....	89
4.14 Relação entre saldo de radiação e produtividade.....	91
4.15 Relação entre radiação fotossinteticamente ativa e produtividade.....	93
4.16 Relação entre IAF e produtividade.....	95
4.17 Relação entre matéria seca e PAR.....	98
4.18 Produtividade.....	100
5. CONCLUSÕES.....	103
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
APÊNDICES.....	115

<b>LISTA DE QUADROS</b>		<b>Págin</b>
		<b>a</b>
1. Características físicas do solo para os diferentes horizontes.....		25
2. Valores de densidade global obtidos para ambos os ambientes.....		25
3. Sensores de radiação solar e fluxo de calor no solo e seus respectivos fatores de calibração.....		26
4. Comparação entre valores de saldo de radiação obtido no período diurno (SRdiurno), noturno (SRnoturno) e total (SR), no ambiente protegido e campo, para a data de 21/05/98.....		41
5. Relação entre a radiação solar difusa e a radiação solar em ambiente protegido e a campo em dias com cobertura de céu limpo e parcialmente nublado.....		57
6. Análise estatística através do teste de Tukey dos valores médios de temperatura do ar em condição de ambiente protegido e a campo em ambos os ciclos de cultivo.....		61
7. Análise estatística através do teste de Tukey dos valores médios de umidade relativa do ar em condição de ambiente protegido e a campo em ambos os ciclos de cultivo.....		64
8. Análise estatística através do teste de Tukey dos valores médios de temperatura do solo a 0,10, 0,20 e 0,30m em condição de ambiente protegido e campo em ambos os ciclos de cultivo.....		66
9. Coeficientes obtidos a partir da relação entre o coeficiente de reflexão e dias após o transplântio para o ciclo de outono-inverno nas condições de ambiente protegido e a campo.....		70
10. Coeficientes obtidos a partir da relação entre o coeficiente de reflexão e dias após o transplântio para o ciclo de primavera-verão nas condições de ambiente protegido e a campo, 1998/1999.....		72
11. Relações entre saldo de radiação (SR), fluxo de calor no solo (FCS), fluxo de calor latente (LE) e sensível (H) para os níveis 1-2 em ambiente		

protegido e a campo na data de 21/12/98.....	77
12. Relações entre SR, FCS, H e LE para os níveis 1-2 e 2-3 em condição de ambiente protegido em ciclo de outono-inverno.....	78
13. Relações entre SR, FCS, H e LE para os níveis 1-2 e 2-3 em condição de campo em ciclo de outono-inverno.....	80
14. Relações entre SR, FCS, H e LE para os níveis 1-2 e 2-3 em condição de ambiente protegido em ciclo de primavera-verão.....	81
15. Relações entre SR, FCS, H e LE para os níveis 1-2 e 2-3 em condição de campo em ciclo de primavera-verão.....	82
16. Coeficientes obtidos através de modelo logístico para a relação entre saldo de radiação acumulado ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ semana}^{-1}$ ) ao longo do ciclo da cultura de pepino e a produtividade ( $\text{kg m}^{-2} \text{ semana}^{-1}$ ), em ciclo de outono-inverno.....	91
17. Coeficientes obtidos através de modelo logístico para a relação entre saldo de radiação acumulado ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ semana}^{-1}$ ) ao longo do ciclo da cultura de pepino e a produtividade ( $\text{kg m}^{-2} \text{ semana}^{-1}$ ), em ciclo de primavera-verão.....	93
18. Coeficientes ajustados por modelo logístico para a relação PAR e Produtividade em ciclo de outono-inverno e primavera-verão nas condições de ambiente protegido e a campo.....	95
19. Coeficientes ajustados por modelo logístico para a relação PAR e matéria seca em ciclo de outono-inverno nas condições de ambiente protegido e a campo.....	99
20. Coeficientes ajustados por modelo logístico para a relação PAR e matéria seca em ciclo de primavera-verão nas condições de ambiente protegido e a campo.....	100
21. Análise estatística através do teste de Tukey dos valores semanais de produtividade ( $\text{kg m}^{-2} \text{ semana}^{-1}$ ) em condição de ambiente protegido e a campo em ambos os ciclos de cultivo.....	100
22. Número de frutos, comprimento (cm), perímetro (cm), peso médio de frutos (g)	

em condição de ambiente protegido e a campo em ambos os ciclos de cultivo..... 101

23. Parâmetros meteorológicos monitorados ao longo do ciclo cultura de pepino em cultivo de outono-inverno e primavera-verão no ambiente protegido e a campo 102

### LISTA DE FIGURAS

	Págin
	a
1. Planta baixa da área pertencente ao Departamento de Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP e delimitação da área experimental.....	24
2. Esquema representativo do ambiente protegido.....	24
3. Comparação entre valores obtidos pelo sensor de referência (EPLEY PSP) e o sensor protótipo.....	27
4. Conjunto de micro-abrigos instalados na área de teste.....	30
5. Relação lâmina ( $L \text{ m}^2$ ) de água aplicada em função do tempo (min).....	35
6. Curva de saldo de radiação para a data de 21 de maio de 1998, em Botucatu, SP, em condição de ambiente protegido (SRpt) e a campo (SRca).....	40
7. Curva de saldo de radiação para a data de 25 de dezembro de 1998, em Botucatu, SP, em condição de ambiente protegido (SRpt) e a campo (SRca), fase de máximo crescimento vegetativo da cultura de pepino em dia com condição de céu nublado.....	42
8. Variação do saldo de radiação ao longo do ciclo de outono-inverno na cultura de pepino em condição de ambiente protegido (SRpt) e a campo (SRca).....	42
9. Relação entre saldo de radiação em ambiente protegido e a campo (a), saldo de radiação em ambiente protegido e radiação solar global a campo (b) e saldo de radiação e radiação solar global em ambiente protegido (c), valores diários integrados ao longo do ciclo de outono-inverno.....	44
10. Variação do saldo de radiação ao longo do ciclo da cultura de pepino	

cultivado no período de primavera-verão em ambiente protegido (SRpt) e a campo (SRca).....	45
11. Relação entre saldo de radiação em ambiente protegido e a campo (a), saldo de radiação em ambiente protegido e radiação solar global a campo (b) e saldo de radiação e radiação solar global em ambiente protegido (c), valores diários integrados ao longo do ciclo de primavera-verão. ....	46
12. Curva de irradiância ( $W m^{-2}$ ) para o dia 21 de maio de 1998, Botucatu, SP, nas condições de ambiente protegido (Gpt) e a campo (Gca).....	48
13. Variação da radiação solar global ao longo do ciclo da cultura de pepino em condições de ambiente protegido (Gpt) e a campo (Gca) em ciclo de outono-inverno (a) e primavera-verão (b).....	49
14. Curva de transmissividade instantânea para a data de 01/08/98 (a) e ao longo do ciclo (b) de outono-inverno.....	50
15. Curva de transmissividade instantânea para a data de 18/12/98 (a) e ao longo do ciclo de primavera-verão (b).....	52
16. Relação entre a radiação solar global em condições de ambiente protegido (Gpt) e a campo (Gca) em ciclos de outono-inverno (a) e primavera-verão (b).....	53
17. Radiação solar refletida em cultivos de outono-inverno (a) e primavera-verão (b) em condições de ambiente protegido (Rpt) e a campo (Rca).....	54
18. Relação entre a radiação solar refletida em condição de ambiente protegido e radiação solar global a campo (a), radiação solar refletida e radiação solar global a campo (b) e radiação solar refletida e radiação solar global em ambiente protegido (c), em ciclo de outono-inverno, Botucatu, SP.....	55
19. Relação entre a radiação solar refletida em condição de ambiente protegido e radiação solar global a campo (a), radiação solar refletida e radiação solar global a campo (b) e radiação solar refletida e radiação solar global em ambiente protegido (c), em ciclo de primavera-verão, Botucatu, SP.....	56

20. Radiação solar difusa em condição da ambiente protegido (Difpt) e a campo (Difca) em ciclo de outono-inverno (a) e primavera-verão (b).....	57
21. Irradiâncias solar global (Gpt), refletida (Rpt) e saldo de ondas curtas (SRocpt) na data de 21/05/98 em condição ambiente protegido. ....	59
22. Saldo de radiação de ondas curta em ciclo de outono-inverno (a) e primavera-verão (b) nas condições de ambiente protegido (SRocpt) e a campo (SROcca).....	60
23. Saldo de radiação de ondas longa em ciclo de outono-inverno (a) e primavera-verão (b) em condição de ambiente protegido (SRolpt) e a campo (SRolca).....	61
24. Temperatura do ar em condição de ambiente protegido (TARpt) e a campo (TARca) em cultivo de pepino em ciclo de outono-inverno (a) e primavera-verão (b).....	62
25. Umidade relativa do ar em condição de ambiente protegido (URpt) e a campo (URca) em cultivos de outono-inverno (a) e primavera-verão (b).....	64
26. Curvas médias diárias de temperatura do solo em ciclo de outono-inverno (a) e primavera-verão (b) nas condições de ambiente protegido e a campo..	65
27. Variação da velocidade média diária do vento ao longo do ciclo de outono-inverno (a) e primavera-verão (b) sobre cultura de pepino.....	67
28. Curva do coeficiente de reflexão instantâneo para a data de 18/12/98 nas condições de ambiente protegido e a campo .....	69
29. Variação do coeficiente de reflexão, curva de ajuste e intervalo de confiança (99%) ao longo do ciclo da cultura de pepino em ciclo de outono-inverno nas condições de ambiente protegido (a) e a campo (b).....	70

30. Variação do coeficiente de reflexão, curva de ajuste e intervalo de confiança (99%) ao longo do ciclo da cultura de pepino em ciclo de primavera-verão nas condições de ambiente protegido (a) e a campo (b).....	73
31. Fluxo de calor no solo na data de 02/06/98 (a) e 06/11/98 (b) para as condições de ambiente protegido e a campo .....	74
32. Fluxo de calor no/para o solo em ambiente protegido e a campo para os ciclos de outono-inverno (a) e primavera-verão (b).....	75
33. Curvas instantâneas de saldo de radiação (SR), fluxo de calor no solo (FCS), fluxo de calor latente de LE e H para a data de 21/12/98 em condições de ambiente protegido (a) e a campo (b).....	76
34. Variação da razão de Bowen (H/LE) ao longo do dia 21/12/98 calculada para os níveis 1-2 em condição de ambiente protegido (a) e a campo (b).....	77
35. Variação do saldo da radiação (SR), fluxo de calor no solo (FCS), fluxo de calor latente (LE) e sensível (H) entre os níveis 1 e 2 (a) e 2 e 3 (b), em condição de ambiente protegido, durante o ciclo de outono-inverno na cultura de pepino.....	78
36. Variação do saldo da radiação (SR), fluxo de calor no solo (FCS), fluxo de calor latente (LE) e sensível (H) entre os níveis 1 e 2 (a) e 2 e 3 (b), em condição de campo, durante o ciclo da cultura de pepino.....	80
37. Variação do saldo da radiação (SR), fluxo de calor no solo (FCS), fluxo de calor latente (LE) e sensível (H) entre os níveis 1 e 2 (a) e 2 e 3 (b), em condição de ambiente protegido, durante o ciclo da cultura de pepino.....	81
38. Variação do saldo da radiação (SR), fluxo de calor no solo (FCS), fluxo de calor latente (LE) e sensível (H) entre os níveis 1 e 2 (a) e 2 e 3 (b), em condição de campo, durante o ciclo da cultura de pepino.....	82
39. Componentes do balanço de energia para o ciclo de outono-inverno em condições de ambiente protegido (a e b) e a campo (c e d) sobre cultura de pepineiro, nos níveis 1-2 e 2-3.....	84

40. Componentes do balanço de energia para o ciclo de primavera-verão em condições de ambiente protegido (a e b) e a campo (c e d) sobre cultura de pepineiro, nos níveis 1-2 e 2-3.....	85
41. Índice de Área Foliar em condição de ambiente protegido (IAF <sub>pt</sub> ) e a campo (IAF <sub>ca</sub> ) em ciclos de outono-inverno (a) e primavera-verão (b).....	87
42. Vista da cultura de pepino em ciclo de primavera-verão em ambiente protegido na 1 <sup>a</sup> SAT (a), 2 <sup>a</sup> SAT (b), 4 <sup>a</sup> SAT (c) e 6 <sup>a</sup> SAT (d). ....	88
43. Índice de Área Foliar (IAF) ao longo do ciclo da cultura de pepino no período de outono-inverno em condição de ambiente protegido (a) e a campo (b) em semanas após o transplante (SAT) .....	89
44. Índice de Área Foliar (IAF) ao longo do ciclo de primavera-verão em condição de ambiente protegido (a) e a campo (b) em semanas após o transplante (SAT).....	91
45. Relação entre produtividade ( $\text{kg m}^{-2} \text{ semana}^{-1}$ ) e saldo de radiação acumulado ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ semana}^{-1}$ ) para o ciclo de outono-inverno nas condições de ambiente protegido (a) e a campo (b).....	92
46. Relação entre produtividade ( $\text{kg.m}^{-2}$ ) e saldo de radiação acumulado ( $\text{MJ.m}^{-2}$ ) para o ciclo de primavera-verão nas condições de ambiente protegido (a) e a campo .....	93
47. Relação entre radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e produtividade em condição de ambiente protegido (a e c) e a campo (b e d) em ciclos de outono-inverno (a e b) e primavera-verão (c e d).....	94
48. Relação entre IAF e produtividade durante o ciclo da cultura de pepino em condições de ambiente protegido (a) e a campo (b).....	97
49. Índice de Área Foliar (IAF) e Produtividade ao longo do ciclo da cultura de pepino no período de primavera-verão em condição de ambiente protegido (a) e a campo (b) em Semanas Após Transplante (SAT). ....	97
50. Relação entre matéria seca acumulada ( $\text{g planta}^{-1} \text{ semana}^{-1}$ ) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em ciclo de outono-inverno em condição de ambiente protegido (a) e a campo (b).....	98

51. Relação entre matéria seca acumulada ( $\text{g planta}^{-1}$ ) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em ciclo de primavera-verão em condição de ambiente protegido (a) e a campo 99  
(b).....

## RESUMO

Ao longo do ciclo da cultura de pepino tipo salada, cultivado simultaneamente em condição de ambiente protegido e a campo em ciclos de outono-inverno e primavera-verão avaliou-se os elementos agrometeorológicos, tais como: componentes da radiação solar (global, refletida, difusa, radiação fotossinteticamente ativa e saldo de radiação), temperatura do ar e do solo, fluxo de calor no solo, velocidade do vento, partição do balanço de energia em fluxos de calor latente de evaporação e fluxos de calor sensível, assim como, indicadores de crescimento da cultura, a citar, área foliar e índice de área foliar, produtividade e matéria seca. Os resultados mostram que: a) a cultura no interior do ambiente protegido apresentou ganhos significativos de produtividade em relação a condição de campo com 19,98 e 4,01 kg m<sup>-2</sup> de canteiro para o ambiente protegido e a campo, respectivamente, no ciclo de outono-inverno e, não significativos com 26,81 e 22,55 kg m<sup>-2</sup> de canteiro para o ciclo de primavera-verão; b) A transmissividade do polietileno a radiação solar global foi alterado em

função da época do ano e do tempo de exposição do material passando de 70,77% no período de outono-inverno para 74,92% no período de primavera-verão; c) A temperatura média e a umidade relativa do ar não apresentaram diferenças significativas entre os ambientes; d) A temperatura do solo apresentou diferença significativa nas profundidades de 0,1 e 0,3 m de profundidade nas condições de ambiente protegido e a campo em ambos os ciclos de cultivo. Para a profundidade de 0,2 m não se observou diferença significativa entre os ambientes e ciclos de cultivo; e) A velocidade do vento apresentou média de 0,118 e 2,06 m s<sup>-1</sup> para as condições de ambiente protegido e a campo em ciclo de outono-inverno, e média de 0,069 e 1,973 m s<sup>-1</sup> em ciclo de primavera-verão nas condições de ambiente protegido e a campo, respectivamente; f) A eficiência energética (MJ g<sup>-1</sup>) da cultura foi maior no ambiente protegido em ambos os ciclos de cultivo; g) O saldo de radiação de onda longa foi maior (mais negativo) na condição de campo; h) Pode-se estimar a produtividade (kg m<sup>-2</sup>) da cultura do pepino para ambas as condições e ciclos de cultivo a partir da relação com o saldo de radiação e com a radiação fotossinteticamente ativa a partir do modelo logístico; i) A variação do coeficiente de reflexão da cultura do pepino cultivado em ciclo de primavera-verão foi função do índice de área foliar. Em ciclo de outono-inverno em condição de campo não se observou boa relação entre coeficiente de reflexão e índice de área foliar; j) O coeficiente de reflexão da cultura de pepino em ciclo de primavera-verão pode ser estimado em função do número de dias após o transplântio, fazendo uso do modelo de distribuição normal; l) O método do balanço de energia apresentou valores mais consistentes quando obtidos em condição de ambiente protegido em ciclo de outono-inverno.

EVALUATION OF AGROMETEOROLOGICAL OF CUCUMBER CROP GROWN AT PROTECTED ENVIRONMENTAL AND FIELD CONDITIONS THROUGHOUT FALL-WINTER AND SPRING-SUMMER SEASONS. Botucatu, 2001. 124p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: EMERSON GALVANI

Adviser: JOÃO FRANCISCO ESCOBEDO

## SUMMARY

Agrometeorological elements were monitored throughout the cycle of cucumber crop grown at Botucatu, SP, Brazil, under field and internal conditions at the protect environment with polyethylene cover over the fall-winter and spring-summer seasons. Such parameters were the solar radiation components, such as global, reflected, diffuse, photosynthetically active radiation and net radiation, as well as soil and air temperature, heat flux from soil, wind speed, partitioning of net radiation into evaporation latent heat and sensitive heat fluxes, leaf area, leaf area index, productivity and dry matter weight for the crop in study. The results show that: a) the protected environmental conditions provided significant gains of yield in relation to field with 19.98 and 4.01 kg m<sup>-2</sup> of fresh matter for the internal and external conditions, respectively, throughout fall-winter season, as well as no-significant yields under the same treatments with 26.81 and 22.55 kg m<sup>-2</sup> of fresh matter, respectively, during winter-summer season; b) transmissivity of

polyethylene has been changed as a function of the season and exposition time of the material passing of 70,77% in the autumn-winter for 74,92% in the spring-summer period; c) mean temperature and relative humidity of the air did not present significant differences between both internal and external environments; d) mean temperature of the soil presented significant difference in the depths of 0.1 and 0.3 meters of depth in the conditions of protected environmental and to field in both cultivation cycles. For the depth of 0.2 meters significant difference was not observed between the environmental and cultivation cycles; e) the speed of wind presented average of 0.118 and 2.06  $\text{m s}^{-1}$  for the conditions of protected environmental and field in autumn-winter cycle, and average of the 0,069 and 1,973  $\text{m s}^{-1}$  in spring-summer cycle in the protected environmental and to field, respectively; f) the energetic efficiency ( $\text{MJg}^{-1}$ ) of the crop was greater under internal conditions throughout both crop seasons; g) it is possible to estimate the cucumber crop productivity ( $\text{kg m}^{-2}$ ) for both environmental conditions and crop seasons as a function of net radiation and photosynthetically active radiation from logistic models; h) the variation of cucumber crop albedo grown at spring-summer season was a function of leaf area index and none relationship between albedo and leaf area index at fall-winter season was observed; i) the cucumber crop albedo at spring-summer season can be estimated as a function of the number of days after transplant by means of normal distribution model; j) energy balance method presented values more consistent as obtained at protected environmental condition and fall-winter season.

---

Keywords: protected environmental, cucumber crop, agrometeorological elements.

## **1. INTRODUÇÃO**

Nas duas últimas décadas, o cultivo em ambientes protegidos, com o objetivo de obter produtos agrícolas de melhor qualidade e sem apresentar variação sazonal na produção, tem aumentado consideravelmente não só em países desenvolvidos mas também em países em desenvolvimento, como podemos citar o exemplo do Brasil. Considerando a localização geográfica do território brasileiro, o uso de ambientes protegidos cobertos com filmes plásticos ou sombrite, apresenta dupla função. A primeira delas vale para as regiões Sul e Sudeste, atuando como regulador da temperatura, diminuindo o efeito danoso causado por baixas temperaturas em algumas culturas, propiciando a produção no período de entressafra (geralmente período de inverno). A segunda, vale para as demais regiões do Brasil, onde esses ambientes propiciam um maior controle da quantidade de água sobre a cultura, assim como protegem de chuvas de intensidade elevada, granizo e estresse provocado pela ação direta dos ventos.

Estima-se que no Brasil a superfície coberta por ambientes protegidos (cobertura de vidro e polietileno) é de aproximadamente 1000 ha, as quais são utilizadas para cultivos e produção de plantas ornamentais, hortaliças e mudas das mais variadas espécies de plantas. Na área científica, a utilização de ambientes protegidos ocupa um espaço de, aproximadamente, 40 ha (Oliveira, 1995).

O rendimento da cultura de pepino cultivado a campo no Brasil é ainda muito reduzido, estando em  $1,6 \text{ kg m}^{-2}$  para pepino conserva e, 2,5 a  $8,0 \text{ kg m}^{-2}$  para pepino tipo salada (Silva et al. 1992, Epagri, 1993). Para as condições de cultivo em ambiente protegido os rendimentos encontram-se entre 15 a  $30 \text{ kg m}^{-2}$  (Alfonso Osorio et al., 1984; Robles, 1985; Martins et al., 1995).

Atualmente, existe grande empenho de órgãos e instituições de pesquisa em âmbito nacional e internacional em caracterizar os efeitos dos ambientes protegidos nos elementos agrometeorológicos e, conseqüentemente, no crescimento e desenvolvimento de plantas e na produtividade final da cultura. Contudo, essas avaliações encontram dois problemas, um de ordem construtiva e outro de ordem geográfica. O primeiro, pelo fato de diferentes regiões do Brasil e do mundo apresentarem os mais diversos tipos construtivos em função das necessidades locais. O segundo, é o fato de determinados ambientes protegidos com certas características construtivas (cobertura e fechamento lateral, por exemplo) não atenderem as necessidades de regiões com características climáticas diferentes. Assim, cada região geográfica com características climáticas peculiares e cada diferente modelo de ambiente protegido apresentará resultados também diferentes, não existindo, porém, uma regra geral para o uso desses ambientes.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar, ao longo do ciclo da cultura de pepino tipo salada cultivado simultaneamente em condição de ambiente protegido e a campo, em ciclos de outono-inverno e primavera-verão elementos agrometeorológicos, tais como: componentes da radiação solar (global, refletida, difusa, radiação fotossinteticamente ativa e saldo de radiação), temperatura do ar e do solo, fluxo de calor no solo, velocidade do vento, partição do balanço de energia em fluxos de calor latente de evaporação e fluxos de calor sensível, assim como, os indicadores de crescimento da cultura, a citar, área foliar e índice de área foliar, produtividade e matéria seca. Objetivou ainda relacionar os indicadores de crescimento e produtividade da cultura com elementos agrometeorológicos, entre eles, o saldo de radiação e a radiação fotossinteticamente ativa.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Vantagens e desvantagens do uso de ambiente protegidos**

Pode-se definir um ambiente protegido como sendo uma estrutura coberta e abrigada artificialmente com materiais transparentes, para a proteção das plantas contra a ação dos agentes meteorológicos exteriores, permitindo em seu recinto o desenvolvimento de culturas em todo o seu ciclo vegetativo (Carmeño, 1990).

Estima-se que no Brasil a superfície coberta por ambientes protegidos (casas de vidro e polietileno de baixa densidade - PEBD) é de aproximadamente 1000 ha, sendo utilizadas para cultivos e produção de plantas ornamentais, hortaliças e mudas das mais variadas espécies de plantas. Na área científica, a utilização de ambientes protegidos ocupa um espaço de, aproximadamente, 40 ha (Oliveira, 1995).

As vantagens de utilização desses ambientes protegidos ou semi-protegidos são muitas, dentre elas: maior proteção contra fenômenos meteorológicos adversos (geadas e granizo), excesso de chuva, altos níveis de radiação solar durante o dia e queda de temperatura à noite; proteção do solo contra lixiviação; redução dos custos com fertilizantes e defensivos, e, ainda melhor controle de pragas e doenças. O cultivo de plantas ornamentais e hortaliças em ambientes protegidos está expandindo-se, com o objetivo de se obter maior produtividade, melhor qualidade, e barateamento do produto durante a entressafra. A produtividade nesses ambientes excede sensivelmente as que se obtém a campo. Esse aumento de produção é duas a três vezes maior, já que as culturas não sofrem influência dos fatores negativos quando a céu aberto (Oliveira et al., 1992). Porém, nem tudo são vantagens, ainda esses autores destacam algumas desvantagens do uso de ambientes protegidos, dentre elas: manutenção e conserto são muito onerosos; em seu interior pode ocorrer valores de temperatura muito elevados ao longo do dia; nos meses mais quentes (dezembro, janeiro e fevereiro) altas temperaturas associado a altos valores de umidade podem levar a formação de verrugas sobre as folhas, necrosando o tecido; doenças no solo e foliares são mais agressivas e difíceis de serem tratadas, em alguns casos é necessário a mudança do local do ambiente protegido a cada intervalo de 2 anos; pragas atacam plantas que normalmente são hospedeiras no campo; aumento de pragas, insetos e ácaros o ano todo; falta de inimigos naturais para o controle; resistência por parte das pragas ao controle químico; dificulta a presença de agentes polinizadores, entre outras.

## 2.2 Aspectos gerais da cultura de pepino

O rendimento da cultura de pepino cultivado a campo no Brasil, é ainda muito reduzido, estando em 1,6 kg m<sup>-2</sup> para pepino conserva e, 2,5 a 8,0 kg m<sup>-2</sup> para pepino tipo salada (Silva et al. 1992, Epagri, 1993). Para as condições de cultivo em ambientes protegidos os rendimentos encontram-se entre 15 a 30 kg m<sup>-2</sup> (Alfonso Osorio et al., 1984; Robles, 1985; Martins et al., 1995).

A cultura do pepino requer umidade relativa entre 70 a 90%, sendo exigente em altos valores de luminosidade, principalmente na fase de floração. Para uma germinação mais rápida e uniforme necessita temperaturas de solo entre 25 °C e 30 °C, com limite mínimo inferior de 12 °C. Com relação a temperatura do ar, requer para crescimento ótimo, 20 °C a 25 °C durante o dia e, 18 °C a 22 °C durante a noite; com temperaturas médias diárias inferiores a 12 °C as plantas ficam amarelecidas e cessa o crescimento. Também requer temperaturas altas na fase de maturação de frutos, com ótimo de 25 a 30 °C para seu desenvolvimento, que associadas a condição de dias longo, induzem o surgimento de flores masculinas (Castilla, 1990; Epagri, 1993; Sganzerla, 1995).

Para a condição de plantas tutoradas em ambientes protegidos, recomenda-se espaçamentos de 0,4 m entre plantas na linha e, 0,7 m entre linhas (Robles, 1985; Blom et al., 1988; Martins et al., 1995). Mendonza (1982), estudando a floração em pepino, averiguou que a umidade do solo é um fator promotor de florescimento de flores do sexo feminino, sendo que a baixa umidade do solo acelera o aparecimento de flores estaminadas, enquanto a alta umidade do solo favorece o aparecimento de flores pistiladas.

Tan et al. (1983), ao estudar a influência do estresse na cultura do pepino tipo conserva sob condições de campo, verificaram que o crescimento do fruto, especialmente em altas densidades de plantio, é diretamente dependente da irrigação existente. Segundo Vieira et al. (1992), a temperatura basal para o cultivo do pepino para todo o ciclo é de 8 °C e as somas térmicas foram de 710 graus-dia. Ainda segundo esses autores, a temperatura do ar parece não ser o único parâmetro determinante da duração do ciclo desta cultura.

Calheiros (1992), estudando sistema radicular de culturas em solos glei pouco húmico, em Londrina-PR, apresentou resultados do sistema radicular da cultura de pepino, mostrando que cerca de 96% das raízes concentram-se na camada de 0 a 0,3 m.

### **2.3 Saldo de radiação em ambientes protegidos**

O saldo de radiação representa a energia disponível aos processos físicos e biológicos que ocorrem na superfície terrestre. Essa energia é a diferença entre os fluxos totais da radiação incidente e a “perdida” (emitida e/ou refletida) por uma superfície, sendo medida, geralmente, em um plano horizontal. Ao longo do dia, nas horas de brilho solar, o saldo de radiação em uma superfície qualquer tende a ser positivo, pois os fluxos incidentes (global e atmosférico) são superiores as frações refletidas e emitidas, por outro lado, durante a noite os valores do saldo de radiação tendem a serem negativos, pois o fluxo incidente passa a ser somente atmosférico e, a energia emitida pela superfície tende a ser superior a este, resultando em um saldo de radiação negativo (Geiger, 1961, Monteith, 1973, Pezzopane et al., 1995).

Para as condições de ambiente protegido os valores de saldo de radiação tendem a ser menores que a campo, devido a absorção e reflexão de uma fração da radiação direta pelo polietileno, contudo em condições de saldo de radiação negativo (noite) os valores a campo tendem a serem mais negativos, ou seja, maiores perdas de energia para a atmosfera que o ambiente protegido devido, justamente, a contra-irradiação do polietileno que impede a passagem do componente da radiação de onda longa. Segundo Tapia (1981) e Robledo de Pedro & Vicente (1988), o PEBD (polietileno de baixa densidade) apresenta transmissividade de onda longa de até 80%, portanto a retenção de ondas longa seria pequena. Apesar da alta transparência, Buriol et al. (1993) afirma que em noites de temperaturas baixas, uma pequena redução nas perdas de energia podem ser significativas nas taxas de resfriamento do ar.

Figueiredo & Escobedo (1995), encontraram correlações entre a radiação solar global e o saldo de radiação em condições de campo e em ambiente protegido orientados no sentido norte-sul, cultivado com cultura de alface. Segundo esses autores pode-se estimar o saldo de radiação a campo ( $SR_{ca}$ ) e em ambiente protegido com uso dos modelos:  $SR_{ca} = 0,71 * G_{ca} - 53,65$  ( $r^2 = 0,99$ ),  $SR_{n-s} = 0,32 G_{ca} - 3,73$  ( $r^2 = 0,74$ ) e  $SR_{n-s} = 0,44 * SR_{ca} + 21,56$  ( $r^2 = 0,74$ ). Azevedo et al. (1997), concluíram que, para estudos de balanço de energia e estimativa de evapotranspiração potencial da cultura da videira, na região de Petrolina-PE, Brasil, pode-se estimar o saldo de radiação em função apenas da radiação solar global incidente com excelente precisão através da equação:  $SR_{ca} (W m^{-2}) = 0,64 * G (W m^{-2}) - 14,03$ , com erro padrão de estimativa de  $S_{y,x} = 25,4 W m^{-2}$ , para confiabilidade de 95%. Ainda esses autores obtiveram uma relação entre o saldo de radiação de onda curta e o saldo de radiação por meio do modelo:  $SR_{oc_{ca}} (W m^{-2}) = 0,78 * SR_{ca} - 6,12$ , com coeficiente de

determinação de 0,96 e erro padrão de estimativa de  $S_{y,x} = 30,5 \text{ W m}^{-2}$ , para  $n = 1.064$  pares de dados.

Galvani et al. (1998) obtiveram em ambientes protegidos orientados no sentido leste-oeste e norte-sul cultivadas com cultura de alface boa relação entre saldo de radiação ( $\text{W m}^{-2}$ ) em ambiente protegido e a campo a partir dos seguintes modelos:  $SR_{L-O} = 0,853 * SR_{ca}$  ( $r^2=0,93$ ) e  $SR_{N-S} = 0,828 * SR_{ca}$  ( $r^2=0,98$ ). Sentelhas et al. (2000) encontraram para as condições climáticas de Piracicaba-SP, sobre gramado uma relação de 0,57, ou seja, o saldo de radiação representa em termos energéticos 57% da componente da radiação global.

## **2.4 Radiação solar global em ambiente protegidos**

A 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). A radiação solar é usualmente monitorada com uso de piranômetros que são constituídos de conjuntos de termopares conectados em série para amplificação do sinal, resultando em uma força eletromotriz que dependerá da diferença de temperatura entre as junções de materiais diferentes (Dally et al., 1984). Piranômetros que se utilizam desta metodologia são conhecidos como de padrão secundário, pois resultam em um sinal elétrico que é convertido, através da constante ou fator de calibração daquele instrumento, em um valor de irradiância instantânea. Os piranômetros apresentam seus sensores protegidos por uma ou duas cúpulas de vidro que produz um “corte” na região espectral do infravermelho de  $3,0 \mu\text{m}$ .

A densidade de fluxo da radiação solar no interior de ambientes protegidos é menor que a verificada a campo devido a reflexão e absorção do material da cobertura plástica (Kurata, 1990; Prados, 1986). A absorção depende da composição química do material da cobertura. A reflexão é determinada pelas condições da superfície de cobertura (período de utilização e deposição de poeiras) e pelo ângulo de incidência da radiação solar sobre a cobertura (Montero et al., 1985). Nesse sentido, a reflexão pode variar em função da posição do sol, da inclinação da cobertura, da forma e da orientação geográfica da estrutura. Tanaka & Genta (1982), concluíram que quanto mais perpendicular for a superfície da cobertura a incidência da radiação solar, menor será a reflexão.

De acordo com sua coloração, opacidade ou transparência, os filmes plásticos se comportam diferentemente quanto a absorção, reflexão e transmissão das radiações de onda curta e longa (Robledo de Pedro & Vicente, 1988). Em alguns casos, havendo interesse em diminuir a penetração da radiação solar, podem ser utilizados plásticos coloridos ou pintados, para aumentar a reflexão e/ou absorção, o que é bastante comum na floricultura (Gonzales, 1985). Borsatto et al. (1999) trabalhando com filmes de PVC (polivinilclorídrico) transparente e azul de 150 micra de espessura, tratados contra raios ultra violeta, obtiveram para o PVC transparente uma atenuação de 35, 40 e 30% para radiação global, radiação fotossinteticamente ativa e luminosidade, já o PVC azul apresentou atenuação de 29, 28 e 15%, respectivamente. Ainda esses autores encontraram uma relação entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global da ordem de 36,9 e 40,4% para o PVC azul e PVC transparente, respectivamente. Esta diferença, segundo os autores, está associada a maior reflexão do PVC azul aos comprimentos de onda na faixa espectral de 500 nm. Grodzky et al. (1991) obtiveram para Curitiba, PR, resultados que permitem afirmar que a

radiação solar total recebida é interceptada pelo polietileno em 40%, não afetando, porém, o desenvolvimento das plantas em seu interior.

Farias et al. (1993), observaram que em média 83% da radiação solar verificada a campo, ao redor das 12 horas, penetrou para o interior do ambiente protegido, variando este percentual entre 65 a 90%. Ainda estes autores mostram que a maior transmissividade da cobertura plástica a componente global ocorreu entre 14 e 16 horas (93%), sendo menor nos horários de menor elevação solar (52 e 77%, para as 7 e 17,5 horas, respectivamente), mostrando que a transmissividade varia, também, em função do ângulo de incidência da radiação solar.

Mastekbayeva & Kumar (2000), avaliando a transmissividade do polietileno de 200 micra de espessura em ambiente protegido submetidas a deposição de fumaça com partículas variando entre 53 a 75  $\mu\text{m}$  e diferentes camadas de acumulação, concluíram que a transmissividade do polietileno em estudo não se alterou em função de acréscimos nos níveis de irradiância (200 a 800  $\text{W m}^{-2}$ ) e, sim em função do número de dias de exposição do material e do acúmulo de fuligem sob o polietileno. Ainda esses autores propõem um modelo de estimativa da redução da transmissividade ( $\Delta\tau$ ) em função do acúmulo de fuligem ( $\rho d$ , em  $\text{g m}^{-2}$ ) a partir do modelo logarítmico:  $\Delta\tau=23,27*\ln(\rho d) - 23,25$  ( $r^2 = 0,975$  e  $5 \leq \rho d \leq 15$ ).

Baille & Baille (1990), em estudos sobre influência de diferentes estruturas na transmissão da radiação solar definiram dois critérios para classificar a eficiência térmica de um ambiente protegido: em primeiro, alta transmissividade da radiação solar durante o período do inverno e, em segundo, a homogeneidade de distribuição da luminosidade em seu interior. Faria Junior (1997) estudando a transmissividade do polietileno

em ambiente protegido do tipo arco e tipo capela encontraram para dias de céu encoberto valores de 79,7 e 81,2% para o ambiente protegido do tipo arco e tipo capela, respectivamente. Em dias de céu parcialmente encoberto a transmissividade variou entre 71,9 e 73,2 para o ambiente protegido do tipo arco e tipo capela, respectivamente.

Giacomelli et al. (1988), estudando a relação entre a transmissão da radiação solar total (285 a 2800  $\eta\text{m}$ ) e a transmissão da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) (400 a 700  $\eta\text{m}$ ), em ambiente protegido tipo arco coberto com filme duplo de polietileno, observaram que a transmitância através do polietileno foi de 64,7% para a radiação total e 67,1% para a RFA. Ao nível das plantas, no interior do ambiente protegido, a RFA disponível correspondeu a 44,8% daquela obtida a campo, representando uma redução de 33% em relação à radiação que atravessou a cobertura em função do sombreamento causado pela estrutura e sistemas internos de controle ambiental.

## **2.5 Temperatura do ar e do solo e umidade do ar**

Camacho et al. (1995) observaram nas condições climáticas de Capão do Leão-RS, que o maior efeito da cobertura de polietileno (100  $\mu\text{m}$ ) sobre a temperatura do ar ocorreu em seus valores máximos, verificando valores superiores em condição de ambiente protegido. Sobre a temperatura mínima encontraram valores inferiores em condição de ambiente protegido, entre os meses de junho e outubro, denotando a incapacidade do abrigo em proporcionar um adequado armazenamento de energia, o que foi atribuído a grande transparência do material de cobertura às radiações de ondas longa. Em estruturas semelhantes Buriol et al. (1993), constataram diferenças significativas entre as temperaturas mínimas nas

condições de ambiente protegido e campo, com 1,2 °C superiores na condição de ambiente protegido.

Faria Jr. (1997) em Ilha Solteira-SP, durante o período de verão verificou que os valores de temperatura máxima foram mais elevados nos ambientes protegidos que em condição de campo (entre 3 e 5 °C). Em relação às temperaturas mínimas, as diferenças foram muito pequenas (0,3 °C) entre os ambientes protegidos e a testemunha sem proteção plástica. Observaram ainda que os valores de umidade relativa do ar foi superior em condição de ambiente protegido.

Al-Riahi et al. (1989), trabalhando com ambiente protegido tipo túnel, cultivado com cultura de pepino em Bagdá, Iraque, verificaram valores médios mensais de temperatura do ar sempre superior no ambiente protegido (em média 1,1 a 3,2 °C). Ainda esses autores estabeleceram relações entre a radiação solar global, o saldo de radiação e o saldo de radiação de ondas curtas nas condições de ambiente protegido e a campo, concluindo ser possível estimar os componentes no ambiente protegido (global, saldo de radiação e saldo de radiação de ondas curtas) a partir da radiação solar global medida a campo.

Herter & Reisser JR. (1987), estudando o microclima formado no interior de ambiente protegido modelo capela, na região de Pelotas, RS, constataram que a variação da temperatura noturna apresentou valores muito próximos, no ambiente protegido e a campo, com diferença maior no ambiente protegido (0,1 a 0,8 °C). Com relação as temperaturas máximas encontraram diferenças da ordem de 4,0 a 4,3 °C superiores no ambiente protegido. Estudando perfis horizontais de temperatura verificaram valores decrescentes da parte central para as laterais, enquanto que, os perfis verticais os menores valores foram encontrados junto ao solo.

Martins (1992), encontrou em ambiente protegido (modelo capela), durante o verão, em Jaboticabal, SP, maiores valores de temperatura máxima nesse ambiente, porém houve pequeno efeito da cobertura na temperatura mínima e na umidade relativa do ar. A amplitude térmica foi menor no ambiente protegido, quando comparada àquela obtida a campo. De acordo com observações de Farias et al. (1993), os valores de temperatura e umidade relativa do ar, verificados no interior de um ambiente protegido (tipo capela), localizada em Capão do Leão, RS, e aqueles da condição de campo, ficaram bastante próximos. Os maiores efeitos da cobertura plástica ocorreram sobre as temperaturas máximas, resultando em valores médios decendiais superiores em 1,2 a 4,4 °C que aqueles obtidos em condição de campo. Para os valores médios, entre os ambientes, os valores de temperatura mínima do ar apresentaram-se muito próximos.

## **2.6 Coeficiente de reflexão de culturas**

Uma parte da radiação solar direta incidente sobre um meio é refletida na forma de ondas curtas. Essa radiação refletida ( $R\uparrow$ ) é representada no balanço de radiação pelo coeficiente de reflexão ( $\alpha$ ), também chamado de reflectância (Azevedo et al., 1997).

Um dos fatores que promove variação nos valores do coeficiente de reflexão de uma superfície é o ângulo de elevação solar, assim no início do dia e final da tarde devem ocorrer os maiores valores do coeficiente de reflexão e, na passagem meridiana os menores valores (Kuhn, et al. 1977). A variação do coeficiente de reflexão sobre determinada superfície relaciona-se, ainda, com o tipo de cobertura do solo e da sua umidade, da espécie cultivada, do ângulo de incidência dos raios solares (época do ano e hora do dia) e do tipo e da

quantidade de irradiância (Stanhill et al., 1968; Willis, 1971; Blad & Baker, 1972; Leitão et al., 1990). Valores típicos de coeficiente de reflexão de superfícies são apresentados por Fritschen, 1967; Davies & Buttamor, 1969; Blad & Baker 1972 e Azevedo et al., 1990.

## **2.7 Balanço de Energia**

O conhecimento da evapotranspiração ou fluxo de calor latente de evaporação (LE), contribui para um planejamento racional da técnica de irrigação e, fornece juntamente com outros parâmetros, subsídios básicos a regionalização das áreas com condições mais adequadas ao desenvolvimento de determinadas espécies vegetais. Além disso, a avaliação da quantidade de água exigida por determinada cultura torna-se ainda mais importante, principalmente em condições de tropicalidade, onde as fases críticas de desenvolvimento vegetativo, florescimento e conseqüentemente produtividade são mais limitados pelo fator hídrico.

Inúmeros são os trabalhos apresentados na literatura que tratam da partição do balanço de energia sobre as mais diversas culturas em condição de campo, desnecessário se faz descrevê-los extensivamente: Villa Nova, 1973; Villa Nova et al., 1975; Pedro Junior & Villa Nova, 1981; Nishimura et al., 1985; Alfonsi et al. 1986; Prates et al., 1987; Fontana et al. 1991; Bergamaschi et al. 1988; Azevedo et al. 1989; Oliver & Sene 1992; Yang, 1995; Cunha, et al. 1996 e Jaeger & Kessler 1997. Para as condições de ambiente protegido encontramos Galvani et al. 1997 e Frisina, 1998.

## 2.8 Relação entre elementos meteorológicos e índice de área foliar de culturas

A interação entre as plantas (genótipos) e o ambiente (fatores climáticos e edáficos) condiciona a produção agrícola em determinada região. Pode-se afirmar que a produção vegetal está diretamente relacionada com o aproveitamento da energia solar pela cultura, transformada em energia química durante o processo fotossintético (Leme et al., 1984) sendo as folhas principais responsáveis por esta conversão.

A variação do índice de área foliar durante o ciclo de determinada cultura é um dado importante para a determinação da data de semeadura e transplante. Não se considerando a intervenção de outros fatores, as culturas devem ser semeadas de modo que os valores máximos do índice de área foliar (IAF) coincidam com a época de elevada radiação, quando a fotossíntese líquida será máxima. A área foliar e, conseqüentemente, o índice de área foliar (IAF) foram definidos inicialmente por Watson (1947a, 1947b) e representam a unidade de área de folhas por unidade de área de terreno sendo, portanto, adimensional. Sua variação durante todo o ciclo de uma cultura é de extrema importância para que se possa modelar o crescimento (aumento em massa ou volume de certo órgão ou planta como um todo, dentro de um intervalo de tempo) e o desenvolvimento (aparecimento de uma fase da planta) das plantas e, em conseqüência, a produtividade e a produção total da cultura (Teruel, 1995). O autor, trabalhando com modelagem de IAF em cultura de cana-de-açúcar irrigada, ajustou modelos exponenciais potenciais do tipo  $Y = a \cdot x^b \cdot e^{c \cdot x}$ , em que x representa o somatório de graus/dia ao longo do ciclo da cultura. Teixeira et al. (1997) propuseram equações de estimativa de índice de área foliar em cultura de videira, nas condições de Petrolina, PE, a partir da relação entre o saldo de radiação e radiação fotossinteticamente ativa monitorados acima (SRs e RFAs) e

abaixo (SRi e RFAi) do dossel da cultura:  $SRi/SRs = -0,63.IAF+0,96$  e  $RFAi/RFA_s = -0,411.IAF + 0,93$ .

Folegatti et al. (1997) em trabalhos com cultura de crisântemo nas condições climáticas de Arthur Nogueira, SP, objetivando conhecer o IAF diário a partir de amostras obtidas em intervalos de 15 dias, estabeleceram a seguinte relação entre IAF e dias após o plantio (DAP):  $IAF = 0,0705.DAP$ . Caseiro et al. (1997) em Santo Antônio do Leverger, MT, obtiveram, em cultura de milho, relações entre altura de plantas (A), IAF e dias após a sementeira (DAS) como segue:  $IAF = -2,138+0,17.DAS - 0,00126.DAS^2$  e  $A = -42,042+7,327.DAS - 0,042.DAS^2$ .

Yang et al. (1990) relacionando comprimento (L), largura (W) e área foliar (LA) em folhas da cultura de pepino, obtiveram o seguinte modelo:  $LA = 0,739.L.W - 0,00104$ . A partir de valores de LA encontraram modelos para estimar o IAF em função da altura (h) da cultura:  $LAI = 0,886.h - 0,0965$  ( $r^2 = 0,99$ ). Foram encontrados, ainda, outros trabalhos relacionando IAF e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e taxa de crescimento (Bruggink & Heuvelink, 1987; Bruggink, 1987), acúmulo de matéria seca (Heuvelink & Marcelis, 1989), taxa de crescimento e PAR da difusa (Heuvelink & Chala, 1989; Nederhoff & Schapendonk, 1985; Botnar & Chichkin, 1989) e outros (Hodges & Kanemasu, 1977; Hodges et al., 1979).

França et al. (1999) estudando crescimento da cultura de milho obteve relações entre o acúmulo de graus-dia e matéria seca e índice de área foliar. Ainda esses autores apresentam modelos de estimativa de matéria seca acumulado ao longo do ciclo em função da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelo dossel da cultura, em manejo com irrigação e sem irrigação. Ainda em 1999, Villa Nova et al., obteve modelo de estimativa

de produção de matéria seca em capim elefante CV. Napier em função de unidades fototérmicas com coeficientes de correlação da ordem de 0,97.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Campo experimental**

Após levantamento plani-altimétrico do local e liberação da área experimental por meio da diretoria da FCA/UNESP-Botucatu, procedeu-se a terraplanagem e nivelamento através de cortes e aterro da área experimental. A terraplanagem foi efetuada entre os dias 16 a 19 de março de 1998, constituindo uma área de 40x80 m, num total de 3.200 m<sup>2</sup>. A demarcação do norte geográfico foi realizada com auxílio de um teodolito, considerando uma declinação magnética de 18°22' W para o ano de 1998. O campo experimental encontra-se nas seguintes coordenadas geográficas: latitude 22° 51' sul; longitude 48° 26' oeste e, altitude 786 metros. A área apresenta amplo horizonte livre (no mínimo 200 metros) minimizando a interferência de objetos situados próximos a área experimental (Figura 1).

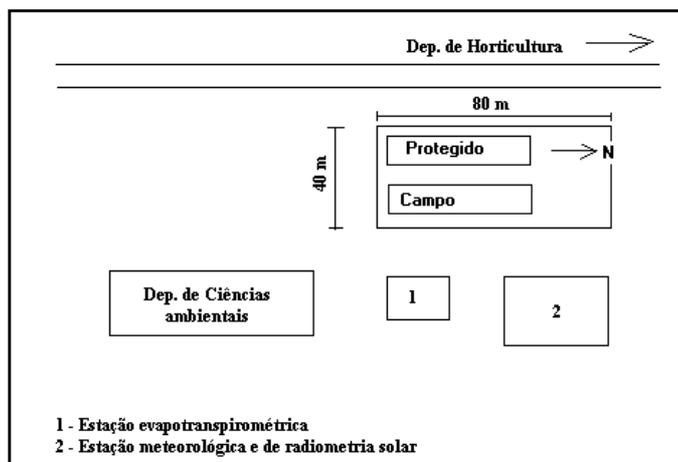


Figura 1: Planta baixa da área pertencente ao Departamento de Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agrônomicas/UNESP e delimitação da área experimental.

O ambiente protegido construído foi do tipo arco não climatizado com área de  $280 \text{ m}^2$ , sendo 7 m de largura, por 40 m de comprimento, com laterais a 2,2 m acima do nível do solo e arco central de 4 m (Figura 2). O polietileno utilizado apresenta espessura de  $120 \text{ }\mu\text{m}$  e as laterais de sombrite a 50%. O ambiente protegido foi orientado, predominantemente, no sentido norte-sul geográfico. A 15 m de distância foi montado a área externa com mesmas dimensões que o ambiente protegido.

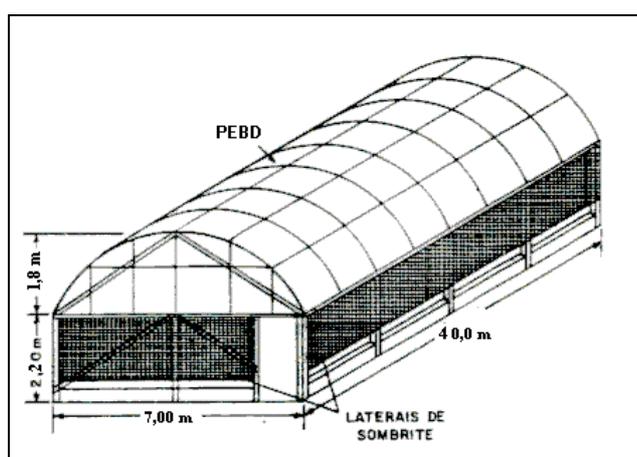


Figura 2: Esquema representativo do ambiente protegido.

O solo na área experimental é do tipo Latossolo Vermelho Eutrófico, horizonte A moderado, textura média (EMBRAPA, 1999). No Quadro 1 encontram-se as características físicas do solo.

Quadro 1: Características físicas do solo para os diferentes horizontes.

Profundidade (cm)	Granulometria (%)		
	Areia	Argila	Silte
0-20	60,07	29,35	10,58
20-40	61,12	31,35	7,53
40-60	61,36	28,45	10,19

Os valores de densidade global foram obtidos através do método do anel volumétrico. As amostras foram tomadas a cada 0,10 m até a profundidade de 0,3 m. No Quadro 2 encontram-se os valores de densidade global nos pontos de amostragem.

Quadro 2: Valores de densidade global obtidos para ambos os ambientes.

Local	Profundidade (cm)	Densidade global (g cm <sup>-3</sup> )
Canteiros – protegido	00 – 10	1,40
	10 – 20	1,68
	20 – 30	1,83
Canteiros – campo	00 – 10	1,19
	10 – 20	1,48
	20 – 30	1,51

O plantio das sementes e preparo das mudas para o primeiro ciclo foi efetuado junto ao departamento de Ciências Florestais da FCA, UNESP-Botucatu, sendo preparadas em bandejas de estiropor de 128 células, com substrato PLANTMAX, perfazendo um total de 1408 plantas. A semeadura foi realizada em 15 de abril de 1998 e transplântio realizado em 13/05/98 com término do ciclo em 10/09/98, com uma duração de 121 dias sendo denominado de ciclo de outono-inverno. Para o segundo ciclo o plantio das sementes e preparo das mudas foi efetuado junto ao Fazenda Experimental São Manuel da FCA, UNESP-

Botucatu. A semeadura foi realizada em 22 de outubro de 1998 e transplante em 09 de novembro de 1998 com término em 10/02/99 com duração de 103 dias.

A variedade utilizada foi a Hokuroo (pepino Japonês - tipo salada de crescimento indeterminado). A escolha desta variedade justifica-se por esta apresentar elevado valor comercial, permitindo uma relação custo benefício favorável para o seu cultivo em ambiente protegido, principalmente no período de entressafra (inverno). O espaçamento em ambas as condições foi de 0,3 m entre plantas na linha e 0,7 m entre linhas no canteiro.

### 3.2. Instrumental utilizado

O conjunto de sensores para medidas de radiação solar utilizados no experimento encontram-se representados no Quadro 3 com seus respectivos fatores de calibração.

Quadro 3: Sensores de radiação solar e fluxo de calor no solo e seus respectivos fatores de calibração.

Ambiente protegido		Condição de campo	
Sensor	Constante	Sensor	Constante
Global (*)	8,760 $\mu\text{V m}^2 \text{W}^{-1}$	Global (***)	8,130 $\mu\text{V m}^2 \text{W}^{-1}$
Difusa (*)	17,968 $\mu\text{V m}^2 \text{W}^{-1}$	Difusa (***)	8,170 $\mu\text{V m}^2 \text{W}^{-1}$
Refletida (*)	17,183 $\mu\text{V m}^2 \text{W}^{-1}$	Refletida (***)	14,437 $\mu\text{V m}^2 \text{W}^{-1}$
Saldo Radiação (**)	9,14 $\text{W m}^{-2} \text{mV}^{-1}$	Saldo Radiação (**)	13,5 $\text{W m}^{-2} \text{mV}^{-1}$
Fluxímetros (**)	35,8 $\text{W m}^{-2} \text{mV}^{-1}$	Fluxímetros (**)	36,2 $\text{W m}^{-2} \text{mV}^{-1}$

(\*) Equipamentos montados e calibrados no laboratório de climatologia da FCA/UNESP.

(\*\*) Fabricante REBS (Radiation Energy Budget Systems, INC).

(\*\*\*) Fabricante EPPLEY.

Os sensores que foram montados e calibrados no laboratório de climatologia da FCA/UNESP foram calibrados fazendo uso da seguinte expressão:

$$K_P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{S_P}{S_S} * K_{EPPLEY} \quad (1)$$

onde:  $K_p$  é o fator de calibração radiômetro protótipo;  $S_s$  é o sinal (mV) do sensor de referência;  $S_p$  é o sinal (mV) do sensor protótipo;  $K_{EPLY}$  é o fator de calibração sensor de referência e  $n$  é o número de observações.

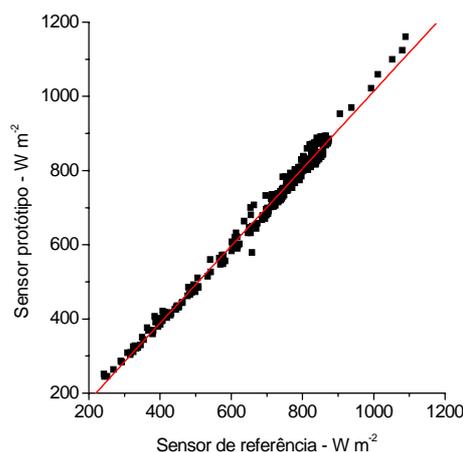


Figura 3: Comparação entre valores obtidos pelo sensor de referência (EPLEY PSP) e o sensor protótipo.

O fator de calibração obtido para o sensor protótipo 4 (Figura 3) que foi utilizado para monitoramento da radiação solar global em ambiente protegido foi de  $8,760 \mu\text{V m}^2 \text{W}^{-1} (\pm 0,0121)$ .

Os valores de radiação solar difusa foram monitoradas com auxílio de anel de sombreamento, sendo estes valores corrigidos em função do fator de correção (FC) que é função das dimensões do anel (raio e largura), da latitude do local, da declinação solar e do ângulo horário. Utilizando-se das dimensões do anel: raio = 40 cm, largura = 10 cm e a da latitude de Botucatu-SP =  $22^\circ 51' \text{ S}$ , obteve-se os fatores de correção apresentados no Anexo 1. A descrição da metodologia de obtenção do fator de correção encontra-se em Melo & Escobedo (1993).

Os fluxímetros têm como objetivo determinar os ganhos e perdas de energia do solo indicando valores positivos quando o fluxo é da superfície para o solo e, negativo quando o fluxo é no sentido do solo para a atmosfera. Foram instalados dois fluxímetros, um no ambiente protegido e outro a campo, com fatores de calibração fornecidas pelo fabricante foi de  $35,8 \text{ W m}^2 \text{ mV}^{-1}$  e  $36,2 \text{ W m}^2 \text{ mV}^{-1}$ , respectivamente. Os fluxímetros foram instalados a 0,02 m de profundidade em ambas as condições.

A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) foi obtida a partir da relação com a PAR medida na estação de radiometria solar de Botucatu, SP, em um período de dois meses, a partir do modelo:

$$\text{PAR}_{\text{pt}} = 0,7483 * \text{PAR}_{\text{ca}} - 0,0504 \quad (r^2 = 0,993) \quad (2)$$

Diante da necessidade de monitorar a temperatura do ar (bulbo seco e úmido) em níveis distintos em ambiente protegido e a campo e não dispondo de sensores eletrônicos suficientes para isso, procedeu-se o monitoramento da temperatura do ar através de conjuntos de termopares. Os termopares destinaram-se a medir as temperaturas (junções seco e úmido) em três níveis, em ambiente protegido e a campo. Foram construídos um total de 12 termopares, com junções de cobre-constantan (tipo T), sendo 6 conjuntos (3 junções seco e 3 úmido) para o ambiente protegido e 6 conjuntos para a condição de campo. Os termopares com junções de cobre-constantan apresentam uma constante termoelétrica de  $41 \mu\text{V } ^\circ\text{C}^{-1}$  (Ramos et al., 1986). Os termopares utilizaram como temperatura de referência ( $T_{\text{ref}}$ ) a temperatura monitorada com sensores eletrônicas CAMPBELL Inc.

Com os valores de temperatura das junções seca e úmida (mantida úmida por meio do seu envolvimento por um tecido de algodão embebida em água destilada), obteve-se através de relações psicrométricas os valores de umidade relativa do ar:

$$e_s = 0,6108 * 10^{\left[ \frac{7,5 * t_s}{237,5 + t_s} \right]} \quad (3)$$

$$e = e_{su} - \left[ P * A * (t - t_u) \right] \quad (4)$$

$$e_{su} = 0,6108 * 10^{\left[ \frac{7,5 * t_u}{237,5 + t_u} \right]} \quad (5)$$

$$UR = \frac{e}{e_a} * 100 \quad (6)$$

Onde: **es** é a tensão de saturação a temperatura de junção úmida (kPa); **e** é a tensão atual (kPa); **es** é a tensão de saturação a temperatura de junção seca (kPa); **P** é a pressão atmosférica local (kPa) e **A** constante psicrométrica para psicrômetro com ventilação natural ( $8,0 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ).

Após a construção dos termopares ambos foram submetidos a testes de  $0^\circ\text{C}$  e  $100^\circ\text{C}$ , para tanto utilizou-se gelo fundente e água em ebulição, respectivamente. Os valores obtidos foram em média  $+0,3 \text{ } ^\circ\text{C}$  e  $99,8 \text{ } ^\circ\text{C}$ , para o pontos de gelo fundente e água em ebulição, respectivamente. Em seguida os termopares foram instalados em micro abrigos apresentados na Figura 4.

Os micro abrigos foram fixados em cano de PVC de  $\frac{1}{2}$ " e apoiados a uma barra de cano de aço galvanizado de 2", com 3,5 m de altura, permitindo durante a realização do experimento obter medidas acima do dossel da cultura e, a partir destas as determinações dos fluxos de calor latente e sensível. Os micro-abrigos contendo os termopares foram mantidos em ambos os ciclos de cultivo e ambientes eqüidistantes em 0,5 m acima do dossel da cultura, assim, a medida que a cultura se desenvolvia os abrigos foram sendo

elevados eqüidistantes em 0,5 m acima do dossel. Ao final de ambos os ciclos de cultivo e ambientes os micro-abrigos encontravam-se instalados a 2,5, 3 e 3,5 m acima do solo.



Figura 4: Conjunto de micro-abrigos instalados na área de teste.

Os sensores de temperatura do solo foram do modelo 107B e as temperaturas foram obtidas por meio da passagem de uma corrente elétrica com uso de termistores. Esses sensores apresentam intervalo de medidas entre  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Os sensores foram instalados a 0,1, 0,2 e 0,3 m de profundidade em ambos os ambientes.

A velocidade do vento no ambiente protegido foi monitorada com auxílio de sensor de pulso elétrico modelo 03101-5 da Campbell Scientific, Inc. O sensor funciona medindo uma frequência de ocorrência em Hz em função de uma velocidade de rotação do sensor (“canecas”), assim, para uma rotação de 1800 RPM obtém-se uma frequência de 30 Hz, que equívale a  $22,7\text{ m s}^{-1}$ .

Para a condição de campo a velocidade média a 10 m de altura foi obtida por intermédio de anemógrafo universal resultando em valores de vento em  $\text{km h}^{-1}$ , que foram transformados em  $\text{m s}^{-1}$ . Os valores médios diários obtidos a 10 m de altura foram convertidos para valores a 2 m de altura para que pudessem ser comparados, utilizou-se a seguinte relação (Pasquill, 1949):

$$\frac{V_n}{V_{10\text{ m}}} = \left( \frac{Z_n}{Z_{10}} \right)^{\frac{1}{7}} \quad (7)$$

Onde  $V_n$  é a velocidade do vento ao nível de 2 m,  $Z_n$  é altura para qual deseja-se converter a velocidade do vento. Manipulando a equação acima obtém-se a velocidade do vento a 2 m de altura por meio da equação:  $V_{2\text{m}} = V_{10\text{m}} * 0,7946$  (8)

### 3.3. Indicadores de crescimento e produtividade

Efetou-se, semanalmente, a avaliação da área foliar com auxílio de medidor de área foliar, a altura das plantas, a massa úmida e seca, o número de folhas e a produção de frutos (peso, diâmetro e comprimento). As medidas foram obtidas pela retirada de duas plantas em ambas as condições.

Para obtermos o Índice de Área Foliar utiliza-se a seguinte equação:

$$\text{IAF} = (\text{AF} * \text{NP})/\text{AT} \quad (9)$$

Onde: AF é a área foliar média de duas plantas; NP é o número de plantas na área considerada ( $6,6 \text{ plantas m}^{-2}$ ) e AT é a área total considerada ( $1 \text{ m}^2$ ).

Assim, o Índice de Área Foliar será expresso em  $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$ , ou seja,  $\text{m}^2$  de folhas por  $\text{m}^2$  de terreno.

A massa úmida da planta (raiz, caule, folha e frutos) foi obtida por meio de pesagem em balança de precisão imediatamente após a retirada da planta e, o peso seco após secagem em estufa até atingir peso constante com temperatura de 65°C. Para facilitar a obtenção do peso úmido, algumas plantas foram marcadas e numeradas, assim o peso dos frutos de cada planta que já foi retirado, poderá ser acrescentado ao peso úmido e seco final da planta.

### 3.4. Estimativa dos fluxos de calor latente e sensível

O cálculo do balanço de energia foi baseado no procedimento de Bowen (1926), descrito por Villa Nova (1973). Para isso considerou-se que: as medidas fossem efetuadas a uma baixa altura e dentro de área tampão suficientemente extensa, as divergências horizontais de calor latente e sensível são desprezíveis, ou seja considerou-se apenas o balanço vertical, os termos armazenamento de calor latente e sensível dentro da cultura também foram desprezíveis, a fração de energia utilizada em sínteses biológicas quase nunca ultrapassa 2% do saldo de radiação, a equação geral do balanço de energia pode ser descrita da seguinte forma:

$$\mathbf{SR + H + LE + FCS \cong 0} \quad (10)$$

Onde: **SR** é o saldo de radiação sobre a superfície; **H** é o fluxo convectivo de calor sensível; **LE** é o fluxo convectivo de calor latente (evapotranspiração) e **FCS** é o fluxo de calor no solo.

No cálculo do balanço de energia os fluxos que chegavam ao sistema (cultura de pepino), foram considerados positivos, enquanto os fluxos que saiam do sistema

foram considerados negativos. Assim, o topo da cultura e a superfície do solo foram considerados os limites, superior e inferior do sistema. Portanto, acima da cultura os fluxos ascendentes eram negativos e vice-versa e, no interior do solo os fluxos ascendentes eram positivos e vice-versa.

Os valores de H e LE foram estimados através da razão de Bowen e de acordo com teoria descrita por Villa Nova (1973):

$$\beta = \frac{1}{\left(\frac{S + \gamma}{\gamma}\right) * \left(\frac{\Delta T_u}{\Delta T} - 1\right)} \quad (11)$$

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (12)$$

em que:  $\Delta T_u$  e  $\Delta T$  representam os gradientes de temperatura de bulbo úmido e seco entre o nível superior e inferior.

Os valores de S e  $\gamma$  foram obtidos pelo modelo proposto por Murray (1967) e Brunt (1952), respectivamente, citados por Allen et al., 1998:

$$S = \frac{2504 \exp\left(\frac{17,27T}{T + 237,2}\right)}{(T + 237,3)^2} \quad (13)$$

$$\gamma = 0,00163 \frac{P}{\lambda} \quad (14)$$

Sendo T a temperatura média do bulbo seco ( $^{\circ}\text{C}$ ) entre os dois níveis de medidas ( $Z_1$  e  $Z_2$ ), P pressão atmosférica (kPa) adotado valor médio de 90,66 kPa para a região,  $\lambda$  calor latente de evaporação, obtido por  $\lambda = 2,501 - (2,361 * 10^{-3})T$  (Harrison, 1963, citado por Allen et al., 1998).

Conhecida a Razão de Bowen obteve-se os valores de LE e H, por:

$$LE = -\frac{(SR - FCS)}{(1 + \beta)} \quad (\beta \neq -1) \quad (15)$$

$$H = SR - LE - FCS \quad (16)$$

Procedeu-se a validação de estimativas do componente do balanço de energia, uma vez que os valores de H e LE são estimativas a partir de outros elementos, entre eles o FCS e o SR. Um método simplificado é estabelecer as relações entre o somatório do fluxo de calor latente e sensível (H + LE) e a energia disponível representado pelo somatório do saldo de radiação e o fluxo de calor no solo (SR + FCS).

Utilizando-se da metodologia apresentada obteve-se os valores de LE e H, que juntamente com os valores de SR e FCS, completam a partição do Balanço de Energia.

Convém lembrar que:

- \* H(-) = fluxo de calor sensível para a atmosfera;
- \* H(+) = fluxo de calor sensível para o sistema, contribuindo para o aumento da taxa de evapo(transpi)ração;
- \* LE (-) = fluxo de vapor (evapo(traspi)ração);
- \* LE (+) = condensação;
- \* FCS (-) = fluxo de calor para interior do solo;
- \* FCS (+) = fluxo de calor do interior do solo para a superfície.

### 3.5. Controle de irrigação

O controle de irrigação foi efetuado baseando-se em valores de evapotranspiração obtidos através de lisímetros de lençol freático constante instalados em condição de ambiente protegido e a campo. Um total de seis lisímetros (3 unidades no ambiente protegido 3 em condição de campo) dispostos entre as parcelas de cultivo, forneceram através da diferença entre duas leituras consecutivas os valores de evapotranspiração da cultura, que serão repostos no dia seguinte através de sistema de gotejamento instalado em ambas as condições. Desenvolveu-se um modelo de regressão linear entre vazão e tempo de abertura do sistema (Figura 5):

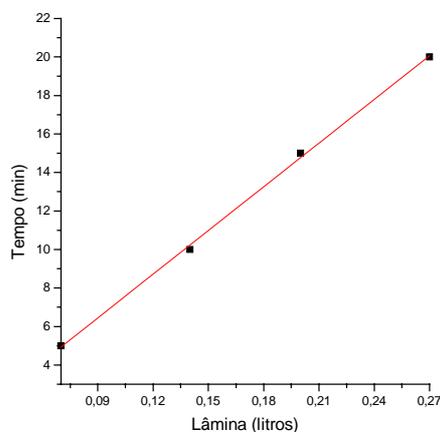


Figura 5: Relação lâmina ( $L m^{-2}$ ) de água aplicada em função do tempo (min).

$$\text{Tempo} = 9,461 * (L m^{-2}) \quad (17)$$

### 3.6. Estimativa dos componentes da radiação solar

A partir de valores de irradiância ( $\text{W m}^{-2}$ ) global ( $G\downarrow$ ) e refletida ( $R\uparrow$ ) determinou-se o albedo instantâneo da superfície ( $\alpha$ ) e o saldo de radiação de ondas curtas ( $SR_{oc}$ ) a partir da equação abaixo:

$$\alpha = \frac{R_{\uparrow}}{G_{\downarrow}} * 100 \quad (17)$$

$$SR_{oc} = G\downarrow - R\uparrow \quad (18)$$

O albedo médio para determinado dia, com  $n$  observações, foi obtido com leituras efetuadas entre as 8h e 16h a partir da média das leituras em intervalos de cinco minutos, pela equação:

$$\alpha = \sum_{i=8h}^{16h} \left( \frac{R_{\uparrow}}{G_{\downarrow}} \right)_i * \frac{1}{n} \quad (19)$$

Os valores de  $SR_{oc}$  instantâneos foram integrados ao longo do dia obtendo-se, assim, a energia diária em  $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . No cálculo do albedo foram considerados os valores instantâneos das observações entre 08h00min as 16h00min, período de maior ângulo de elevação solar.

Para determinação do saldo de radiação de ondas longa ( $SR_{ol}$ ) manipulou-se a equação geral do saldo de radiação:

$$SR = SR_{oc} + SR_{ol} \quad (20)$$

$$SR = (G\downarrow - R\uparrow) + SR_{ol} \quad (21)$$

$$SR_{ol} = SR - (G\downarrow - R\uparrow) \quad (22)$$

Obtendo-se assim o SRol instantâneo ( $W m^{-2}$ ) e integrado ao longo do dia ( $MJ m^{-2} dia^{-1}$ ).

### 3.7 Modelos de estimativa

A partir dos valores médios diários de albedo obtido ao longo do ciclo da cultura do pepino, ajustou-se as seguintes equações com distribuição normal.

Ciclo de primavera-verão (protegido e a campo) e ciclo de outono-inverno (protegido):

$$y = a + b \cdot \exp\left(-0,5 \cdot \left(\frac{x-c}{d}\right)^2\right) \quad (23)$$

Ciclo de inverno (campo):

$$y = a + b \cdot \exp\left(-0,5 \cdot \left(\frac{|x-c|}{d}\right)^e\right) \quad (24)$$

Onde a variável  $x$  representa o número de dias após o transplante (DAT), a variável  $y$  o - \*albedo médio diário da cultura ao longo do ciclo, e  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ , e  $e$  os coeficientes da equação.

A proporção total explicada pela regressão não linear foi avaliada em função do coeficiente de determinação ( $r^2$ ).

O saldo de radiação acumulado ( $MJ m^{-2} semana^{-1}$ ) ao longo do ciclo da cultura de pepino em ambos os ciclos e condições foi relacionado com a produtividade ( $kg m^{-2} semana^{-1}$ ) com uso do modelo logístico. Relacionou-se, também, a PAR ( $MJ m^{-2} semana^{-1}$ ) com a produtividade ( $kg m^{-2} semana^{-1}$ ) e com a matéria seca ( $g planta^{-1} semana^{-1}$ ). O uso deste modelo é justificado por apresentam como característica tendência de aumento dos valores

seguido de ponto de inflexão e valores constantes independentes do aumento dos valores da variável dependente ( $x$ ), ou seja, do aumento da energia disponível acumulada.

$$y = \frac{Y_{oo}}{1 + \exp \frac{-(x-c)}{d}} \quad (25)$$

Sendo:  $y$  a produtividade em  $\text{kg m}^{-2} \text{semana}^{-1}$ ;  $x$  o saldo de radiação acumulado em  $\text{MJ m}^{-2} \text{semana}^{-1}$ ; e  $Y_{oo}$ ,  $c$  e  $d$  os coeficientes ajustados pelo modelo.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Saldo de Radiação**

Para as condições de ambiente protegido (pt), os valores de saldo de radiação tendem a ser menores que a campo (ca), devido à absorção e reflexão de uma fração da radiação direta pelo polietileno; contudo em condições de saldo de radiação negativo (noite) os valores a campo tendem a ser mais negativos, ou seja, maiores perdas de energia que o ambiente protegido, devido justamente, a contra-irradiação do polietileno que impede a passagem do componente de onda longa. Para alguns autores (Tapia, 1981; Robledo de Pedro & Vicente, 1988), o PEBD apresenta transmissividade de onda longa de até 80%, portanto a retenção de onda longa seria pequena. Mesmo com alta transparência, Buriol et al. (1993) afirmam que em noites de temperaturas baixas, uma pequena redução nas perdas de energia pode ser significativa nas taxas de resfriamento do ar. Na Figura 6 podemos observar um

curva típica do saldo de radiação nas condições climáticas do outono em Botucatu, SP, em condição de ambiente protegido e a campo.

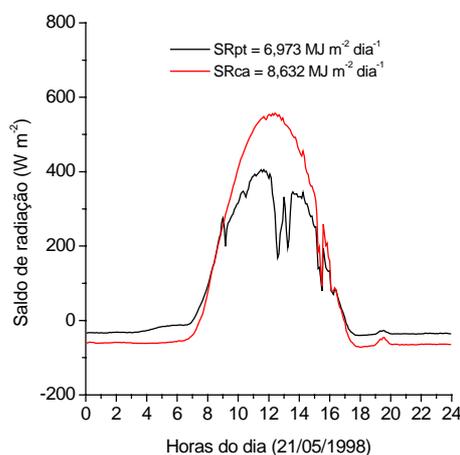


Figura 6: Curva de saldo de radiação para a data de 21 de maio de 1998, Botucatu, SP, em condições de ambiente protegido (SRpt) e a campo (SRca).

A irradiância máxima apresentada na Figura 6 ocorreu as 11h40min e 12h25min, com valores de  $405$  e  $557 \text{ W m}^{-2}$  nas condições de ambiente protegido e a campo, respectivamente. A irradiância de onda longa máxima foi de  $-40$  e  $-72 \text{ W m}^{-2}$ , ocorrendo as 17h55min e 18h00min nas condições de ambiente protegido e a campo, respectivamente, evidenciando diminuição significativa na emissão de onda longa no ambiente protegido.

Observa-se no Quadro 4 que a relação entre SRdiurno/SRnoturno foi de 17,5% para as condições de ambiente protegido e 26,1% para o campo. Essa relação inferior em ambiente protegido associa-se a contra-irradiação do polietileno que tende a devolver parte da energia emitida pela superfície. Ainda da Figura 6 podemos observar picos de menor irradiância resultado do sombreamento dos sensores pelos arcos metálicos do ambiente protegido. Podemos dizer que o ambiente protegido tende a diminuir a intensidade

de incidência de energia por unidade de área durante o período diurno e, também, as perdas por emissão durante o período noturno.

Quadro 4: Comparação entre valores de saldo de radiação obtido no período diurno (SRdiurno), noturno (SRnoturno) e total (SR), no ambiente protegido e a campo, para a data de 21/05/98.

Condição de campo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )		Ambiente protegido ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )	
Srdiurno	+11,684	SRdiurno	+8,450
SRnoturno	-3,052	SRnoturno	-1,477
SR	+8,632	SR	+6,973
SRnoturno/SRdiurno	26,1%	SRnoturno/SRdiurno	17,5%

A Figura 7 mostra as curvas de saldo de radiação para as condições de ambiente protegido e a campo no período de máximo crescimento vegetativo da cultura de pepino na data de 25 de dezembro de 1998. Para este dia observamos uma relação de 77,3% para o saldo de radiação. Observa-se ainda que em função da cobertura de céu a emissão noturna tende a ser próximo de zero para os dois ambientes, diminuindo o efeito da cobertura de polietileno nestas condições.

O saldo de radiação quantificado em intervalo de 15 segundos e com médias armazenadas a cada 5 minutos ao longo do dia e do ciclo de outono-inverno (10/05 a 10/09/98), foram integrados resultando em totais de  $693,68 \text{ MJ m}^{-2}$  e  $808,04 \text{ MJ m}^{-2}$ , nas condições de ambiente protegido e a campo, respectivamente.

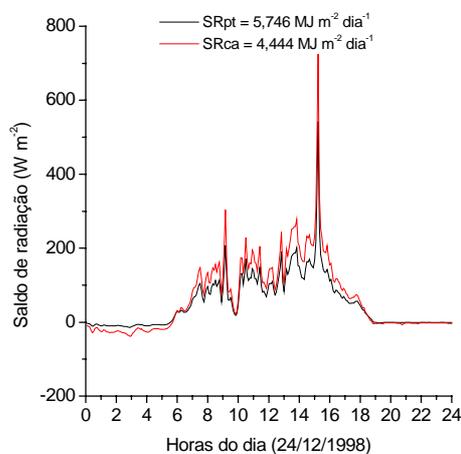


Figura 7: Curva de saldo de radiação para a data de 25 de dezembro de 1998, em Botucatu, SP, em condições de ambiente protegido (SRpt) e a campo (SRca), fase de máximo crescimento vegetativo da cultura de pepino em dia com condição de céu nublado.

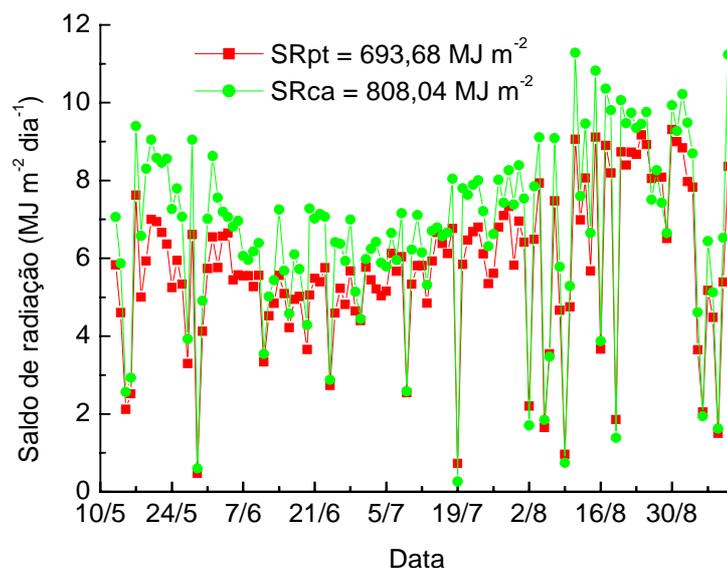


Figura 8: Variação de saldo de radiação ao longo do ciclo de outono-inverno na cultura de pepino em condições de ambiente protegido (SRpt) e a campo (SRca).

Observa-se na Figura 8 que em dias com baixa energia (dias nublados) que os valores de saldo de radiação tendem a ser mais elevados em condição de ambiente protegido (19/07; 02, 06, 09, 19, 26, 28/08 e 05/09), sendo explicado pelo fato desses dias a

emissão noturna ser menor neste ambiente, resultando portanto em valores menos negativos durante o período noturno, assim, o saldo total (valores positivos menos negativos) tendem a ser maiores nesse ambiente.

Ainda na Figura 8 observamos tendência dos valores de saldo de radiação a um valor mínimo nos meses de junho (final) e julho (início) e elevação a partir destas datas. Tal curva associa-se ao inverso da curva de declinação solar, mostrando nos mês de junho (solstício de inverno, 21 de junho) os mínimos de energia para essa latitude.

Relacionando os valores integrados ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) do saldo de radiação em condição de ambiente protegido a partir de medidas a campo (SRca) e a partir da radiação global a campo (Gca) e em ambiente protegido (Gpt), obteve-se os seguintes modelos (Figura 9 a, b e c):

$$\text{SRpt} = 0,362 + 0,804 * \text{SRca} \quad (r^2 = 0,93, n = 121)$$

$$\text{SRpt} = 0,055 + 0,427 * \text{Gca} \quad (r^2 = 0,85, n = 121)$$

$$\text{SRpt} = -0,251 + 0,636 * \text{Gpt} \quad (r^2 = 0,90, n = 121)$$

$$\text{SRpt} = 0,612 * \text{Gpt} \quad (r^2 = 90, n = 121)$$

$$\text{SRca} = 0,502 * \text{Gca} \quad (r^2 = 0,83, n = 121)$$

Os dois últimos modelos apresentados mostram a relação entre a radiação global e o saldo de radiação para as condições de ambiente protegido e a campo da ordem de 0,612 e 0,502, respectivamente. Sentelhas et al. (2000) em Piracicaba-SP obtiveram a relação 0,57 para condições de gramado. Observa-se que a campo em média o saldo de radiação representa 50,2% da radiação global e, em ambiente protegido esse valor é da ordem de 61,2%; tal diferença está associada a contra irradiação do polietileno à componente de radiação refletida e emitida pelo dossel da cultura.

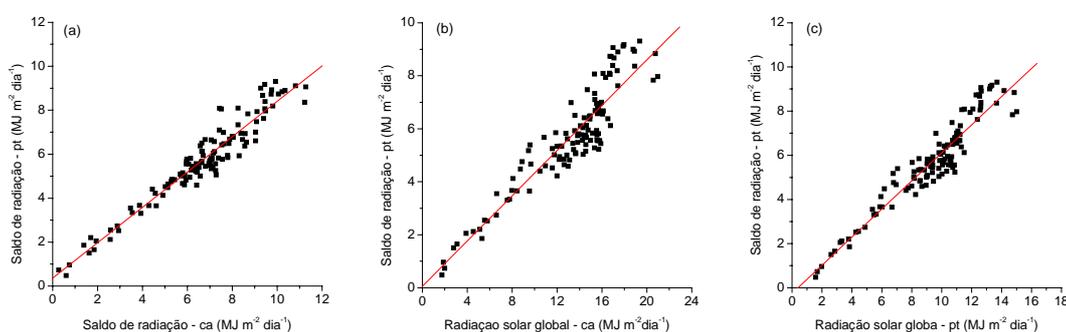


Figura 9: Relação entre saldo de radiação em ambiente protegido e a campo (a), saldo de radiação em ambiente protegido e radiação solar global a campo (b) e saldo de radiação e radiação solar global em ambiente protegido (c), valores diários integrados ao longo do ciclo de outono-inverno.

O saldo de radiação diário ao longo do ciclo de primavera-verão encontra-se representado na Figura 10. Os totais integrados ao longo do ciclo representaram 982,39 e 1.223,63  $\text{MJ.m}^{-2}$ , na condição de ambiente protegido e a campo, respectivamente, conferindo uma relação  $\text{SR}_{\text{pt}}/\text{SR}_{\text{ca}}$  de 80,28%.

Contrário ao ciclo de outono-inverno, não se observa nenhuma tendência em relação a declinação solar, uma vez que o sol, nesta época do ano, encontrava-se com sua declinação próximos aquela da latitude do local ( $-22^{\circ} 51'$ ). Para este período os valores de saldo de radiação do ambiente protegido foram sempre inferiores àqueles obtidos em condição de campo, devido, justamente aos maiores níveis de energia, mesmo em condições de dias com céu nublado.

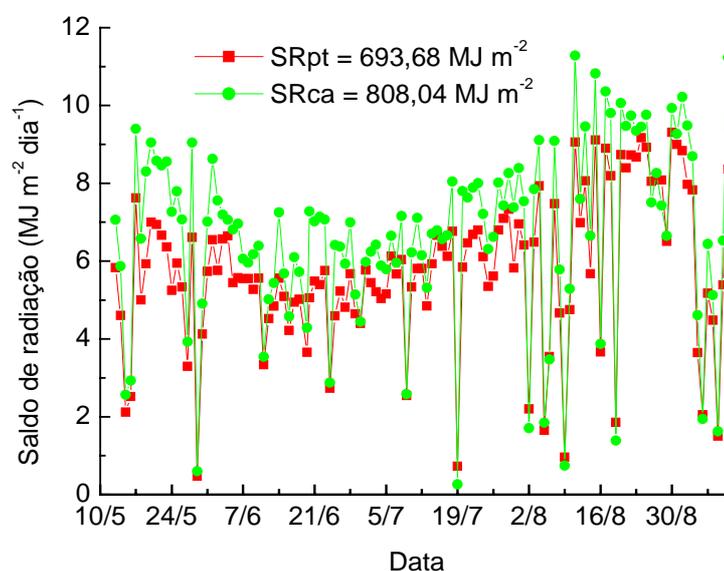


Figura 10: Variação do saldo de radiação ao longo do ciclo da cultura de pepino cultivado no período de primavera-verão em ambiente protegido (SR<sub>pt</sub>) e a campo (SR<sub>ca</sub>).

Relacionando através de regressão linear o saldo de radiação medido em condição de ambiente protegido (SR<sub>pt</sub>) com aqueles obtidos a campo (SR<sub>ca</sub>) e o saldo de radiação com a radiação global a campo (G<sub>ca</sub>) e em ambiente protegido (G<sub>pt</sub>) encontramos as seguintes relações que encontram-se representadas na Figura 11.

$$SR_{pt} = -0,304 + 0,828 * SR_{ca} \quad (r^2 = 0,97, n = 103)$$

$$SR_{pt} = 0,177 + 0,525 * G_{ca} \quad (r^2 = 0,98, n = 103)$$

$$SR_{pt} = 0,741 + 0,657 * G_{pt} \quad (r^2 = 0,98, n = 103)$$

$$SR_{pt} = 0,70 * G_{pt} \quad (r^2 = 0,97, n = 103)$$

$$SR_{ca} = 0,66 * G_{ca} \quad (r^2 = 0,95, n = 103)$$

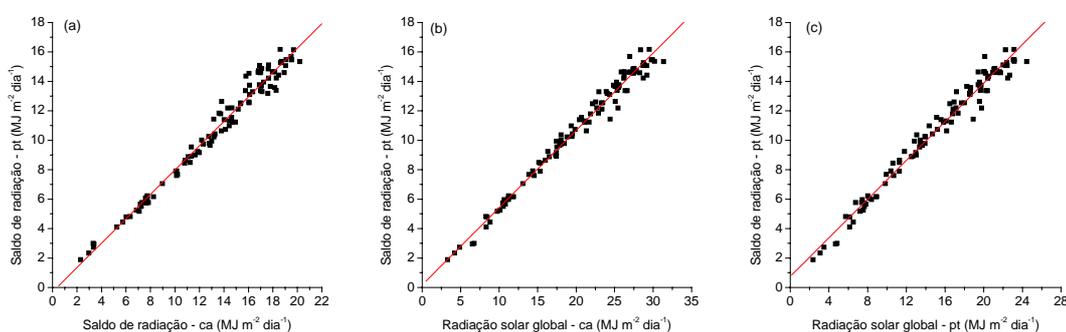


Figura 11: Relação entre saldo de radiação em ambiente protegido e a campo (a), saldo de radiação em ambiente protegido e radiação solar global a campo (b) e saldo de radiação e radiação solar global em ambiente protegido (c), valores diários integrados ao longo do ciclo de primavera-verão.

Comparativamente, os coeficientes dos dois últimos modelos apresentaram-se mais elevados que no ciclo de outono-inverno, passando de 0,612 e 0,502 para 0,70 e 0,66, quando se relaciona  $SR_{pt}$  x  $G_{pt}$  e  $SR_{ca}$  e  $G_{ca}$ , respectivamente. Tais acréscimos nos coeficientes podem estar associados a dois fatores: o primeiro, o formação de um dossel mais homogêneo no ciclo de primavera-verão e, o segundo, o aumento da transmissividade do polietileno conforme veremos na seqüência.

Al-Riahi et al. (1989) encontraram para a cultura do pepino cultivado em ambiente protegido valores médios da relação saldo de radiação e radiação solar global para os meses de janeiro a abril valor de 0,714 com dados obtidos em escala instantânea ( $W m^{-2}$ ). Fritschen (1967) trabalhando com diversas culturas (alfafa, cevada, trigo, algodão, aveia e sorgo), encontrou relação entre radiação solar global e saldo de radiação com coeficientes de correlação da ordem de 0,97 para dias com cobertura de céu nublado e 0,98 para dias com cobertura de céu limpo. Oliver & Sene (1992), trabalhando com saldo de radiação e radiação global em culturas de videiras, no sul da Espanha encontraram a relação de

0,57. Azevedo et al. (1997), na região de Petrolina-PE, Brasil, também com cultura de videira, encontraram relação entre saldo de radiação e radiação solar global da ordem de 0,64. Galvani et al. (1998b) para as condições de Botucatu, SP, encontraram uma relação entre saldo de radiação e a radiação global em estufas leste-oeste e norte-sul da ordem de 0,576 e 0,558, respectivamente. Essa diferença pode ser explicada em função do tipo de cultura utilizada por diferentes autores, da localização do campo experimental (latitude) e da época do ano (sazonalidade), resultando em condições diferentes de reflexão e emissão da energia incidente sobre aquela superfície. Também pode-se associar tal diferença entre os coeficientes em função do intervalo de medidas utilizado nos diferentes trabalhos, ou seja, valores instantâneos ( $\text{W m}^{-2}$ ) e/ou valores integrados em escala diária ( $\text{MJ m}^{-2}$ ).

#### **4.2. Radiação solar global**

A Figura 12 apresenta uma curva de irradiância solar global ao longo do dia 21 de maio de 1998 (dia com ausência de nuvens), observa-se máxima intensidade de energia de 712,47 e 534,82  $\text{W m}^{-2}$  às 12h00min nos dois ambientes. Relacionando a intensidade máxima no ambiente protegido e a campo obtém-se a transmissividade que para este dia foi de 75,0%. Podemos observar picos de menor irradiância resultado do sombreamento dos sensores pelos arcos metálicos do ambiente protegido.

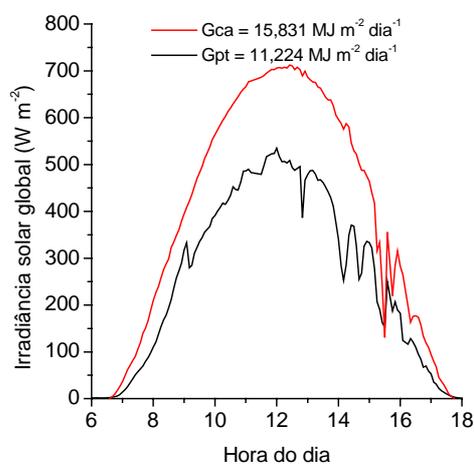


Figura 12: Curva de irradiância global ( $W m^{-2}$ ) para o dia 21 de maio de 1998, Botucatu, SP, em condições de ambiente protegido (Gpt) e a campo (Gca).

A Figura 13 (a) mostra a variação da radiação global ao longo ciclo da cultura do pepino em período de outono-inverno. Os valores integrados das energias diárias totalizaram em ambiente protegido  $1.150,45 MJ m^{-2}$  e a campo  $1.626,65 MJ m^{-2}$ . A transmissividade do polietileno que foi de 70,7%, valores que não diferem significativamente daquele fornecido pelo fabricante do polietileno que foi de 70,0%. Observa-se ainda na Figura 13 (a) que em condições de baixa energia (dias parcialmente nublados à nublados) os valores de energia global no ambiente protegido e a campo não se diferenciam muito, como exemplo, dias 29/05, 18/07, 05/08, 08/08, 05/09, 08/09/1998, entre outros.

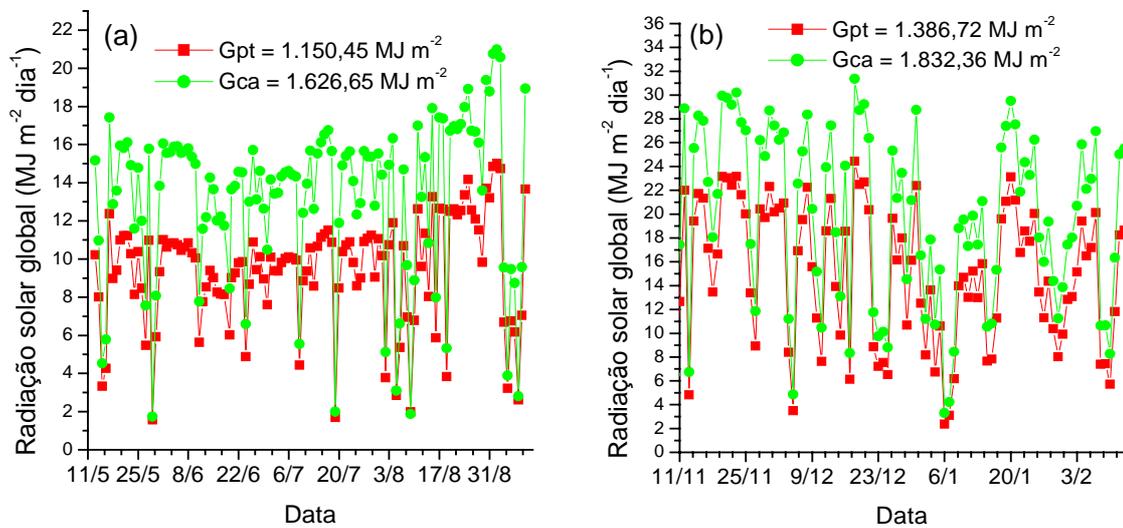


Figura 13: Variação da radiação solar global ao longo do ciclo da cultura de pepino em condições de ambiente protegido (Gpt) e a campo (Gca) em ciclo de outono-inverno (a) e primavera-verão (b).

A Figura 14 (a) mostra a transmissividade do polietileno ( $120 \mu\text{m}$ ) ao longo do dia 01/09/98 (dia limpo), mostrando que nas primeiras horas da aurora e próximo ao ocaso do sol os valores de  $t_{\lambda}$  tendem a ser maiores, tal fato associa-se ao ângulo de incidência do feixe de luz sobre a cobertura do polietileno, uma vez que o ambiente protegido localiza-se orientada, predominantemente, no sentido norte sul geográfico.

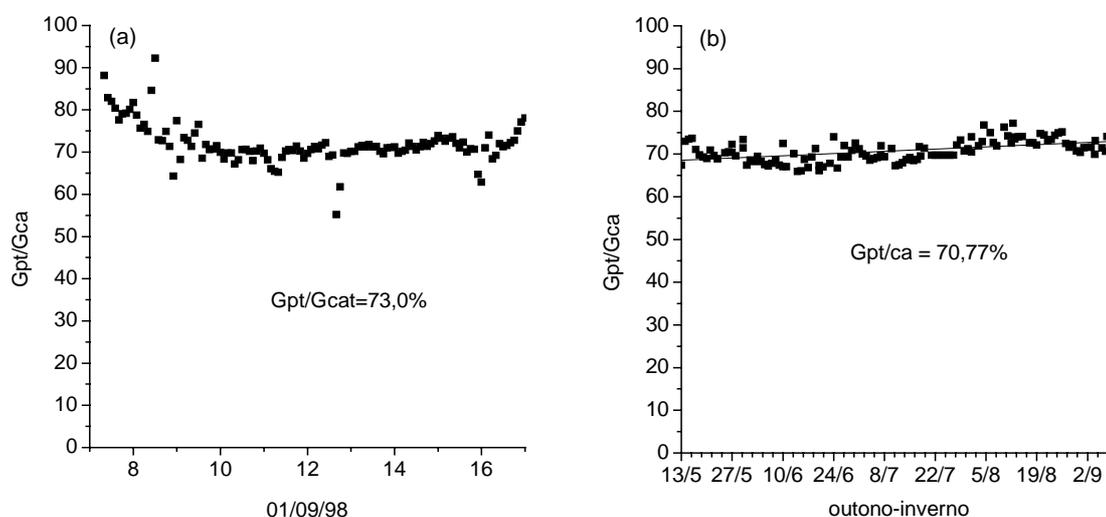


Figura 14: Curva de transmissividade instantânea para a data de 01/09/98 (a) e ao longo do ciclo de outono-inverno (b).

Em cultivo de outono-inverno observa-se uma transmissividade ( $t_{\lambda}$ ) média de 70,77%, valor próximo àquele fornecido pelo fabricante do polietileno que é de 70% (Figura 14 b). A reta média ajustada aos valores de  $t_{\lambda}$  média mostra tendência de ligeira de elevação. Camacho et al. (1995) trabalhando com PEBD de 100  $\mu\text{m}$  de espessura aditivado com anti-UV, nas condições climáticas de Pelotas, RS, em estufas orientadas no sentido norte sul, encontraram valores médios ao longo do ano de 78%. Concluíram ainda que a  $t_{\lambda}$  na primavera é maior que no outono e, que em escala diária as maiores  $t_{\lambda}$  ocorrem próximas ao meio dia.

Dentre os fatores que influenciam a os valores de  $t_{\lambda}$  destaca-se a composição do material de cobertura, espessura, tempo de exposição às condições ambientais, deposição de poeiras, ângulo de incidência dos raios solares, orientação e arquitetura da estufa, condições atmosféricas no momento da determinação e condensação nas paredes internas do plástico (Alpi & Tognoni, 1984; Robledo de Pedro & Vicente, 1988; Camacho et al., 1995). A

transmissividade pode ser determinada a partir de leituras instantâneas ( $\text{W m}^{-2}$ ) ou valores de energia integrados ao longo do dia ou de determinado período do ano.

A Figura 15 (a) mostra a  $t_\lambda$  para o dia 18/12/98 (dia limpo); observa-se valores menores nas primeiras horas da aurora e tendência de aumento durante e após a passagem meridiana. Tal fato associa-se a condensação de vapor d'água na superfície inferior de polietileno que tende a aumentar a reflexão do plástico (Camacho et al., 1995) e a absorção pelo filme de água formado sob o plástico. Para este dia a  $t_\lambda$  foi de 77,32%. Mastekbayeva & Kumar (2000), concluíram que a transmissividade do polietileno não se alterou em função de acréscimos nos níveis de irradiância (200 a  $800 \text{ W.m}^{-2}$ ) e, sim em função do número de dias de exposição do material e do acúmulo de fuligem sob o polietileno.

A Figura 15 (b) mostra a  $t_\lambda$  ao longo do ciclo de primavera-verão evidenciando maiores valores em relação ao período de outono-inverno com 74,92%, justificado, em parte, pelo menor ângulo zenital dos raios solares em relação a superfície do ambiente protegido nesse período do ano. Outro fato que pode contribuir para o aumento da transmissividade do polietileno é o tempo de exposição aos elementos meteorológicos, fato que será avaliado quando da realização de um novo experimento nas mesmas condições e período do ano.

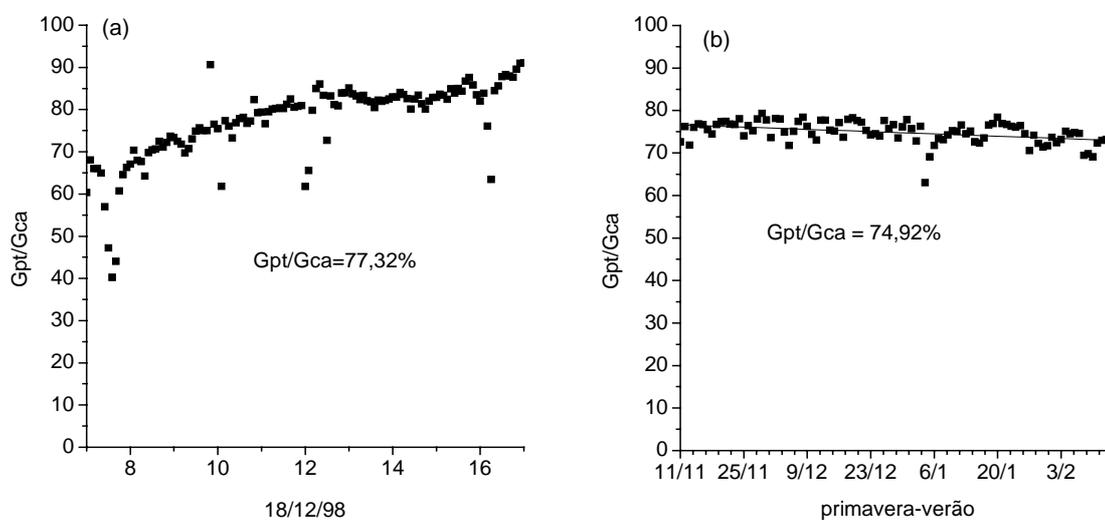


Figura 15: Curva de transmissividade instantânea para a data de 18/12/98 (a) e ao longo do ciclo de primavera-verão (b).

Relacionando através de regressão linear os valores de energia ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) obtidos em condição de ambiente protegido e a campo, obteve-se modelos que permitem conhecer o valor da energia no ambiente protegido a partir daqueles medidos a campo. Os modelos para os dois ciclos encontram-se representados na Figura 16 (a e b) e apresentados a seguir:

$$\text{Gpt} = +0,271 + 0,687 * \text{Gca} \quad (r^2 = 0,986, n = 121) - \text{outono-inverno}$$

$$\text{Gpt} = 0,706 * \text{Gca} \quad (r^2 = 0,985, n = 121)$$

$$\text{Gpt} = -0,766 + 0,794 * \text{Gca} \quad (r^2 = 0,996, n = 103) - \text{primavera-verão}$$

$$\text{Gpt} = 0,760 * \text{Gca} \quad (r^2 = 0,994, n = 103)$$

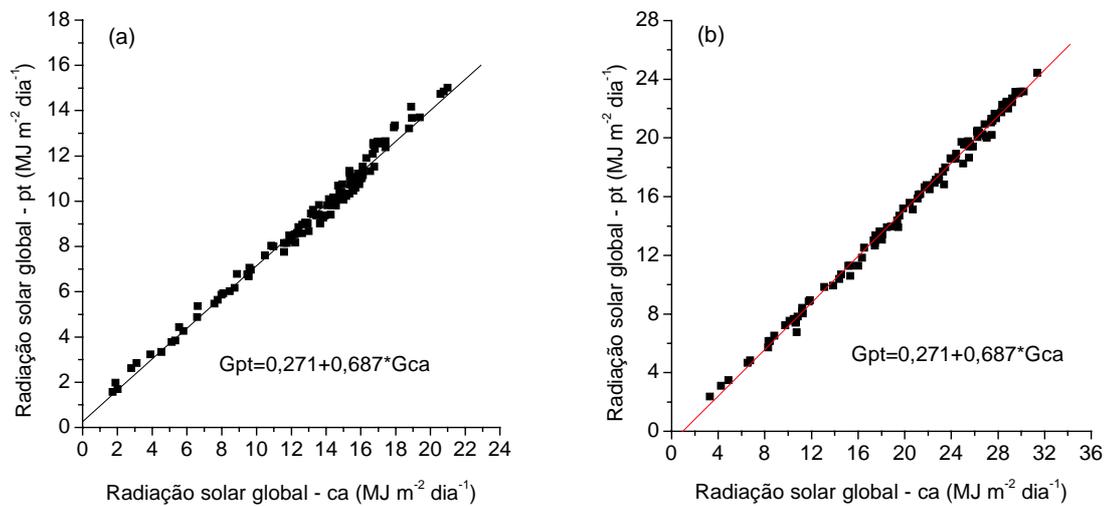


Figura 16: Relação entre a radiação solar global em condições de ambiente protegido (Gpt) e a campo (Gca) em ciclos de outono-inverno (a) e primavera-verão (b).

Montero et al. (1985) em Almeria, Espanha, observaram que a transmissividade do polietileno a componente de radiação solar global foi função do acúmulo de poeira sobre o polietileno e também da mudança do ângulo de incidência dos raios solares ao longo do ano. Observaram ainda um acréscimo de 14% na transmissividade do polietileno em função da limpeza e lavagem do polietileno.

Galvani et al. (1998b), trabalhando com ambientes protegidos cultivados com cultura de alface e orientadas no sentido leste-oeste e norte-sul, encontraram uma transmissividade de 78,3 e 73,6% para os ambientes protegidos orientados no sentido leste-oeste e norte-sul, respectivamente. Ainda esses autores relacionando saldo de radiação de ondas curta encontraram para este componente uma transmissividade de 85,6 e 83,9% para os ambientes protegidos orientados no sentido leste-oeste e norte-sul, respectivamente.

### 4.3 Radiação solar refletida

A Figura 17 (a e b) mostra as curvas de radiação refletida para os ciclos de outono-inverno e primavera-verão no ambiente protegido e a campo. Os valores integrados ao longo do ciclo de outono-inverno foi de 175,69 e 262,59 MJ m<sup>-2</sup> para as condições de ambiente protegido e a campo, respectivamente. O ciclo de primavera-verão apresentou 279,75 MJ m<sup>-2</sup> para a condição de ambiente protegido e 320,54 MJ m<sup>-2</sup> para o campo.

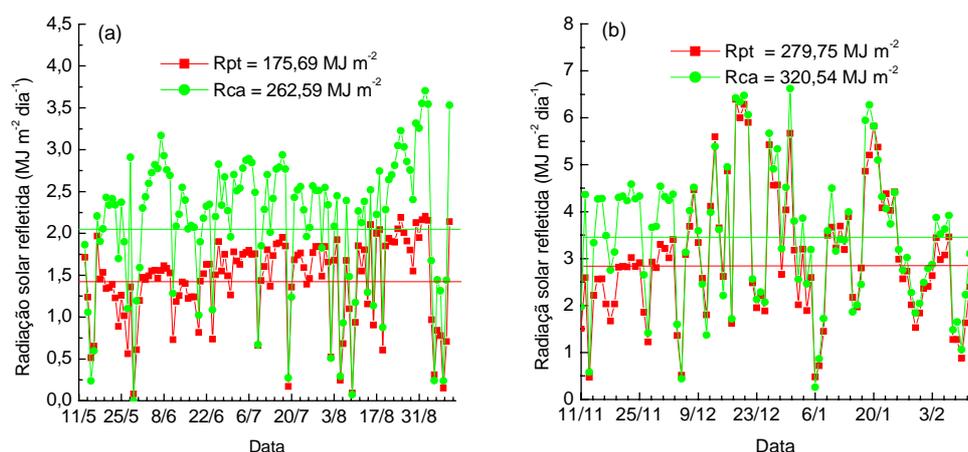


Figura 17: Radiação solar refletida em cultivos de outono-inverno (a) e primavera-verão (b) em condições de ambiente protegido (Rpt) e a campo (Rca).

Em termos médios diários, o ciclo de outono-inverno representou 1,44 e 2,15 MJ m<sup>-2</sup> em condição de ambiente protegido e a campo, respectivamente. O ciclo de primavera-verão resultou em média diária de 2,93 e 3,42 MJ m<sup>-2</sup> para a condição de ambiente protegido e a campo, respectivamente. A Figura 17 (a e b) mostra a amplitude média da energia refletida sobre a cultura, onde observa-se maior amplitude no ciclo de outono-inverno devido a variação do índice de área foliar da cultura entre os referidos ciclos, ou seja, em ciclo

de primavera-verão a cultura formou um dossel mais homogêneo diminuindo a variação da energia refletida em ambos os ambientes.

Relacionou-se os valores diários das radiações solar refletida em ambiente protegido e a campo com a radiação solar global em ambiente protegido e a campo obtendo-se os seguintes modelos (Figura 18):

$$R_{pt} = -0,101 + 0,116 * G_{ca} \quad (r^2 = 0,91, n = 121)$$

$$R_{ex} = -0,298 + 0,184 * G_{ca} \quad (r^2 = 0,90, n = 121)$$

$$R_{pt} = -0,139 + 0,167 * G_{pt} \quad (r^2 = 0,91, n = 121)$$

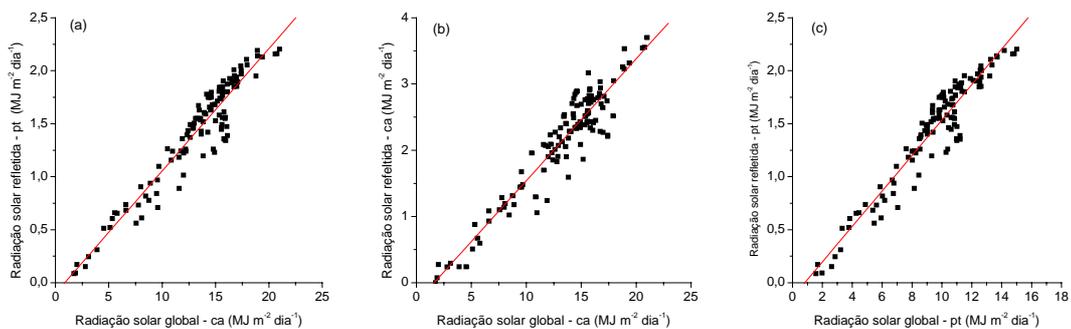


Figura 18: Relação entre a radiação solar refletida em condição de ambiente protegido e radiação solar global a campo (a), radiação solar refletida e radiação solar global a campo (b) e radiação solar refletida e radiação solar global em ambiente protegido (c), em ciclo de outono-inverno, Botucatu, SP.

Semelhante à metodologia aplicada no item anterior procedeu-se os cálculos para o ciclo de primavera-verão obtendo-se os modelos:

$$R_{pt} = 0,301 + 0,131 * G_{ca} \quad (r^2 = 0,51, n = 103)$$

$$R_{ex} = -0,0031 + 0,170 * G_{ca} \quad (r^2 = 0,75, n = 103)$$

$$R_{pt} = 0,395 + 0,167 * G_{pt} \quad (r^2 = 0,51, n = 103)$$

Os modelos não apresentaram elevados coeficientes de determinação resultado da variação da cobertura do solo pela cultura ao longo do ciclo, principalmente em ambiente protegido. Os pontos situados abaixo da reta de regressão da Figura 19 (a, b e c) representam o início do ciclo quando a energia refletida era quase que somente do solo desnudo e, os pontos acima a reta o período de máximo crescimento vegetativo com cobertura total do solo pelo dossel da cultura.

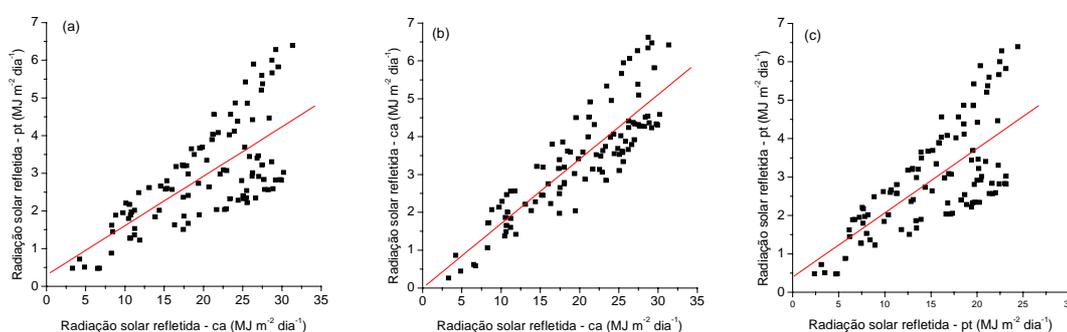


Figura 19: Relação entre a radiação solar refletida em condição de ambiente protegido e radiação solar global a campo (a), radiação solar refletida e radiação solar global a campo (b) e radiação solar refletida e radiação solar global em ambiente protegido (c), em ciclo de primavera-verão, Botucatu, SP.

#### 4.4 Radiação solar difusa

A Figura 20 (a) mostra os valores diários integrados da radiação difusa para o ciclo de outono-inverno, observa-se em condição de ambiente protegido 579,21 MJ m<sup>-2</sup> e a campo 571,57 MJ m<sup>-2</sup>. O ciclo de primavera-verão apresentou em ambiente protegido 745,52 MJ m<sup>-2</sup> e a campo 813,99 MJ m<sup>-2</sup>.

Cabe lembrar que a irradiância difusa em determinado dia é função do

total e tipo de nuvens. Assim, em um dia completamente limpo de nuvens os valores de radiação difusa tendem a ser percentualmente maiores dentro do ambiente protegido, devido à difusão do polietileno a componente direta, por outro lado, àqueles dias com cobertura de céu total os valores de difusa no ambiente protegido tendem a ser semelhantes àqueles obtidos a campo. Por exemplo, tomaremos dois dias: um completamente limpo de nuvens e outro com quase total cobertura de nuvens (Quadro 5).

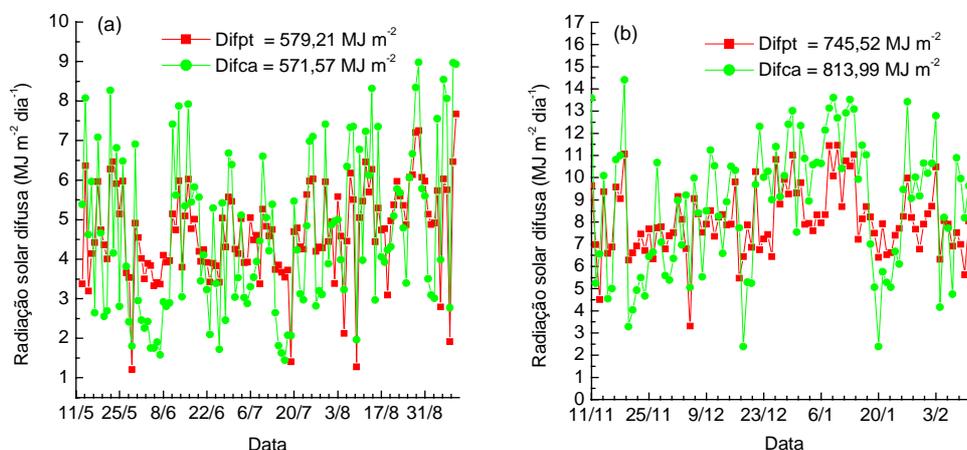


Figura 20: Radiação solar difusa em condição da ambiente protegido (Dift) e a campo (Difca) em ciclo de outono-inverno (a) e primavera-verão (b).

Quadro 5: Relação entre a radiação solar difusa e a radiação solar global em ambiente protegido e a campo em dias com cobertura de céu limpo e parcialmente nublado.

	céu limpo ( $\text{MJ.m}^{-2}$ )				céu parcialmente nublado ( $\text{MJ.m}^{-2}$ )						
Gca	29,516	Difext	1,917	Dif/G	6,5%	Gca	10,556	Difext	7,995	Dif/G	75,7%
Gpt	23,137	Difint	5,146	Dif/G	22,2%	Gpt	7,663	Difint	5,814	Dif/G	75,9%

Gpt e Gca representa a radiação solar global em ambiente protegido e campo, respectivamente; Dift e Difca a radiação solar difusa em ambiente protegido e a campo, respectivamente, Dif/G representam os percentuais da radiação solar difusa em relação a global para ambos os ambientes (multiplicados por 100).

Em dia com cobertura de céu limpo em condição de ambiente protegido os valores de radiação difusa tendem a ser percentualmente maiores àqueles obtidos a campo, 22,2% da global, contra 6,5% na condição da campo. Por outro lado, dias

parcialmente nublados a nublados tendem a apresentar percentuais de energia difusa em relação a global em ambiente protegido e a campo semelhantes, 75,7 e 75,9%, respectivamente.

#### **4.5 Saldo de radiação de ondas curta e ondas longa**

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

O SRoc foi obtido pela diferença entre a irradiância global ( $W.m^{-2}$ ) subtraído da fração de irradiância refletida instantânea. Assim, para cada intervalo de cinco minutos, ter-se-á um valor do SRoc. A Figura 21 mostra as curvas de irradiância global, refletida, saldo de ondas curtas e todas as componentes da radiação de ondas curtas.

Para as condições representadas na Figura 21 temos valores de radiação global de  $11,224 MJ m^{-2} dia^{-1}$ , refletida de  $1,348 MJ m^{-2} dia^{-1}$  conseqüentemente tem-se um saldo de ondas curtas (G-R) de  $9,876 MJ m^{-2} dia^{-1}$ . Fazendo a relação entre a componente refletida e a global tem-se o coeficiente de reflexão para este dia igual a 0,12 ou 12%. Neste período (oito dias após o transplante) temos praticamente o coeficiente de reflexão da superfície do solo, uma vez que a fração coberta pela área foliar da cultura representava um baixo percentual. Valores citados por Robinson (1966) para solo desnudo encontram-se em 10%.

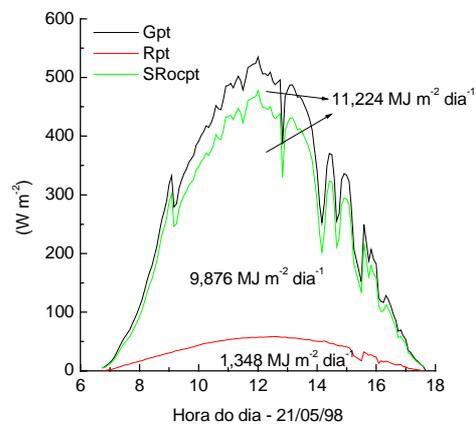


Figura 21: Irradiância solar global (Gpt), refletida (Rpt) e saldo de ondas curtas (SRocpt) na data de 21/05/98 em condição ambiente protegido.

O saldo de radiação de ondas curtas integrados e totalizados ao longo do ciclo de outono-inverno representou 968,47 e 1.337,67  $\text{MJ m}^{-2}$ , para a condição de ambiente protegido e a campo, respectivamente (Figura 22 a). Fazendo-se a relação  $\text{SRocpt}/\text{SRocca}$  obtém-se uma relação de 73,82%. O ciclo de primavera-verão totalizou 1.117,62  $\text{MJ m}^{-2}$  em ambiente protegido e 1.497,48  $\text{MJ m}^{-2}$  a campo, representando uma relação de 74,62% (Figura 22 b).

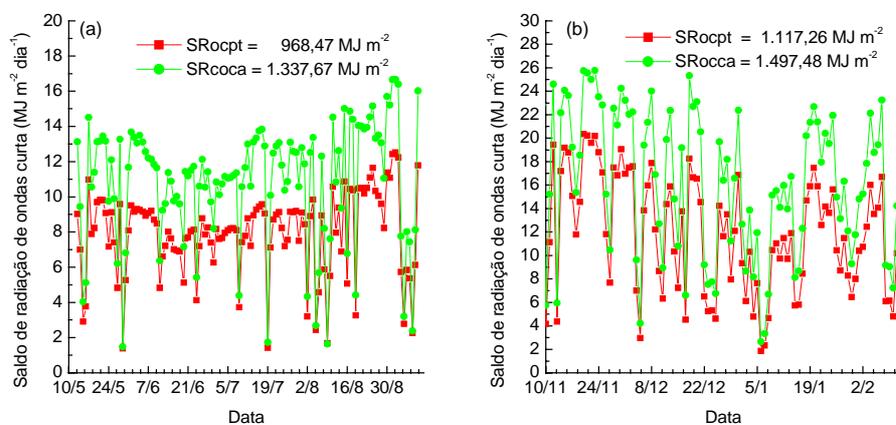


Figura 22: Saldo de radiação de ondas curta em ciclo de outono-inverno (a) e primavera-verão (b) nas condições de ambiente protegido (SRocpt) e a campo (SRocca).

O saldo de ondas longas (SRol) obtido a partir da diferença entre o saldo de radiação e o saldo de ondas curtas ( $SRol = SR - SRoc$ ) encontra-se representado na Figura 23 (a e b). Fazendo-se a média do SRol ao longo do ciclo de outono-inverno encontramos  $-2,18$  e  $-4,23$  MJ m<sup>-2</sup> para o ambiente protegido e a campo e, para o ciclo de primavera-verão  $-1,55$  e  $-3,34$  MJ m<sup>-2</sup>, nas condições de ambiente protegido e a campo, respectivamente. Os valores médios mais negativos, encontrados em ciclo de outono-inverno no condição de campo, são justificados pela predominância de noites de céu limpo na região, o que proporciona grandes perdas de energia, principalmente, no período noturno. Em condição de ambiente protegido valores médios significativamente menores evidenciam a influência da cobertura de polietileno na emissão efetiva da superfície. Em ciclo de primavera-verão observa-se, novamente, valores médios mais negativos em condição de campo.

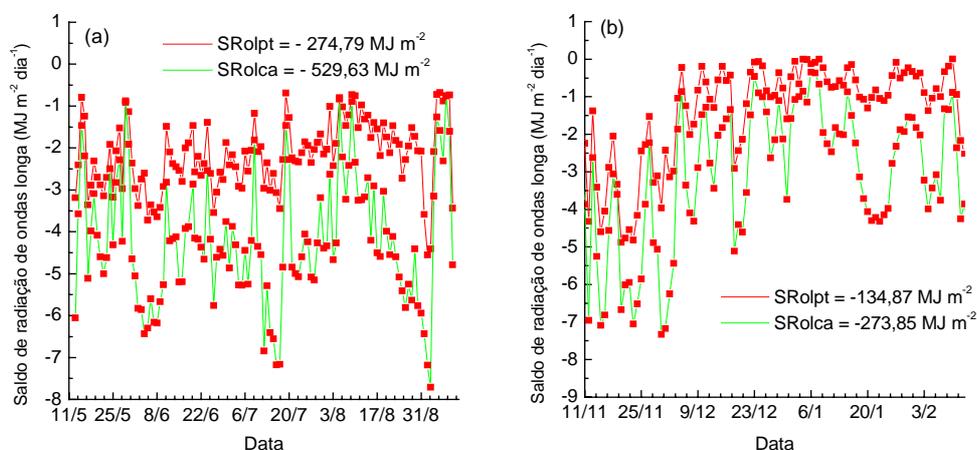


Figura 23: Saldo de radiação de ondas longa em ciclo de outono-inverno (a) e primavera-verão (b) em condição de ambiente protegido (SRolpt) e a campo (SRolca).

#### 4.6 Temperatura do ar

A Figura 24 mostra relação entre os valores médios diários de temperatura do ar em ambiente protegido e a campo obtidos a 2,5 m de altura. Os valores mostram não existir diferença significativa como podemos observar no Quadro 6 através do teste de Tukey.

Quadro 6: Análise estatística através do teste de Tukey dos valores médios de temperatura do ar em de ambiente protegido e a campo ambos os ciclos de cultivo.

Temperatura do ar (°C)			
Ciclo de outono-inverno		Ciclo de primavera-verão	
Ambiente protegido	18,40 a	Ambiente protegido	21,83 a
Condição de campo	18,45 a	Condição de campo	21,85 a

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

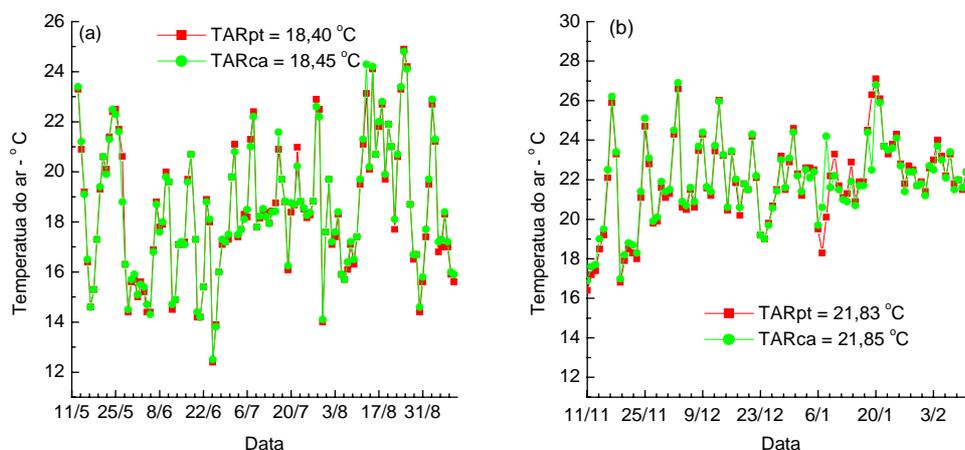


Figura 24: Temperatura média do ar em condição de ambiente protegido (TARpt) e a campo (TARca) em cultivos de pepino em ciclo de outono-inverno (a) e primavera-verão (b).

A análise dos valores de temperatura máxima e mínima em ciclo de outono-inverno não apresentaram diferenças estatísticas significativas estando em média na faixa de 23,15 e 23,09 °C e, 14,35 e 14,33 °C para as condições de ambiente protegido e campo, respectivamente.

No ciclo de primavera-verão as temperaturas máximas apresentaram-se com média de 26,79 e 26,45 °C em condição de ambiente protegido e a campo, respectivamente. Os valores de temperatura mínima média foram de 18,26 e 18,42 °C para a ambiente protegido e a campo, também não apresentando diferença estatística significativa a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Os resultados obtidos em termos de temperatura máxima média discordam daqueles obtidos por Camacho et al (1995), contudo concordam quando da análise dos valores de temperatura mínima média. Em estruturas semelhantes, Buriol et al. (1993), constataram diferenças significativas entre as temperaturas mínimas entre o ambiente protegido e a campo, com 1,2 °C superiores em ambiente protegido.

#### 4.7 Umidade relativa do ar

A Figura 25 (a) mostra a curva da umidade relativa média do ar em ciclo de outono-inverno. Observam-se valores em ambiente protegido ligeiramente superiores aos obtidos a campo. Tal diferença está associada ao efeito protetor do ambiente protegido que atua de forma a reter maior quantidade de vapor d'água em seu interior. Outro fato a considerar é o fenômeno da advecção lateral que tende a transferir vapor d'água para outras áreas e contribuir para o aumento do fluxo de calor sensível, fenômeno este mais comum em condição de campo. Os valores de umidade relativa do ar a campo foi superior ao ambiente protegido em dias chuvosos, devido ao fato de em ambiente protegido a irrigação ser efetuada por gotejadores, mantendo as linhas entre canteiros praticamente secas e diminuindo a umidade relativa do ar, ao passo que em condição de campo em dias chuvosos toda a área encontrava umedecida. Em termos médios a umidade relativa do ar em condição de ambiente protegido foi 2,7% superior a campo, com 78,05 e 75,91% para o ambiente protegido e a campo, respectivamente (Quadro 7).

Para o ciclo de primavera-verão a umidade relativa do ar também não apresentou diferenças significativas entre os ambientes, sendo a umidade relativa média no ambiente protegido para todo o ciclo 0,17% superior a condição de campo.

De acordo com observações de Farias et al. (1993), os valores de umidade relativa do ar, verificados no ambiente protegido (estufa capela), localizada em Capão do Leão, RS, e aqueles obtidos a campo, ficaram bastante próximos.

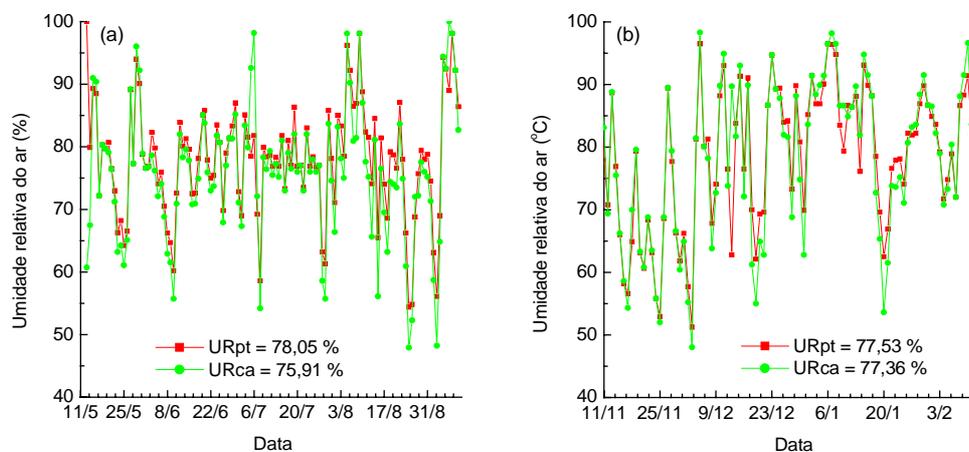


Figura 25: Umidade relativa do ar em condição de ambiente protegido (URpt) e a campo (URca) em cultivos de outono-inverno (a) e primavera-verão (b).

Quadro 7: Análise estatística através do teste de Tukey dos valores médios de umidade relativa do ar em condição de ambiente protegido e a campo em ambos os ciclos de cultivo.

Umidade Relativa do ar (%)			
Ciclo de outono-inverno		Ciclo de primavera-verão	
Ambiente protegido	78,05 a	Ambiente protegido	77,53 a
Condição de campo	75,91 a	Condição de campo	77,36 a

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

#### 4.8 Temperatura do solo

A Figura 26 (a) mostra o curva de temperatura do solo em três profundidades (0,10; 0,20 e 0,30 m) nas condições de ambiente protegido e a campo para o ciclo de outono-inverno. Os valores médios para a condição de campo apresentaram-se mais

elevados nas camadas superficiais e diminuindo para as demais profundidades. Isso é resultado do maior fluxo de calor entre as primeiras camadas do solo em função da ação da radiação solar direta sobre a superfície do solo. Em média as temperaturas foram de 20,34; 19,60 e 19,39 °C para as profundidades 0,10; 0,20 e 0,30 m, respectivamente.

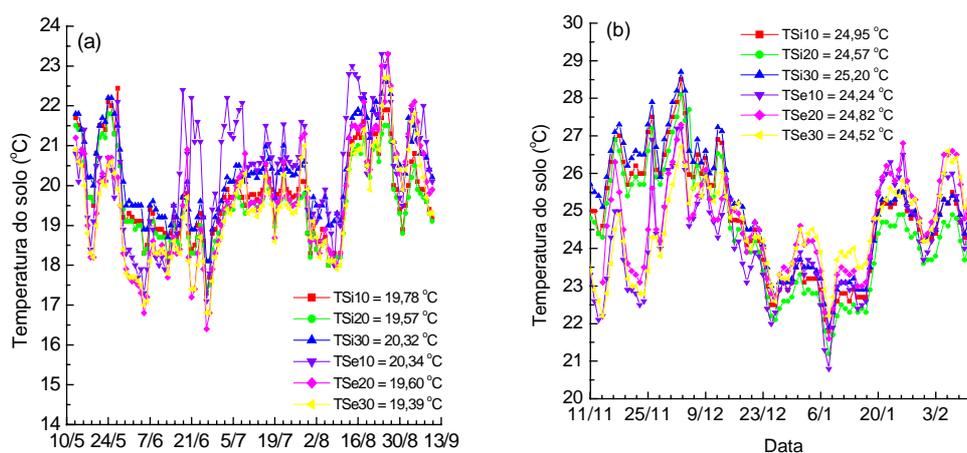


Figura 26: Curvas médias diárias de temperatura do solo em ciclo de outono-inverno (a) e primavera-verão (b) em condições de ambiente protegido e a campo.

Em condição de ambiente protegido as temperaturas mais elevadas foram observadas a 0,30m de profundidade, representando armazenamento de calor no solo nestas profundidades. A profundidade de 0,20m apresentou os menores valores de temperatura média (19,57 °C) estando essa profundidade como uma faixa de transição entre o calor armazenado em níveis mais abaixo e a incidência da radiação direta em níveis acima (19,78 °C). O Quadro 8 mostra não existir diferença estatística significativa nos valores médios de temperatura do solo a 0,20 m entre os dois ambientes e em ambos os ciclos de cultivo (outono-inverno e primavera-verão). A temperatura às profundidades de 0,10 e 0,30 m apresentaram diferença significativa, mostrando existir maior variação da temperatura nestas profundidades.

Quadro 8: Análise estatística através do teste de Tukey dos valores médios de temperatura do solo a 0,10, 0,20 e 0,30m em condição de ambiente protegido e a campo em ambos os ciclos de cultivo.

Temperatura do solo (°C)			
Ciclo de outono-inverno		Ciclo de primavera-verão	
Amb. protegido 0,10 m	19,78 a	Amb. protegido 0,10 m	24,95 a
Cond. de campo 0,10m	20,34 b	Cond. de campo 0,10m	24,24 b
Amb. protegido 0,20 m	19,57 a	Amb. protegido 0,20 m	24,57 a
Cond. de campo 0,20m	19,60 a	Cond. de campo 0,20m	24,82 a
Amb. protegido 0,30 m	20,32 a	Amb. protegido 0,30 m	25,20 a
Cond. de campo 0,30m	19,39 b	Cond. de campo 0,30m	24,52 b

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

A variação da temperatura do solo nas diferentes profundidades em ciclo de primavera-verão são representadas na Figura 26 (b) e mostram-se inversas a curva de IAF (pagina 88, figura 41), ou seja, a medida que aumentou o IAF os valores de temperatura do solo tenderam a diminuir, fato explicado pelo sombreamento do solo pela cultura e diminuição da incidência da radiação direta sobre o solo, diminuindo a energia disponível àquele meio sombreado. Em termos médios a temperatura do solo em ambiente protegido (24,95 °C) na profundidade de 0,20 m foi ligeiramente superior àquela obtido a campo (24,24 °C). Na profundidade de 0,30 m a temperatura em condição de ambiente protegido (25,20 °C) passa novamente a apresentar valores médios maiores aos da condição de campo (24,52 °C).

#### 4.9 Velocidade do vento

A velocidade média do vento em condição de ambiente protegido foi de  $0,118 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  e a campo de  $2,06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Percentualmente a velocidade no ambiente protegido em média representou 5,73% daquela ocorrida a campo, evidenciando maior “conforto” para as plantas cultivadas nesta condição conforme mostra a Figura 27 (a e b). Cabe lembrar que nos meses de inverno as baixas temperaturas associadas a ventos constantes tendem a aumentar o estresse provocado pelo frio, diminuindo portanto a produtividade da cultura, fato que pode observado no Quadro 21 onde mostra uma produção no ambiente protegido  $19,98 \text{ kg m}^{-2}$  e a campo de  $4,01 \text{ kg m}^{-2}$ .

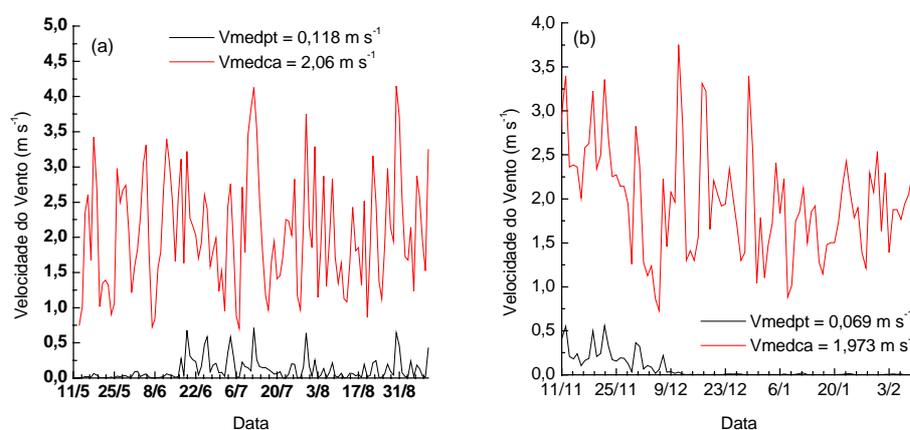


Figura 27: Variação da velocidade média diária do vento ao longo do ciclo de outono-inverno (a) e primavera-verão (b) sobre cultura de pepino.

A Figura 27 (b) apresenta os valores de velocidade média do vento para o ciclo de primavera-verão. Em condição de ambiente protegido a média ao longo do ciclo esteve em  $0,069 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , sendo que a partir da 5<sup>a</sup> SAT os valores foram praticamente zero devido a obstrução do vento pela estrutura da planta. Em condição de campo a média obtida

foi de  $1,973 \text{ m s}^{-1}$ . O vento médio na condição de ambiente protegido representou 2,32% daquele obtido a campo. Essa percentagem menor que o ciclo de outono-inverno (5,73%) é explicado pelo maior desenvolvimento da cultura em termos de área foliar diminuindo assim a circulação do ar no ambiente protegido e também, pelas condições climáticas da região que caracterizam ventos mais frequentes no período de outono-inverno.

#### **4.10 Coeficiente de reflexão**

A Figura 28 mostra a variação do coeficiente de reflexão instantâneo para a data de 18/12/98 (ausência de nuvens). Observa-se nas primeiras horas e final do dia valores elevados de coeficiente de reflexão, sendo explicado pelo fato dos raios solares nestes horários incidirem em superfície do solo com ângulo próximo a  $90^\circ$  com a normal do local, ou seja, tangente a superfície do solo, aumentando portanto a fração da energia refletida pela cobertura do solo. Para este dia o coeficiente de reflexão médio foi 28,4 e 22,9% para as condições de ambiente protegido e a campo, respectivamente. Azevedo et al. (1990) apresentaram curvas diárias semelhantes as obtidas para culturas de soja, feijão e algodão nas condições climáticas de Juazeiro, BA.

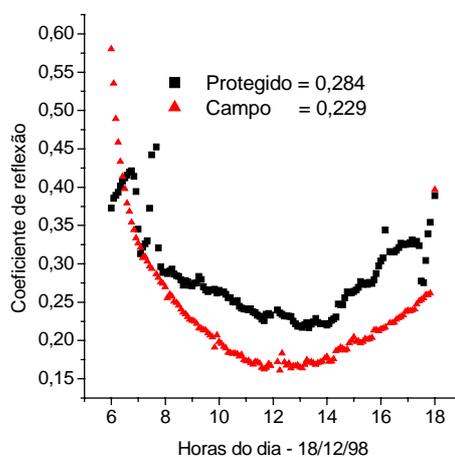


Figura 28 - Curva do coeficiente de reflexão instantâneo para a data de 18/12/98 nas condições de ambiente protegido e a campo.

O coeficiente de reflexão médio ao longo do ciclo da cultura de pepino no período de outono-inverno foi de 15,6 e 17,6% para a condição de ambiente protegido e a campo, respectivamente. O coeficiente de reflexão no ambiente protegido variou ao longo do ciclo da cultura entre o mínimo de 11% no início do ciclo quando as plantas cobriam fração pequena do solo a 19,5% quando apresentou índice de área foliar (IAF) de  $5,32 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ . Para a condição de campo o coeficiente de reflexão variou entre o mínimo de 11% e o máximo de 25% quando o IAF encontrava-se em  $2,32 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ . A Figura 29 (a e b) mostra a variação do coeficiente de reflexão em ambiente protegido e a campo, observa-se que no início do ciclo valores relativamente baixos de coeficiente de reflexão e com o desenvolvimento da cultura e conseqüente aumento da área foliar o coeficiente de reflexão tende a aumentar até a 8ª semana após o transplantio (10/07/98). Contudo quando a planta atinge 1,80 m de altura os valores de coeficiente de reflexão tendem a diminuir. A explicação para esse fato deve-se a alguns fatores, entre eles, o fato da própria estrutura da cultura impedir a reflexão de parte da irradiância direta, visto que, a cultura não formou um dossel homogêneo, apresentando entre

os canteiros uma faixa de solo desnudo. Outro fator que contribui para a diminuição da reflexão pela cultura foi a manifestação de pragas (pulgão) e doenças (oídio) que tenderam a prejudicar em parte o desenvolvimento da planta e conseqüente escurecimento das folhas. Além disso, devemos considerar que a cultura com este porte deverá estar em plena atividade metabólica, fato que contribui para o aumento da densidade de folhas com coloração mais intensa dado pelo acúmulo de pigmentos fotossintetizados neste subperíodo de desenvolvimento e, conseqüentemente, para uma redução significativa da reflexão da energia radiante do dossel.

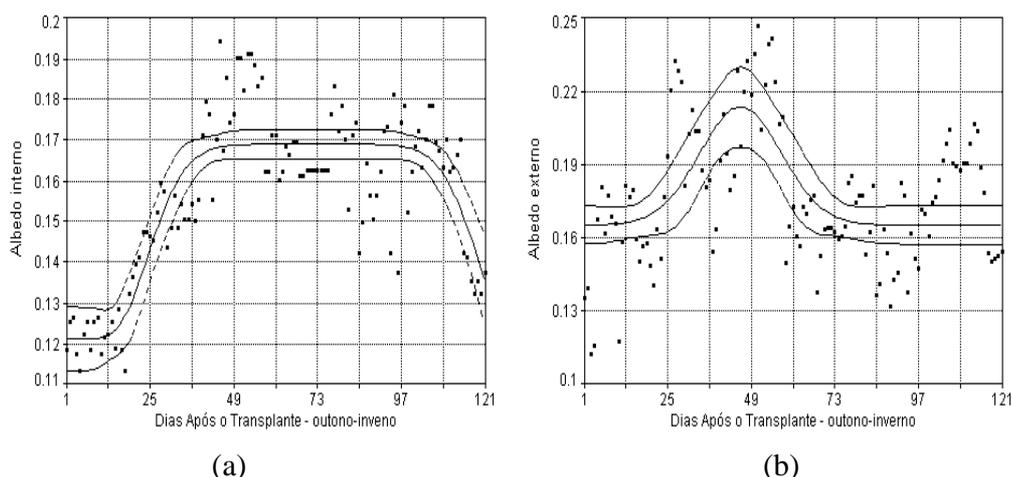


Figura 29: Variação do coeficiente de reflexão, curva de ajuste e intervalo de confiança (99%) ao longo do ciclo da cultura de pepino em ciclo de outono-inverno nas condições de ambiente protegido (a) e a campo (b).

Os parâmetros das curvas apresentadas na Figura 29 (a e b) são apresentados a seguir no Quadro 9.

Quadro 09: Coeficientes obtidos a partir da relação entre coeficiente de reflexão e dias após transplante para o ciclo de outono-inverno nas condições de ambiente protegido e campo, 1998, Botucatu, SP.

	Coeficientes					$r^2$
	a	b	c	d	e. (*)	
Ambiente protegido	0,121	0,0479	71,534	43,787	7,078	0,73
Campo	0,165	0,0483	45,9550	11,770	-	0,34

(\*) O acréscimo do coeficiente  $e$  no modelo não resultou em melhor coeficiente de determinação.

A Figura 29 (a) mostra a curva medida e ajustada dos valores médios diários de coeficiente de reflexão ao longo do ciclo da cultura de pepino cultivado no período de outono-inverno. Observa-se através da curva ajustada tendência de aumento nos valores de coeficiente de reflexão até 37<sup>o</sup> dias após o transplântio (DAT), mantendo-se constante até o 97<sup>o</sup> DAT, quando tende a diminuir com o final do ciclo da cultura. Esta variação da curva ajustada pode ser melhor explicada observando a curva do índice de área foliar (IAF) ao longo do ciclo da cultura, a partir da formação do dossel os valores de coeficiente de reflexão tenderam a manterem-se constantes (curva ajustada) independente do aumento do IAF.

A Figura 29 (b) mostra a curva medida e ajustada para a condição de campo, observa-se aumento dos valores de coeficiente de reflexão seguindo a aumento do IAF até atingir valor máximo (curva ajustada) no 47<sup>o</sup> DAT, quando a partir desta data diminui em função da diminuição do IAF e do escurecimento das folhas. A partir do 73<sup>o</sup> dia até o final do ciclo o coeficiente de reflexão representava praticamente a reflexão do solo nu, uma vez que a área foliar cobria fração pequena do solo. As curvas ajustadas descrevem bem a variação teórica do coeficiente de reflexão ao longo do ciclo da cultura, contudo os coeficientes de determinação não apresentaram valores elevados, principalmente a condição de campo ( $r^2=0,34$ ), devendo assim ser evitado o uso deste modelo.

O ciclo de primavera-verão apresentou taxas de crescimento mais constantes representando melhor as curvas de coeficiente de reflexão, tanto, em ambiente protegido quando a campo. Em termos médios o coeficiente de reflexão foi de 20,6 e 17,7% para as condições de ambiente protegido e a campo, respectivamente. Al-Riahi et al (1989)

trabalhando com cultura de pepino em ambiente protegido no período de janeiro a abril, obtiveram valores médios de 22,5 e 20,5% quando calculado em função de valores instantâneos e médias diárias, respectivamente.

Os valores de coeficiente de reflexão apresentados na Figura 30 (a e b) mostram variação semelhante a variação do índice de área foliar (Figura 42). No início do ciclo entre os dias 05 a 10/11/99 o coeficiente de reflexão medido representava somente o solo desnudo, sendo que a partir de 11/01/98 foi transplantada a cultura, a partir desta data os valores passaram a elevar-se atingindo máximo em 24/12/98 com 29,6% em condição de ambiente protegido e, 23,8% na data de 01/01/99 a campo. Este atraso na data de ocorrência do valor máximo de coeficiente de reflexão deve-se ao menor crescimento da planta e da área foliar em condição de campo.

Relacionando o coeficiente de reflexão através dos modelos propostos na metodologia, obteve-se os seguintes parâmetros (Quadro 10).

Quadro 10: Coeficientes obtidos a partir da relação entre coeficiente de reflexão e dias após transplântio para o ciclo de primavera-verão nas condições de ambiente protegido e campo, 1998/1999, Botucatu, SP.

	Coeficientes					r <sup>2</sup>
	a	b	c	d	e	
Ambiente protegido	85,704	186,774	60,427	26,339	-	0,91
Campo	0,132	0,0949	58,897	17,453	-	0,85

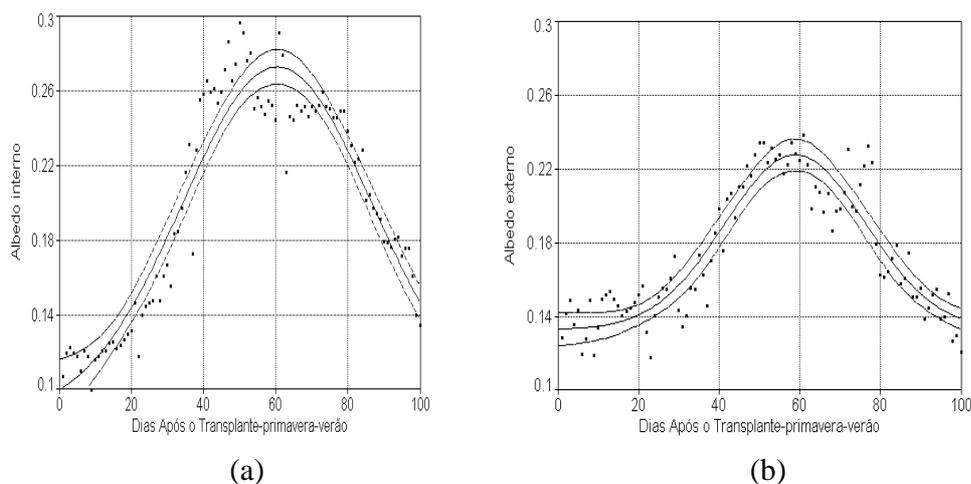


Figura 30: Variação do coeficiente de reflexão, curva de ajuste e intervalo de confiança (99%) ao longo do ciclo da cultura de pepino em ciclo de primavera-verão nas condições de ambiente protegido (a) e a campo (b).

#### 4.11 Fluxo de calor no solo

O fluxo de calor no solo representa a fração do saldo de radiação que foi transferida para os níveis inferiores do solo e pode representar um acréscimo de energia para o meio, a noite geralmente, ou uma saída de energia do meio, no período diurno. O fluxo de calor no solo (FCS) é função da temperatura do solo em diferentes níveis e da condutividade térmica do solo, sendo influenciados diretamente pela variação da temperatura do solo. Em estudos de balanço de energia a quantificação do FCS torna-se importante, uma vez que representará a entrada/saída de energia de determinado meio, contribuindo assim para o aumento/redução nos fluxos de calor latente e sensível e, conseqüentemente aumentando/reduzindo as taxas de evaporação e transpiração.

A Figura 31 mostra as curvas de FCS no ambiente protegido e a campo em datas representativas dos ciclos de outono-inverno e primavera-verão. Observa-se que a

data de 02/06/98 os valores apresentam-se menos negativos que na data de 06/11/98 devido ao menor nível de radiação no período de outono-inverno, conseqüentemente, menores fluxos de energia para os níveis inferiores do solo. O período noturno em ambas as datas apresentaram valores de FCS maiores em condição de campo em função das maiores perdas de energia para a atmosfera, o que em ambiente protegido é diminuído em função da contra-irradiação do polietileno.

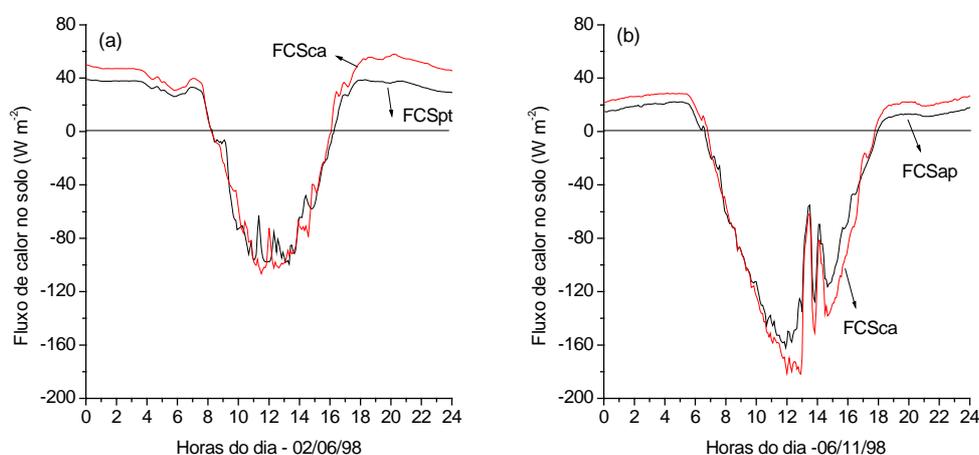


Figura 31: Fluxo de calor no o solo na data de 02/06/98 (a) e 06/11/98 (b) para as condições de ambiente protegido (FCSpt) e a campo (FCSca).

O ciclo de outono-inverno apresentou em condição de ambiente protegido  $+2,505 \text{ MJ m}^{-2}$  e  $-17,064 \text{ MJ m}^{-2}$  em condição de campo. Valores negativos representam que o fluxo de energia foi para o solo e positivos que os fluxos foram para a atmosfera (Figura 32 a).

A Figura 32 b mostra a curva de FCS no solo durante o ciclo de primavera-verão. Os valores de FCS no ambiente protegido representaram  $-68,90 \text{ MJ m}^{-2}$  e a campo de  $-11,45 \text{ MJ m}^{-2}$ . Observa-se até a data de 30/12 o FCS que foi função do saldo de radiação oscilando na mesma proporção que este, contudo quando se forma um dossel

homogêneo da cobertura vegetal observa-se pequenas variações dos valores de FCS, devido ao sombreamento do solo, diminuindo os níveis de radiação. Após a retirada da cultura em 10/02/98 os valores de FCS voltam a ser função do saldo de radiação disponível.

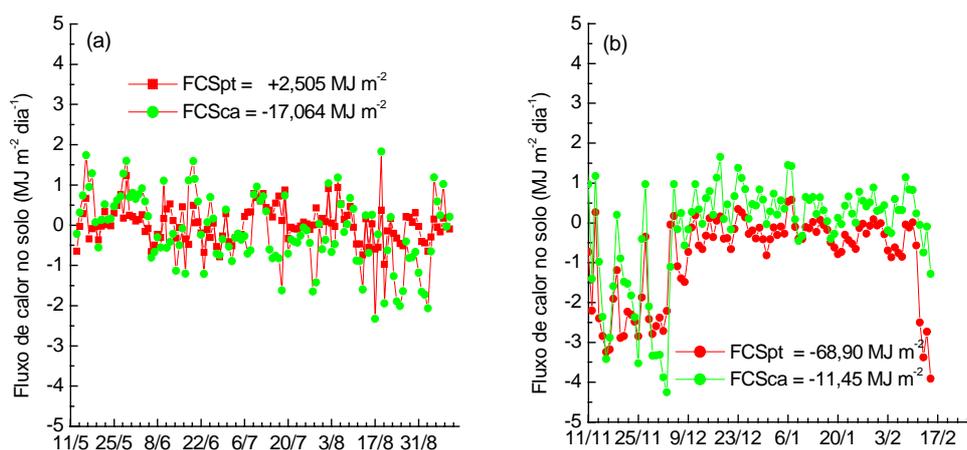


Figura 32: Fluxo de calor no solo em ambiente protegido e a campo para os ciclos de outono-inverno (a) e primavera-verão (b).

#### 4.12 Balanço de energia

O método do balanço de energia (M.B.E.) permite através de medidas de saldo de radiação, fluxo de calor no solo e temperatura do ar (bulbos seco e úmido) entre dois níveis distintos acima do dossel da cultura, determinar os fluxos de calor latente de evaporação (LE) e fluxos de calor sensível (H). No cálculo do balanço de energia os fluxos que chegavam ao sistema (cultura de pepino), foram considerados positivos, enquanto os fluxos que saíam do sistema foram considerados negativos. Assim, o topo da cultura e a superfície do solo foram considerados os limites, superior e inferior do sistema. Portanto, acima da cultura os fluxos ascendentes eram negativos e vice-versa e, no interior do solo os

fluxos ascendentes eram positivos e vice-versa. A Figura 33 mostra uma curva típica da partição do balanço de energia em ambiente protegido (a) e a campo (b). Observa-se que a curva de LE apresenta-se inversa a curva de SR, ou seja, valores positivos de SR representam energia para o meio e, conseqüentemente fluxos de calor latente de vaporização representando saída de energia do meio. Em condição de campo o fluxo de calor sensível representa entrada de energia contribuindo para valores de LE superiores a SR. O Quadro 11 mostra a partição dos componentes do balanço de energia para a data de 21/12/98 e os dois ambientes.

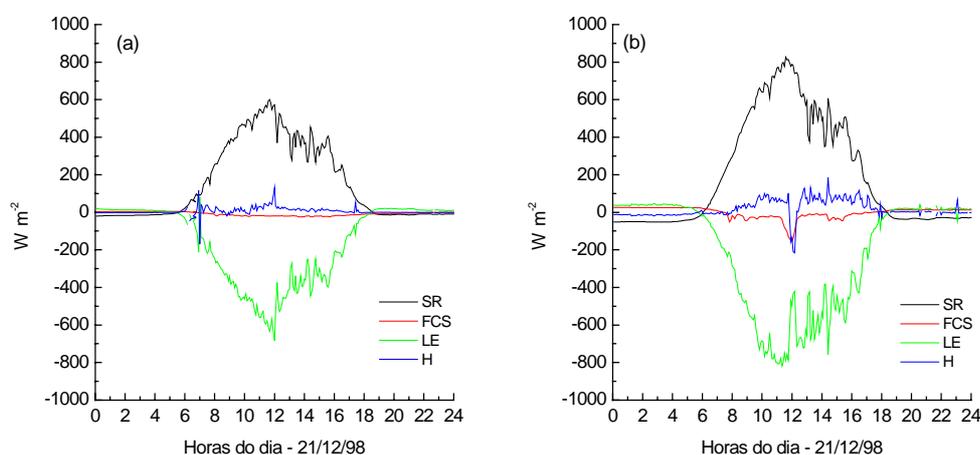


Figura 33: Curvas instantâneas de saldo de radiação (SR), fluxo de calor no solo (FCS), fluxo de calor latente de LE e H para a data de 21/12/98 em ambiente protegido (a) e a campo (b).

Os valores apresentados no Quadro 11 mostram que a condição de campo apresentou maior advecção lateral devido a maior velocidade do vento (vento no ambiente protegido praticamente zero e a campo com média de  $2,05 m s^{-1}$ ) contribuindo para aumento na energia disponível elevando os valores de LE em 8,2% em relação ao saldo de radiação. Totalizando todos os fluxos de entrada e saída de energia dos meios podemos concluir que neste dia o balanço foi praticamente nulo nos dois ambientes. A Figura 34 (a e b) mostra a variação da razão de Bowen calculada para os dois ambientes em função da

relação H/LE. Observa-se em ambiente protegido (Figura 34 a) um maior número de valores entre o intervalo de  $-0,2$  e  $+0,2$  ao passo que em condição de campo houve uma maior variação dos valores da razão de Bowen, justamente em função da maior velocidade de inversão dos gradientes de temperatura em função do maior turbilhonamento da atmosfera, resultado de velocidades do vento superiores neste ambiente.

Quadro 11: Relações entre saldo de radiação (SR), fluxo de calor no solo (FCS), fluxo de calor latente (LE) e sensível (H) para os níveis 1-2 em ambiente protegido e a campo na data de 21/12/98.

	Ambiente protegido				Condição de campo			
	SR	FCS	LE	H	SR	FCS	LE	H
MJ.m <sup>-2</sup>	+13,36	-0,66	-13,22	+0,53	+17,02	-0,169	-18,42	+1,53
% de SR	100,0%	-4,94%	-98,95%	+3,97%	100,0%	-0,99%	-108,2%	+8,99%
FCS+H+LE	99,92%				100,20%			

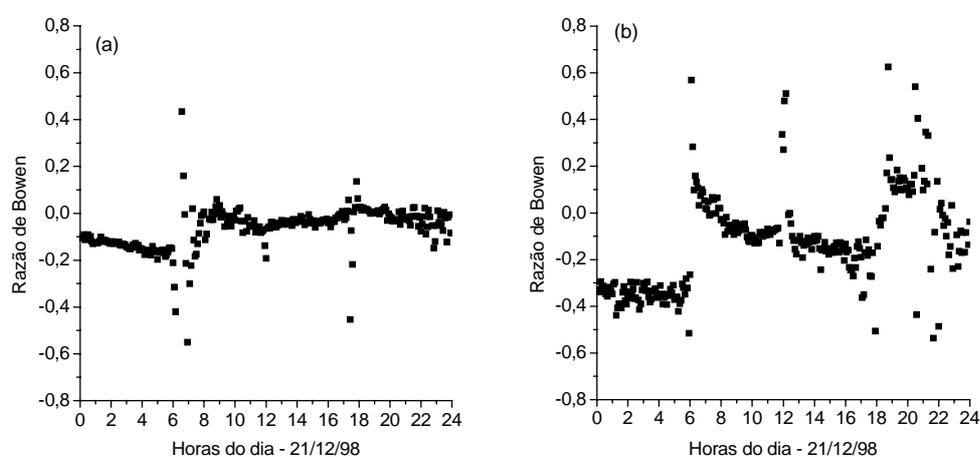


Figura 34: Variação da razão de Bowen (H/LE) ao longo do dia 21/12/98 calculada para os níveis 1-2 em de ambiente protegido (a) e a campo (b).

O saldo de radiação em ciclo de outono-inverno em ambiente protegido totalizou  $693,68 \text{ MJ m}^{-2}$ , percentualmente o fluxo de calor no solo (FCS) representou  $0,32\%$  do SR, esse baixo valor pode estar associado ao sombreamento do solo

pela cultura ao longo de quase todo o ciclo e também pela diminuição da radiação direta no interior do ambiente protegido (Figura 35 a e b).

Quadro 12: Relações entre SR, FCS, H e LE para os níveis 1-2 e 2-3 em condição de ambiente protegido em ciclo de outono-inverno.

SR	FCS	LE1-2	LE2-3	H1-2	H2-3	1-2	2-3
						FCS+LE+H	FCS+LE+H
+693,68	+2,505	-752,00	-807,18	+64,94	+118,91	684,56	685,76
100,00%	+0,32%	-108,4%	-116,4%	+9,4%	+17,1%	98,68%	98,86

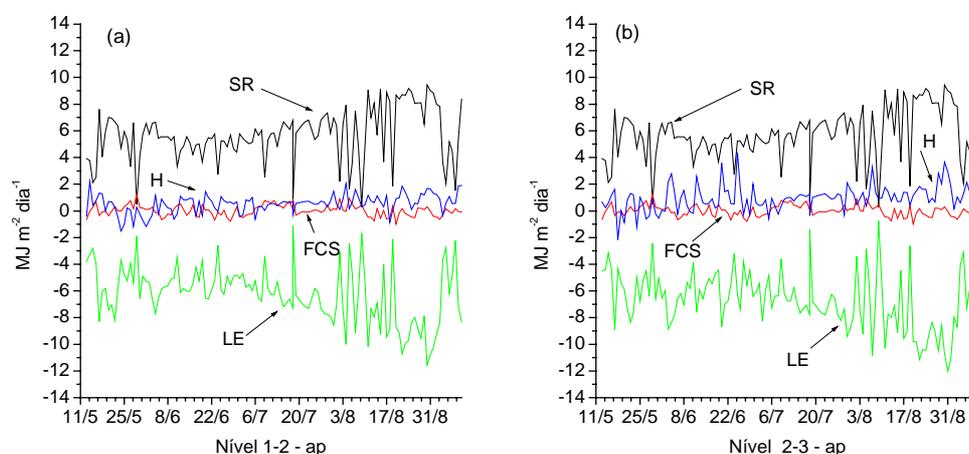


Figura 35: Variação do saldo da radiação (SR), fluxo de calor no solo (FCS), fluxo de calor latente (LE) e sensível (H) entre os níveis 1 e 2 (a) e 2 e 3 (b), em condição de ambiente protegido, durante o ciclo de outono-inverno na cultura de pepino.

Os fluxos de calor sensível (H) quantificados entre os níveis 1-2 e 2-3 representaram um acréscimo de 9,4% e 17,1% , contribuindo para valores de fluxo de calor latente (LE) em 8,4 e 16,4% superiores ao SR. Esse acréscimo diferenciado de H entre os níveis 1-2 e 2-3 pode ser explicado pelo fato dos níveis superiores estarem sujeitos a maior advecção lateral intensificado pela maior ação do vento com a altura acima do solo. A contabilização de todos os fluxos (FCS+H+LE) respeitando as convenções de sinais apresentados na metodologia encontramos valores de 98,68 e 98,86% do saldo de radiação disponível (Figura 35 a e b e Quadro 12).

Para condição de campo em ciclo de outono-inverno saldo de radiação totalizou 808,04 MJ m<sup>-2</sup> durante todo o ciclo (100%). O FCS representou desse total valores negativos que totalizam 2,11% (-17,064 MJ m<sup>-2</sup>). Os fluxos de calor sensível representaram 5,87 (-47,46 MJ m<sup>-2</sup>) e 3,56% (-28,75 MJ m<sup>-2</sup>) para os níveis 1-2 e 2-3, respectivamente. Os fluxos de calor latente representaram 86,11 e 91,12 %, para os níveis 1-2 e 2-3, respectivamente. A integração dos valores de H, LE e FCS respeitando as convenções de entradas e saídas de energia do meio representaram 94,10 (nível 1-2) e 96,66% (nível 2-3) do SR, evidenciando que a parcela a campo durante o ciclo sofreu perdas laterais de energia devido ao efeito advectivo (Figura 36 a e b). Valores encontrados por Cunha et al. (1994) para cultura de alfafa encontram-se em 86, 9 e 5% para o fluxo de calor latente de evaporação, fluxo de calor sensível e no solo, respectivamente. Pedro Júnior & Villa Nova (1981), trabalhando com cultura de soja encontraram valores da ordem de 72% para o fluxo de calor latente de evaporação, 13% para fluxo de calor sensível e 15% para fluxo de calor no solo, em relação ao saldo de radiação ou como cita os autores, da energia líquida disponível no meio. Alfonsi et al. (1986) em cultura de milho encontraram 84, 2, 14% para LE, H e FCS, respectivamente. Fontana et al. (1991) em cultura de soja irrigada e não irrigada obtiveram 95% e 78% do saldo de radiação sendo utilizado nos processos de evaporação/transpiração, 2% e 7% utilizado como fluxo de calor no solo, em parcela irrigada e não irrigada, respectivamente. Ainda esses autores encontraram relação inversa entre fluxo de calor sensível e fluxo de calor latente de evaporação. Villa Nova et al. (1975) não observaram concordância entre valores de LE e SR, isto pelo fato de LE depender primariamente do balanço de energia ao nível da superfície, que é defasado de seu valor ao nível de 0,80m. Quando a evaporação

for limitada, maior fração do SR é utilizado para o aquecimento do ar e para o aquecimento do solo (FCS).

Quadro 13: Relações entre SR, FCS, H e LE para os níveis 1-2 e 2-3 em condição de campo em ciclo de outono-inverno .

SR	FCS	LE1-2	LE2-3	H1-2	H2-3	1-2	2-3
						FCS+LE+H	FCS+LE+H
+808,04	-17,064	-695,84	-736,27	-47,46	-28,75	-760,36	-781,08
+100,0%	-2,11%	-86,11%	-91,12%	-5,87%	-3,56%	94,10%	96,66%

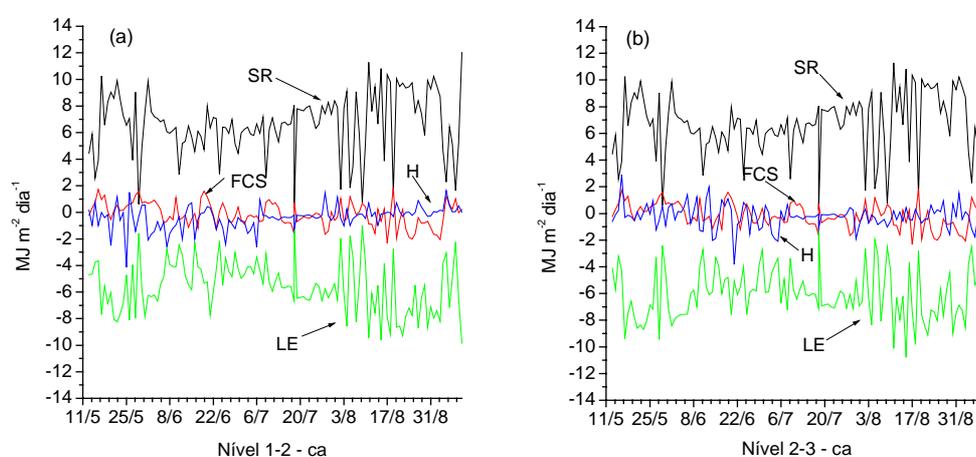


Figura 36: Variação do saldo da radiação (SR), fluxo de calor no solo (FCS), fluxo de calor latente (LE) e sensível (H) entre os níveis 1 e 2 (a) e 2 e 3 (b), em condição de campo, durante o ciclo de outono-inverno na cultura de pepino.

Para o ciclo de primavera-verão em ambiente protegido o fluxo de calor no solo representou 7,01% do total de energia disponível (SR). Valores integrados de LE representaram  $-101,10\%$ , ou seja, os fluxos de calor latente de evaporação superaram a energia disponível o que pode ser explicado por valores positivos de H ( $+5,49\%$ ) que representam entrada de energia para o meio através de advecção lateral ou armazenamento de calor no ambiente protegido. Considerando todos os fluxos totalizados ao longo do ciclo e seus respectivos sinais estes representaram para os níveis 1-2,  $102,62\%$  do saldo de radiação disponível (Figura 37 a e b e Quadro 14).

Quadro 14: Relações entre SR, FCS, H e LE para os níveis 1-2 e 2-3 em condição de ambiente protegido em ciclo de primavera-verão.

SR	FCS	LE1-2	LE2-3	H1-2	H2-3	1-2	2-3
						FCS+LE+H	FCS+LE+H
982,39	-68,90	-993,24	-683,16	+53,97	-153,26	1008,17	905,32
100,00%	-7,01%	-101,10	-69,54	+5,49	-15,60	102,62%	92,15%

A análise dos dados obtidos através dos cálculos de fluxos entre os níveis 2-3 mostram valores de LE totalizando  $-69,54\%$  do saldo de radiação e H representando  $-15,60\%$ . Totalizando os fluxos de LE, H e FCS obtemos  $92,15\%$  do saldo de radiação.

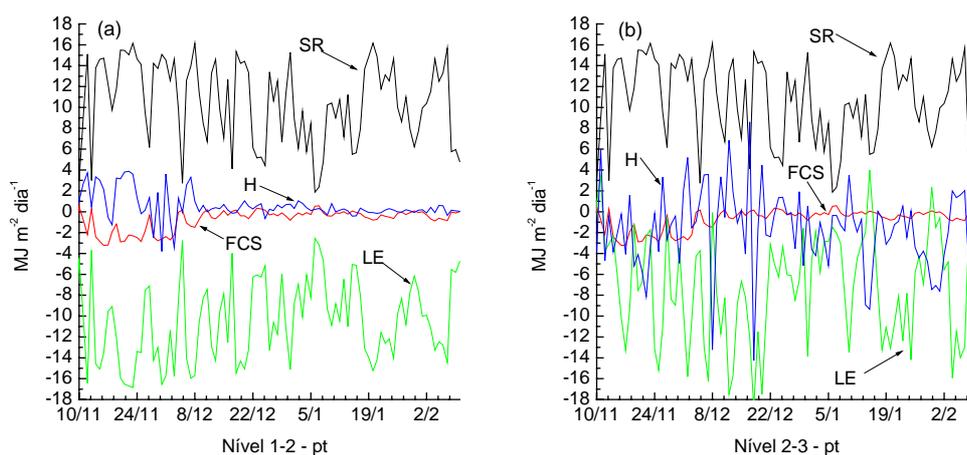


Figura 37: Variação do saldo da radiação (SR), fluxo de calor no solo (FCS), fluxo de calor latente (LE) e sensível (H) entre os níveis 1 e 2 (a) e 2 e 3 (b), em condição de ambiente protegido, durante o ciclo de primavera-verão na cultura de pepino.

Após a contabilização de todos os fluxos em condição de campo obteve-se os valores apresentados no Quadro 15. Podemos observar que o FCS representou  $-0,94\%$  da energia disponível, os fluxos de calor latente de evaporação representaram para os níveis 1-2 em percentual de  $-115,56\%$  superando os valores de SR resultado da contribuição

dos valores de H que representaram +14,97% de SR. Contabilizando H + LE + FCS chegamos a 1242,41 MJ m<sup>-2</sup> representando 1,53% superior a SR. Para os níveis 2-3 observa-se valores de LE da ordem de -109,52% de SR e H +17,25%, no somatório de todos os fluxos encontramos 1140,56 MJ.m<sup>-2</sup> ou 93,21% de SR (Figura 38 a e b).

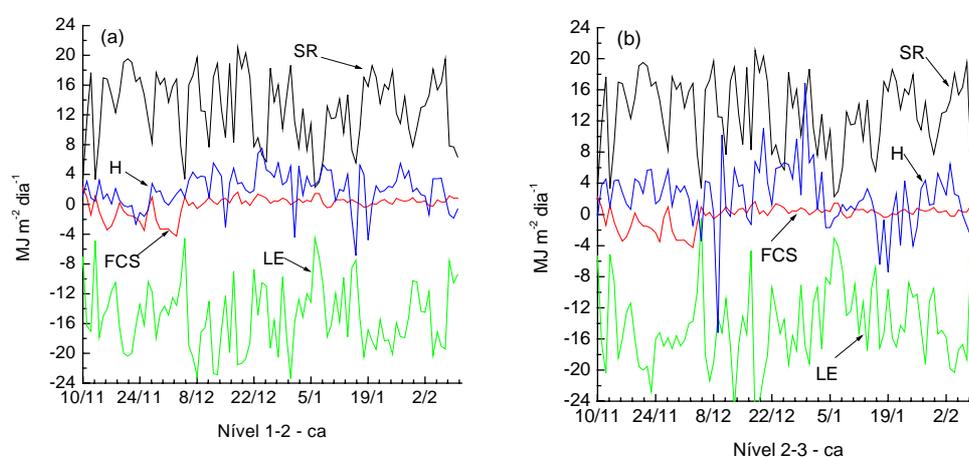


Figura 38: Variação do saldo da radiação (SR), fluxo de calor no solo (FCS), fluxo de calor latente (LE) e sensível (H) entre os níveis 1 e 2 (a) e 2 e 3 (b), em condição de campo, durante o ciclo de primavera-verão na cultura de pepino.

Quadro 15: Relações entre SR, FCS, H e LE para os níveis 1-2 e 2-3 em condição de campo em ciclo de primavera-verão.

SR	FCS	LE1-2	LE2-3	H1-2	H2-3	1-2		2-3	
						FCS+LE+H	FCS+LE+H		
1223,63	-11,45	-1413,97	-1340,15	+183,01	+211,04	1242,41	1140,56		
100,00%	-0,94%	-115,56	-109,5%	+14,97%	+17,25%	101,53%	93,21%		

#### 4.12.1 Validação do balanço de energia

Deve-se proceder a validação de estimativas do componente do balanço de energia, uma vez que os valores de Fluxo de calor sensível e fluxo de calor latente

são estimativas a partir de outros elementos, entre eles o fluxo de calor no solo e o saldo de radiação. Um método simplificado é estabelecer as relações entre o somatório do fluxo de calor latente e sensível ( $H + LE$ ) e a energia disponível representado pelo somatório do saldo de radiação e o fluxo de calor no solo ( $SR + FCS$ ).

A Figura 39 (*a, b, c e d*) apresenta os valores da relação  $H+LE$  e  $SR-FCS$  para o ciclo de outono-inverno sobre cultura de pepino entre os níveis 1-2 e 2-3 nas condições de ambiente protegido e a campo, respectivamente.

Observa-se em condição de ambiente protegido que os valores do coeficiente de determinação foram mais elevados para ambos os níveis sobre a cultura, 0,87 e 0,81 contra 0,70 e 0,61, para os níveis 1-2 e 2-3, respectivamente. De modo geral a medida que se eleva acima do dossel da cultura os valores de  $r^2$  tendem a diminuir evidenciando o maior efeito do turbilhamento da atmosfera e inversão dos gradientes de temperatura e umidade nestes níveis. Silva et al. (1999) trabalhando com valores instantâneos ( $W m^{-2}$ ) obtidos sobre gramado encontraram para a relação  $SR - FCS$  versus  $LE + H$  coeficientes de determinação da ordem de 0,89 e 0,92 para dois dias de medidas. Prueger et al. realizaram análises semelhantes e encontraram para condições de baixa velocidade do vento razão  $(LE+H/SR-FCS)$  de 0,85, e afirmam que este valor é considerado aceitável para estudos de balanço de energia sobre culturas.

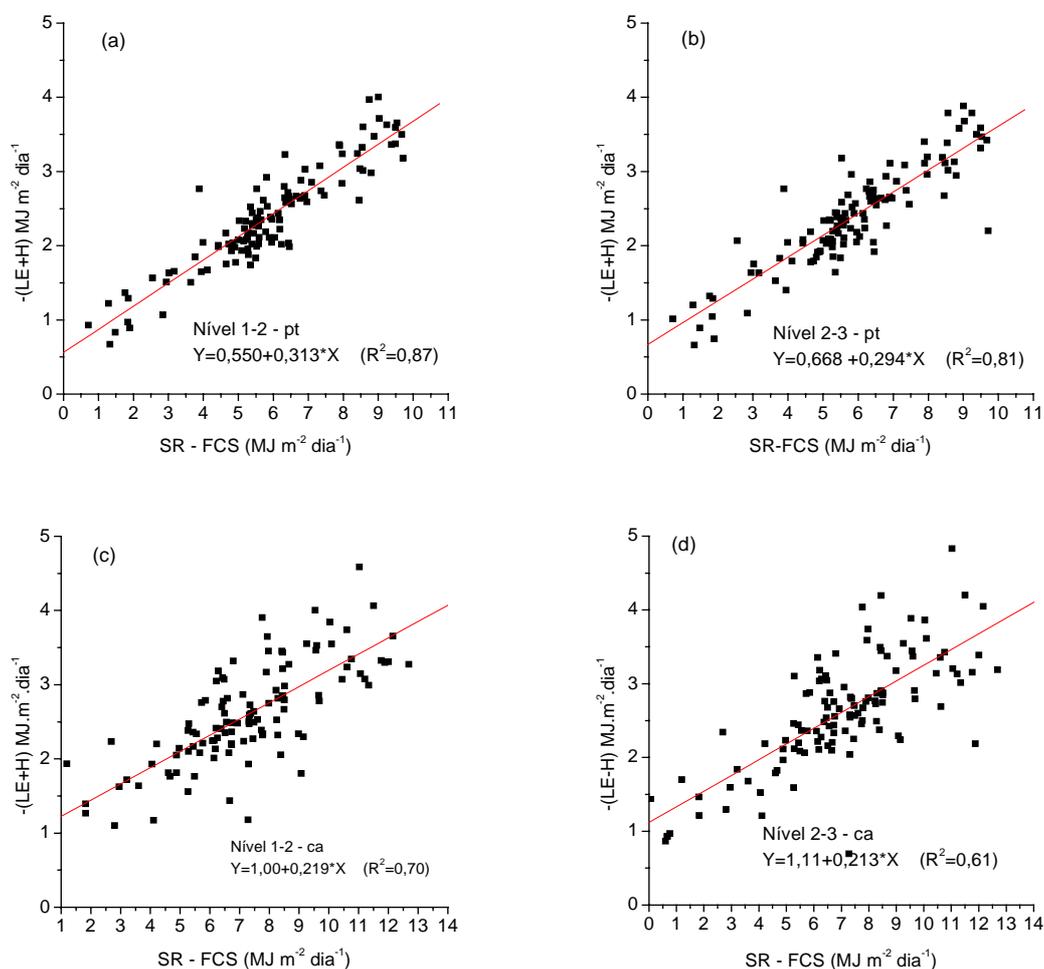


Figura 39: Componentes do balanço de energia para o ciclo de outono-inverno em condições de ambiente protegido (a e b) e a campo (c e d) sobre cultura de pepino, nos níveis 1-2 e 2-3.

A Figura 40 (a, b, c e d) apresentam os valores da relação H+LE e SR-FCS para o ciclo de primavera-verão sobre cultura de pepino entre os níveis 1-2 e 2-3 nas condições de ambiente protegido e a campo, respectivamente.

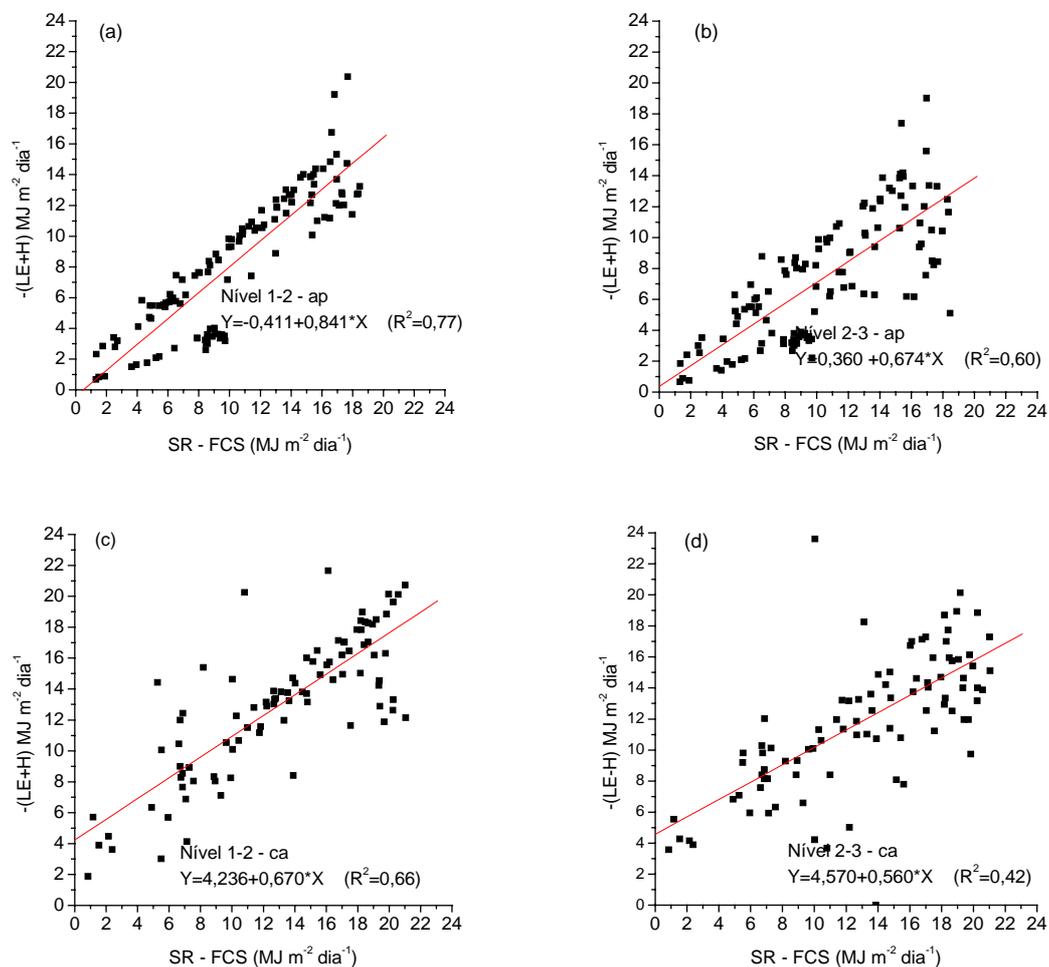


Figura 40: Componentes do balanço de energia para o ciclo de primavera-verão em condições de ambiente protegido (a e b) e a campo (c e d) sobre cultura de pepino, nos níveis 1-2 e 2-3.

Os coeficientes de determinação da relação SR-FCS versus LE+H para o ciclo de primavera-verão foram inferiores aos do ciclo de outono-inverno em ambos os ambientes e níveis acima do dossel da cultura. Para o ambiente protegido encontramos  $r^2$  da ordem de 0,77 e 0,60 para os níveis 1-2 e 2-3, respectivamente. A condição de campo apresentou para o nível 1-2 um  $r^2$  da ordem de 0,66 e para o nível 2-3 de 0,42. Semelhante ao ciclo de outono-inverno os coeficientes de correlação mais baixos ocorreram justamente nos níveis mais elevados acima do dossel da cultura, isso pode estar associado, também, além das

razões apresentadas no item anterior, à limitação do método do balanço de energia, que preconiza que as medidas sejam efetuadas “*a uma baixa altura e dentro de área tampão suficientemente extensa, onde as divergências horizontais de calor latente e sensível sejam desprezíveis, ou seja considerando apenas o balanço vertical*”, o que pode não ter ocorrido em função da área tampão não ter sido suficientemente extensa para tornar desprezível a advecção de calor sensível de áreas vizinhas.

#### **4.13 Índice de Área foliar**

Em ciclo de outono-inverno a área foliar máxima ocorreu na 13<sup>a</sup> semana após o transplântio (SAT) em condição de ambiente protegido, quando este apresentou 5,33 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>. Para a condição de campo a área foliar máxima ocorreu na 11<sup>a</sup> SAT atingindo valores médios de 2,27 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup> (Figura 41 a). Esse atraso entre a data de ocorrência de área foliar máxima em ambiente protegido e a campo, pode ser explicado em função da condição de campo a partir da 11<sup>a</sup> SAT sofrer efeitos de estresse mecânico provocado pelo vento. Assim, nessa condição o crescimento foi paralisado a partir da 11<sup>a</sup> SAT, enquanto que em ambiente protegido, que ofereceu melhores condições de desenvolvimento e crescimento, esse máximo foi ocorrer 2 semanas após, ou seja na 13<sup>a</sup> SAT.

O índice de área foliar ao longo do ciclo de primavera-verão apresentou variação semelhante em condição de ambiente protegido e a campo conforme mostra a Figura 41 b. Até a 5<sup>a</sup> SAT observa-se crescimento acentuado da cultura que tende a estabilizar-se entre as semanas de número 6 até a 11<sup>a</sup>, quando começa a decrescer em função da senescência de algumas folhas. O IAF máximo em condição de ambiente protegido ocorreu

na 6<sup>a</sup> SAT com valor da ordem de  $6,87 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ . Para as condições de campo este máximo ocorreu entre na 8<sup>a</sup> SAT com máximo de  $6,78 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ . A curva de coeficiente de reflexão apresentada na Figura 30 a e b mostra bem o papel do IAF na reflexão da cobertura foliar, principalmente em ciclo de primavera-verão.

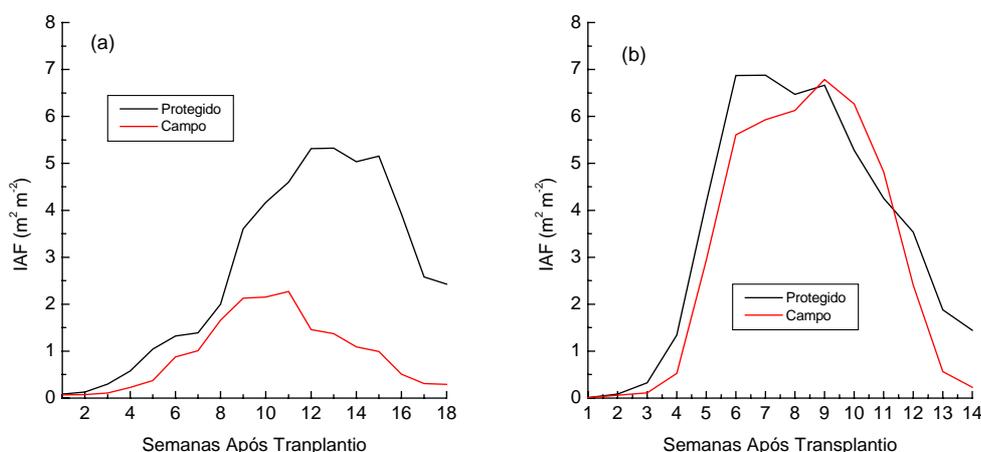


Figura 41: Índice de Área Foliar em condição de ambiente protegido (IAF<sub>pt</sub>) e a campo (IAF<sub>ca</sub>) em ciclos de outono-inverno (a) e primavera-verão (b).

A Figura 42 (a, b, c e d) mostra a variação da formação do dossel da cultura cultivado no período de primavera-verão em condição de ambiente protegido. Observa-se nas primeiras semanas pequena cobertura do solo e na 6<sup>a</sup> SAT cobertura quase total do solo, período este que apresentou os maiores valores de coeficiente de reflexão.



(a)

(b)



(c)

(d)

Figura 42: Vista da cultura de pepino em ciclo de primavera-verão em ambiente protegido na 1ª SAT (a), 2ª SAT (b), 4ª SAT (c) e 6ª SAT (d).

#### 4.13.1 Estimativa de Índice de Área Foliar

Na Figura 43 (a e b) observamos as curvas de ajuste de IAF obtido por modelos polinomiais de 3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> ordem para o ciclo de outono-inverno. Observa-se boa relação com coeficientes de determinação ( $r^2$ ) da ordem de 0,964 e 0,940 para as condições de ambiente protegido e a campo, respectivamente. O melhor ajuste para a condição de ambiente protegido é resultado de um crescimento e desenvolvimento da cultura mais constante ao longo do ciclo. Em condição de campo a cultura encontrava-se mais exposta as variações do meio, apresentando variações nas taxas de crescimento, devido, principalmente, ao estresse mecânico provocado pelo vento. Destaca-se ainda nessa condição a ocorrência de pragas que danificaram e alteraram o valor absoluto da área foliar.

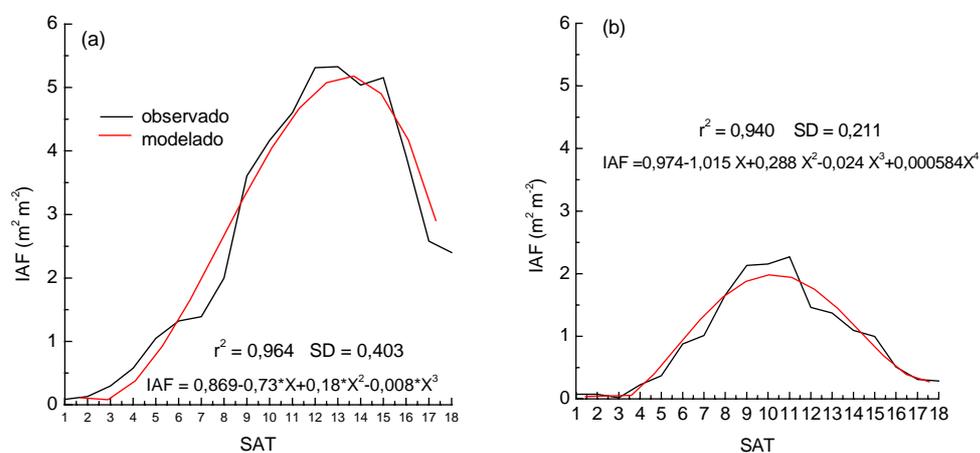


Figura 43: Índice de Área Foliar (IAF) ao longo do ciclo da cultura de pepino no período de outono-inverno em condição de ambiente protegido (a) e a campo (b) em semanas após o transplântio (SAT).

Relacionando-se IAF com SAT (x) obteve-se os seguintes modelos:

$$IAF_{pt}=0,869-0,73x+0,18x^2-0,008x^3 \quad (R^2 = 0,964, SD = 0,403)$$

$$IAF_{ca}=0,974-1,015x+0,288x^2-0,024x^3+0,000584x^4 \quad (R^2 = 0,940, SD = 0,211)$$

Yang et al., (1990) encontraram relações entre IAF e altura de plantas de pepino (h) através de modelos lineares do tipo  $IAF = a+b.h.$ , com coeficientes de determinação da ordem de 99%, onde x representa a altura das plantas.

O ciclo de primavera-verão apresentou melhores coeficientes de determinação quando comparado com o ciclo de outono-inverno, tal fato ocorre devido a taxa de crescimento relativa e absoluta da cultura neste período apresentar valores mais constantes ao longo do ciclo. Esse crescimento mais constante pode ser observado na Figura 44 (a e b), observa-se ligeiro aumento do IAF com tendência a um valor máximo e, conseqüente decréscimo nas semanas seguintes.

Os modelos ajustados através de regressão polinomial, apresentaram boa concordância com dados medidos, podendo assim conhecer o IAF através dos seguintes modelos:

$$IAF_{int}=2,619-3,913x+1,515x^2-0,161x^3+0,005x^4 \quad (r^2 = 0,959, SD = 0,642);$$

$$IAF_{ext}=3,807-4,893x+1,635x^2-0,161x^3+0,005x^4 \quad (r^2 = 0,968, SD = 0,597).$$

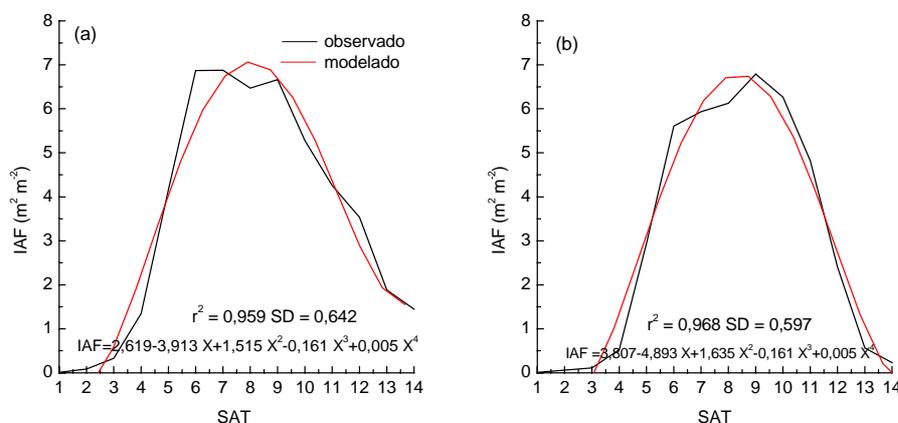


Figura 44: Índice de Área Foliar (IAF) ao longo do ciclo de primavera-verão em condição de ambiente protegido (a) e a campo (b) em semanas após o transplântio (SAT).

#### 4.14 Relação entre saldo de radiação e produtividade da cultura

O rendimento ou produtividade obtida por uma cultura é determinado, principalmente, pela oferta sazonal de energia solar cuja utilização é condicionada por outros elementos, como umidade do solo e temperatura (Health et al., 1985). Relacionando os valores de saldo de radiação acumulado ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ semana}^{-1}$ ) ao longo do ciclo da cultura de pepino com a produtividade ( $\text{kg m}^{-2} \text{ semana}^{-1}$ ), obteve-se os modelos apresentados no Quadro 16 representados na Figura 45 (a e b).

Quadro 16: Coeficientes obtidos através de modelo logístico para a relação entre saldo de radiação acumulado ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ semana}^{-1}$ ) ao longo do ciclo da cultura de pepino e a produtividade ( $\text{kg m}^{-2} \text{ semana}^{-1}$ ), em ciclo de outono-inverno.

	Coeficientes			
	$Y_{oo}$	c	d	$r^2$
Ambiente protegido	21,487	474,840	98,150	0,998
Campo	4,002	225,976	125,087	0,997

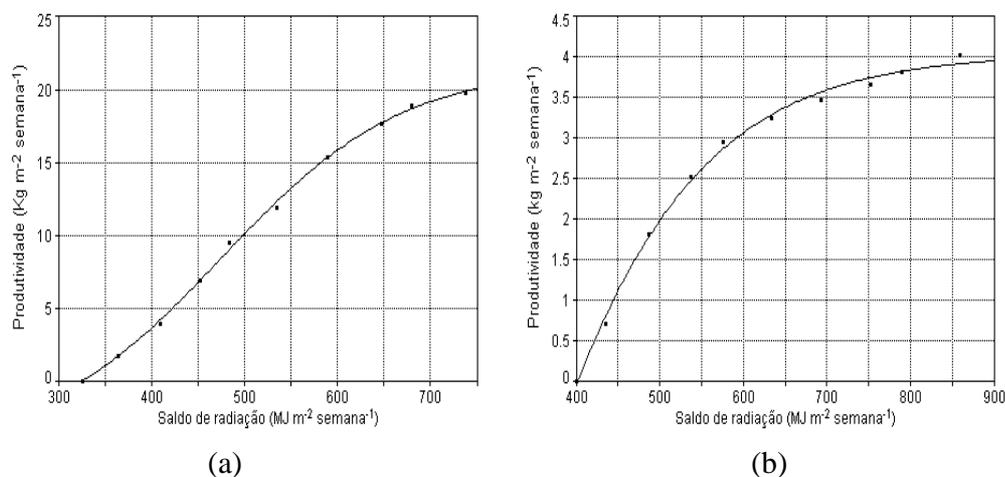


Figura 45: Relação entre produtividade ( $\text{kg m}^{-2} \text{semana}^{-1}$ ) e saldo de radiação acumulado ( $\text{MJ m}^{-2} \text{semana}^{-1}$ ) para o ciclo de outono-inverno nas condições de ambiente protegido (a) e a campo (b).

O saldo de radiação acumulado ao longo do ciclo de outono-inverno totalizou  $693,68 \text{ MJ m}^{-2}$  em ambiente protegido, com uma produtividade acumulada de  $19,98 \text{ Kg m}^{-2}$ . Em condição de campo o saldo acumulado totalizou-se  $808,04 \text{ MJ m}^{-2}$  e uma produtividade total de  $4,01 \text{ Kg m}^{-2}$ . A relação  $\text{MJ kg}^{-1}$  foi de  $34,72$  e  $201,51$  para as condições de ambiente protegido e a campo, respectivamente, mostrando maior eficiência do ambiente protegido na conversão de energia.

Para o ciclo de primavera-verão o saldo de radiação totalizou em ambiente protegido  $982,39 \text{ MJ m}^{-2}$  e uma produtividade acumulada de  $26,81 \text{ kg m}^{-2}$ , obtendo-se assim uma relação  $\text{MJ kg}^{-1}$  de  $36,64$ . A condição de campo totalizou  $1.223,63 \text{ MJ m}^{-2}$  e uma produtividade total de  $22,55 \text{ kg m}^{-2}$ , obtendo-se assim uma relação  $\text{MJ kg}^{-1}$  de  $54,26$ . A Figura 46 (a e b) mostra a curva ajustada a partir da relação entre o saldo de radiação e a produtividade acumulada em ciclos de primavera-verão e seus coeficientes encontram-se representados no Quadro 17.

Quadro 17: Coeficientes obtidos através de modelo logístico para a relação entre saldo de radiação acumulado ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ semana}^{-1}$ ) ao longo do ciclo da cultura de pepino e a produtividade ( $\text{kg m}^{-2} \text{ semana}^{-1}$ ), em ciclo de primavera-verão.

	Coeficientes			
	$Y_{00}$	c	d	$r^2$
Ambiente protegido	25,594	626,149	60,915	0,996
Campo	21,861	738,889	92,249	0,996

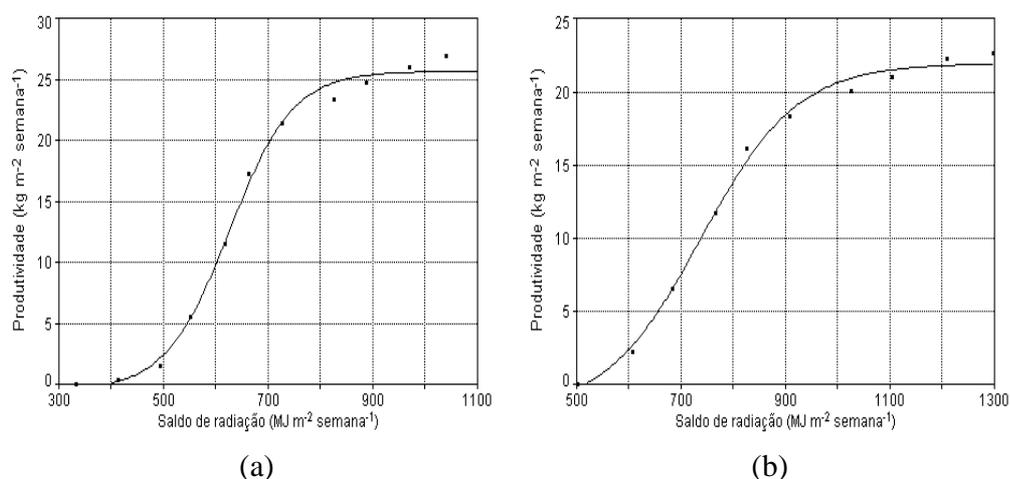


Figura 46: Relação entre produtividade ( $\text{kg m}^{-2} \text{ semana}^{-1}$ ) e saldo de radiação acumulado ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ semana}^{-1}$ ) para o ciclo de primavera-verão nas condições de ambiente protegido (a) e a campo (b).

#### 4.15 Relação entre radiação fotossinteticamente ativa e produtividade

A radiação solar no comprimento de onda de 400 a 700  $\text{nm}$ , que excita moléculas de clorofila e que dá início ao fluxo de energia requerida na fotossíntese, é denominada radiação fotossinteticamente ativa – RFA ou PAR (Maccree, 1972).

Os modelos ajustados foram semelhantes àqueles obtidos com o saldo de radiação acumulado apresentado no item anterior (Figura 47 a, b, c e d) e seus coeficientes encontram-se representados no Quadro 18.

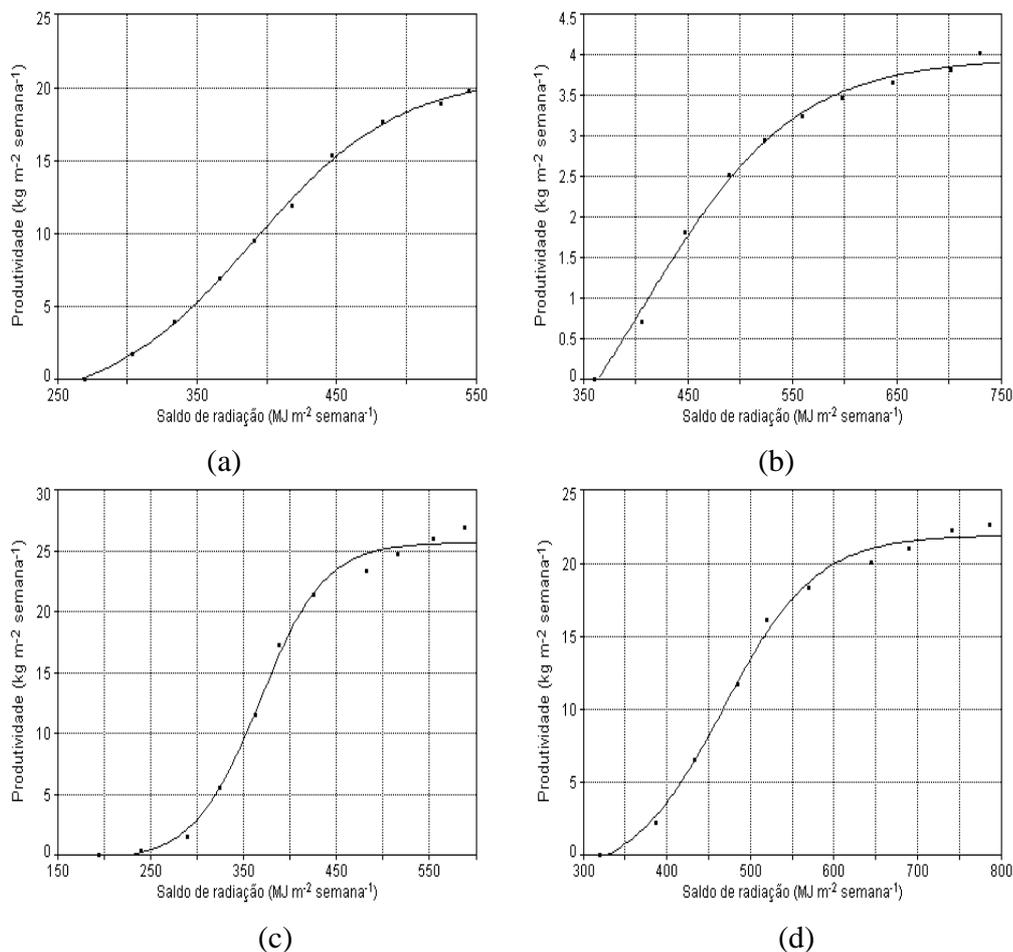


Figura 47: Relação entre radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e produtividade em condição de ambiente protegido (a e c) e a campo (b e d) em ciclos de outono-inverno (a e b) e primavera-verão (c e d).

Em ciclo de outono-inverno a PAR acumulada totalizou 545,24 e 729,86 MJ m<sup>-2</sup> em condição de ambiente protegido e a campo, respectivamente, obtendo-se assim uma relação (PAR<sub>pt</sub>/PAR<sub>ca</sub>) de 75,0%. Tal valor difere da transmissividade calculado para o espectro de ondas curta (G<sub>pt</sub>/G<sub>ca</sub>), quando obteve-se para o primeiro ciclo 70,77%. A relação PAR/Global e PAR<sub>pt</sub>/PAR<sub>ca</sub> pode ser afetada pela pressão atmosférica, elevação solar, turbidez atmosférica e ocorrência de precipitação pluvial (Alados et al, 1996).

O ciclo de primavera-verão apresentou PAR acumulada de 587,87 e 786,56 MJ m<sup>-2</sup>, obtendo-se uma relação de 74,7%, valor muito próximo daquele obtido para as componente global que foi de 74,92%. Em termos de eficiência energética (PAR/kg m<sup>-2</sup>) obteve-se para o ciclo de outono-inverno relação de 27,29 e 182,01 MJ kg<sup>-2</sup>, respectivamente para as condições de ambiente protegido e a campo. O ciclo de primavera-verão mostrou valores da ordem de 21,93 para o ambiente protegido e, 34,88 MJ m<sup>-2</sup> a campo. A cultura no ambiente protegido apresenta uma melhor conversão energética que a campo, sendo essa diferença mais significativa no ciclo de outono-inverno, mostrando a maior importância do cultivo nesse tipo de ambiente neste período do ano.

Quadro 18: Coeficientes ajustados por modelo logístico para a relação PAR e Produtividade em ciclo de outono-inverno e primavera-verão nas condições de ambiente protegido e a campo.

Outono-inverno – pt	Y <sub>oo</sub>	c.	d.	r <sup>2</sup>
	20,714	390,084	52,487	0,999
Outono-inverno – ca	Y <sub>oo</sub>	c.	d.	r <sup>2</sup>
	3,947	406,666	73,040	0,995
Primavera-verão – pt	Y <sub>oo</sub>	c.	d.	r <sup>2</sup>
	25,616	367,029	35,180	0,996
Primavera-verão – ca	Y <sub>oo</sub>	c.	d.	r <sup>2</sup>
	21,842	467,970	55,354	0,995

#### 4.16 Relação entre IAF e produtividade

A produtividade total do ciclo de outono-inverno foi de 20,56 e 4,99 kg m<sup>-2</sup>, para a condição de ambiente protegido e a campo, respectivamente. Tal diferença

associa-se a uma condição de exposição desse meio a elevadas amplitudes térmicas ao longo do dia e do ciclo, e também, o estresse mecânico provocado pelo vento (média no ambiente protegido de  $0,118 \text{ m s}^{-1}$  e a campo de  $2,06 \text{ m s}^{-1}$ ) que danificou o caule da cultura, provocando a morte dos tecidos e, posteriormente, da planta. Outra possível razão está associado as frações da irradiância difusa, que em ambiente protegido e em dias de céu limpo tendem a ser proporcionalmente maiores devido a difusão pelo polietileno, possibilitando maior aproveitamento pela cultura, pelo fato de propagar-se em todas as direções, não limitando-se, portanto, as folhas superiores da cultura, aumentando a eficiência fotossintética por toda superfície de área foliar da planta.

Como o IAF relaciona-se com a produção de matéria seca e, conseqüente, produção total da cultura (Mota, 1981) relacionou-se a produtividade em  $\text{kg m}^{-2} \text{ semana}^{-1}$  com o IAF através de modelos exponenciais do tipo  $Y = a * e^{c * IAF}$ , obtendo os seguintes modelos:

Outono-inverno:

$$P_{pt} = 0,426 * e^{0,364 * IAF}$$

$$P_{ca} = 0,133 * e^{0,887 * IAF}$$

Primavera-verão:

$$P_{pt} = 0,4597 * e^{0,322 * IAF}$$

$$P_{ca} = 0,4297 * e^{0,360 * IAF}$$

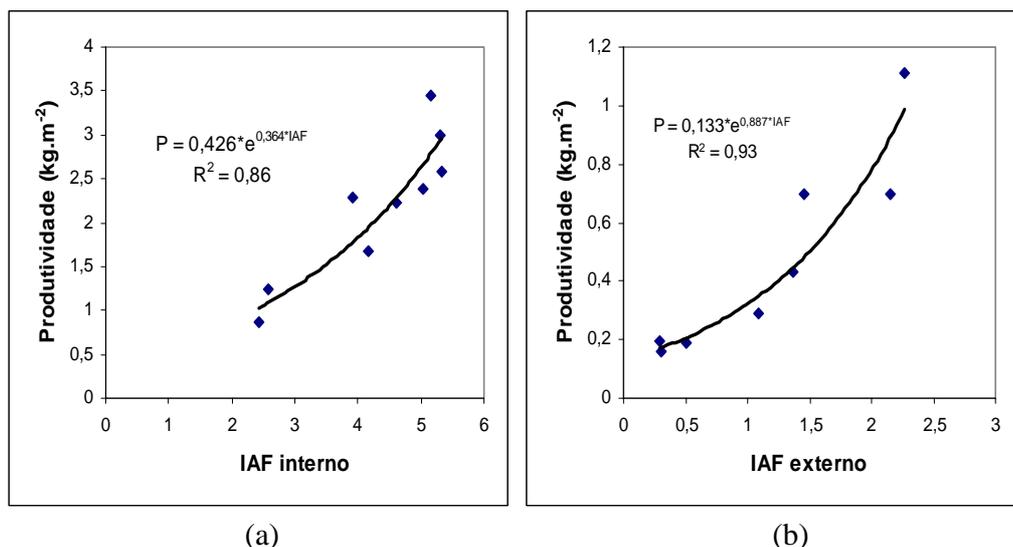


Figura 48: Relação entre IAF e produtividade durante o ciclo da cultura de pepino em condição de ambiente protegido (a) e a campo (b).

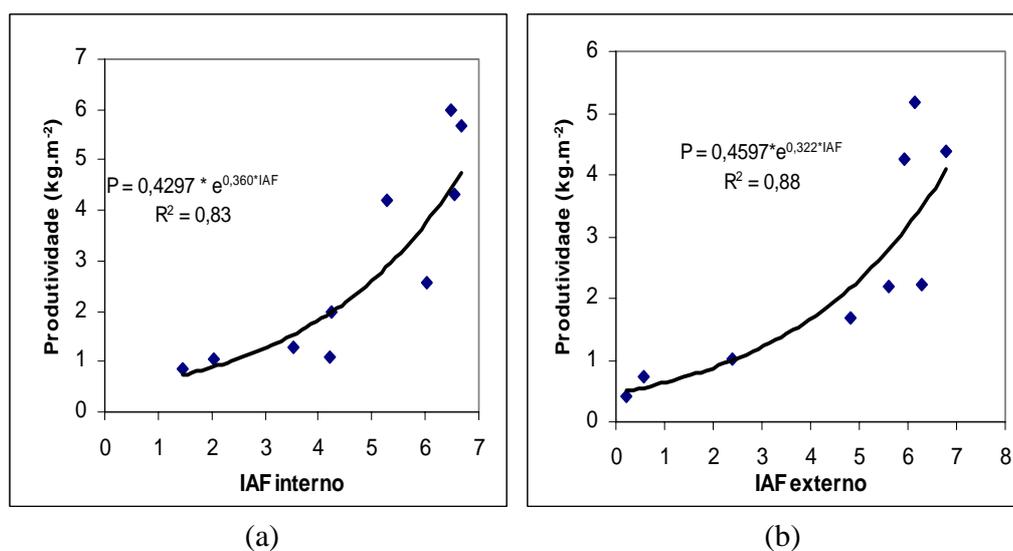


Figura 49: Relação entre Índice de Área Foliar (IAF) e produtividade no período de primavera-verão em condição de ambiente protegido (a) e a campo (b).

Comparando os modelos obtidos nos ciclos de outono-inverno (Figura 49 a e b) e primavera-verão (Figura 50 a e b) em condição de ambiente protegido e a campo não observou-se diferença estatística entre os coeficientes, podendo quaisquer um dos modelos serem utilizados. Por outro lado, em condição de campo os coeficientes dos modelos

apresentam-se significativamente diferentes, recomendando-se o uso de um modelo para cada período.

#### 4.17 Relação entre matéria seca e PAR

A matéria seca obtida através de média de duas plantas semanais em cada ambiente encontram-se representados na Figura 50 (a e b). A matéria seca total acumulada foi de 144,256 e 46,38 g planta<sup>-1</sup>, para o ciclo de outono-inverno em condições de ambiente protegido e a campo, respectivamente. Relacionando a matéria seca acumulada com a PAR obtém-se uma eficiência energética da ordem de 3,78 e 15,74 MJ g<sup>-1</sup>, evidenciando maior eficiência da cultura na produção de matéria seca no ambiente protegido.

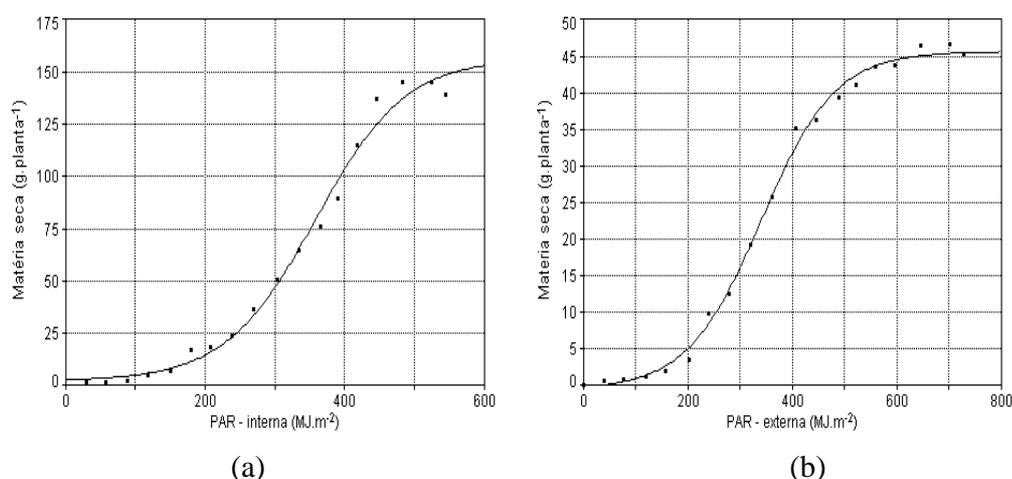


Figura 50: Relação entre matéria seca acumulada (g planta<sup>-1</sup> semana<sup>-1</sup>) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em ciclo de outono-inverno em condição de ambiente protegido (a) e a campo (b).

Os coeficientes dos modelos ajustados apresentados na Figura 50 a e b, mostram boa relação entre valores medidos e modelados conforme podemos observar pelos elevados coeficientes de correlação (Quadro 19).

Quadro 19: Coeficientes ajustados por modelo logístico para a relação PAR e matéria seca em ciclo de outono-inverno nas condições de ambiente protegido e a campo.

Outono-inverno – pt	$Y_{oo}$	c.	d.	$r^2$
	156,288	358,242	65,313	0,991
Outono-inverno – ca	$Y_{oo}$	c.	d.	$r^2$
	45,474	340,609	70,827	0,997

O ciclo de primavera-verão apresentou uma produção de matéria seca total acumulada da ordem de 207,822 g planta<sup>-1</sup> para o ambiente protegido e 199,64 g planta<sup>-1</sup> para a condição de campo. A conversão energética para este ciclo foi de 2,83 e 3,94 MJ g<sup>-1</sup> para os ambientes protegido e a campo, respectivamente (Figura 51 a e b). Em relação ao ciclo de outono-inverno as diferenças entre a eficiência energética da cultura não foram tão significativas. Os coeficientes ajustados para a relação entre PAR e matéria seca encontram-se representados abaixo, podemos observar elevada relação entre valores medidos e estimados, conforme mostra os valores do coeficiente de determinação (Quadro 20).

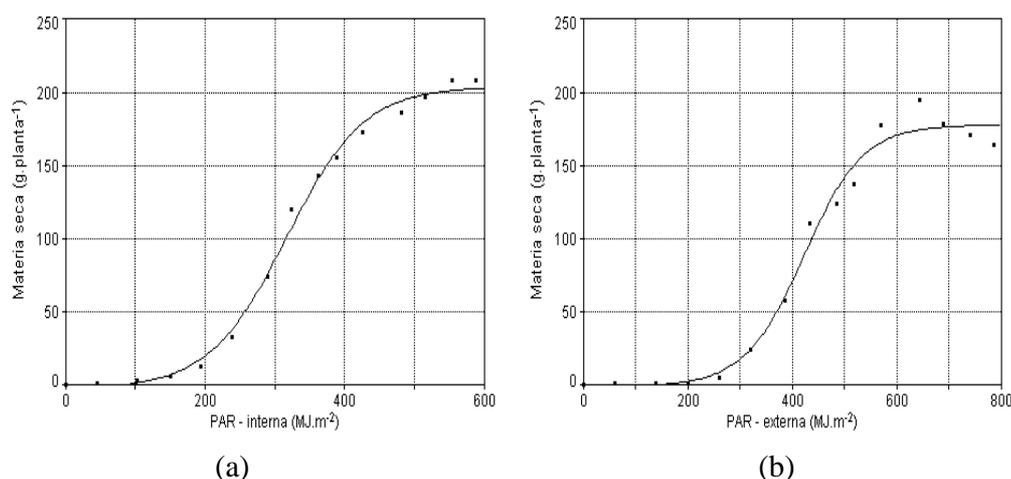


Figura 51. Relação entre matéria seca acumulada (g planta<sup>-1</sup>) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em ciclo de primavera-verão em condição de ambiente protegido (a) e a campo (b).

Quadro 20: Coeficientes ajustados por modelo logístico para a relação PAR e matéria seca em ciclo de primavera-verão nas condições de ambiente protegido e a campo.

Primavera-verão - pt	$Y_{oo}$	c.	d.	$r^2$
	203,153	316,616	55,420	0,996
Primavera-verão – ca	$Y_{oo}$	c.	d.	$r^2$
	177,005	422,574	56,525	0,986

#### 4.18 Produtividade

O Quadro 21 mostra a produtividade total da cultura de pepino cultivado em ambiente protegido e a campo em período de outono-inverno e primavera-verão. Observa-se não existir diferença estatística significativa entre os ambientes em ciclo de primavera-verão, sendo está diferença significativa em ciclo de outono-inverno.

Quadro 21: Análise estatística através do teste de Tukey dos valores semanais de produtividade ( $\text{kg m}^{-2} \text{ semana}^{-1}$ ) em condição de ambiente protegido e a campo em ambos os ciclos de cultivo.

Produtividade total ( $\text{kg.m}^{-2}$ )				
	Ciclo de outono-inverno		Ciclo de primavera-verão	
Amb. protegido	19,98 a	Amb. protegido	26,81 a	
Cond. de campo	4,01 b	Cond. de campo	22,55 a	

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

O Quadro 22 apresenta os valores de número de frutos, comprimento e perímetro para os ciclos de cultivo e condições de ambiente protegido e a campo.

Quadro 22: Número de frutos, comprimento (cm), perímetro (cm), peso médio de frutos (g) em condição de ambiente protegido e a campo em ambos os ciclos de cultivo.

	Outono-inverno		Primavera-verão	
	Protegido	Campo	Protegido	Campo
Nº de frutos	113	64	148	145
Comprimento	23,12	16,71	24,37	23,67
Perímetro	11,49	8,73	11,12	10,27
Peso médio	182,3	77,95	181,15	155,51

O número de frutos, comprimento e perímetro apresentaram diferença significativa em ciclo de outono-inverno e não significativa em ciclo de primavera-verão, resultando em diferenças significativas de produção total entre os ambientes. Com relação ao peso médio dos frutos ocorreram diferenças significativas entre os ambientes para ambos os ciclos de cultivo.

O Quadro 23 apresenta um resumo de todas as observações efetuadas e discutidas nas páginas anteriores.

Quadro 23: Parâmetros meteorológicos monitorados ao longo do ciclo cultura de pepino em cultivo de outono-inverno e primavera-verão no ambiente protegido e a campo.

Parâmetros	Cultivo de outono-inverno		Cultivo de primavera-verão	
	Ambiente protegido	Condição de campo	Ambiente protegido	Condição de campo
Tar (°C)	18,40	18,45	21,83	21,85
Tsolo 0,1 m (°C)	19,78	20,34	24,95	24,24
Tsolo 0,2 m (°C)	19,57	19,60	24,57	24,82
Tsolo 0,3 m (°C)	20,32	19,39	25,20	24,52
UR do ar (%)	78,05	75,91	77,53	77,36
SR (MJ.m <sup>-2</sup> )	693,68	808,04	982,39	1.223,63
G↓ (MJ.m <sup>-2</sup> )	1.150,45	1.626,65	1.386,72	1.832,63
tλ (%)		70,77		74,92
Difusa (MJ.m <sup>-2</sup> )	579,21	571,57	745,52	813,99
R↑ (MJ.m <sup>-2</sup> )	175,69	262,59	279,75	320,54
SRoc (MJ.m <sup>-2</sup> )	968,47	1.337,67	1.117,26	1.497,48
SRol (MJ.m <sup>-2</sup> )	-274,79	-529,63	-134,87	-273,85
PAR (MJ.m <sup>-2</sup> )	545,3	729,8	587,9	786,6
FCS (MJ.m <sup>-2</sup> )	+2,51 (*)	-17,06	-68,90	-11,45
Vvento(m.s <sup>-1</sup> )	0,118	2,06	0,0699	2,012
Coefficiente de reflexão (%)	15,6	17,6	20,6	17,7
IAFmáximo	5,33 (12 <sup>a</sup> SAT)	2,27 (11 <sup>a</sup> SAT)	6,88 (7 <sup>a</sup> SAT)	6,79 (9 <sup>a</sup> SAT)
Ptotal(kg.m <sup>-2</sup> )	19,98	4,01	26,81	22,55

(\*) Valores negativos de FCS representam saída de energia do meio para níveis inferiores do solo.

## 5. CONCLUSÕES

Para as condições experimentais concluímos que:

- A cultura do pepino cultivado em condição de ambiente protegido apresentou ganhos significativos de produtividade em relação a condição de campo com 19,98 e 4,01 kg m<sup>-2</sup> de canteiro para o ambiente protegido e a campo, no ciclo de outono-inverno e, não significativos com 26,81 e 22,55 kg m<sup>-2</sup> de canteiro para o ciclo de primavera-verão.
- A transmissividade do polietileno a radiação solar global foi alterado em função da época do ano e do tempo de exposição do material passando de 70,77% no período de outono-inverno para 74,92% no período de primavera-verão.
- A temperatura média e a umidade relativa do ar não apresentaram diferenças significativas entre os ambientes protegido e a campo;
- A temperatura do solo apresentou diferença significativa nas profundidades de 0,1 e 0,3 m de profundidade nas condições de ambiente protegido e a campo em ambos os ciclos de cultivo. Para a profundidade de 0,2 m não se observou diferença significativa entre os ambientes e ciclos de cultivo;
- A velocidade do vento apresentou média de 0,118 e 2,06 m s<sup>-1</sup> para as condições de ambiente protegido e a campo em ciclo de outono-inverno, e média de 0,069 e 1,973 m s<sup>-1</sup> em ciclo de primavera-verão nas condições de ambiente protegido e a campo, respectivamente;
- A eficiência energética (MJ g<sup>-1</sup>) da cultura foi maior no ambiente protegido em ambos os ciclos de cultivo;

- O saldo de radiação de ondas longas foi maior (mais negativo) na condição de campo;
- Pode-se estimar a produtividade ( $\text{kg m}^{-2}$ ) da cultura do pepino para ambas as condições e ciclos de cultivo a partir da relação com o saldo de radiação e com a radiação fotossinteticamente ativa a partir do modelo logístico;
- A variação do coeficiente de reflexão da cultura do pepino cultivado em ciclo de primavera-verão foi função do índice de área foliar. Em ciclo de outono-inverno em condição de campo não se observou boa relação entre coeficiente de reflexão e índice de área foliar;
- O coeficiente de reflexão da cultura de pepino em ciclo de primavera-verão pode ser estimado em função do número de dias após o transplante, fazendo uso do modelo de distribuição normal;
- O método do balanço de energia apresentou valores mais consistentes quando obtidos em condição de ambiente protegido em ciclo de outono-inverno.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALADOS, I., FOYO-MORENO, I., ALADOS, A. Photosynthetically active radiation: measurements and modeling. *Agric. and For. Meteorol.*, v.78, p.121-31, 1996.
- ALFONSI, R. R., SANTOS FILHO, B. G., PEDRO JUNIOR, M. J., BRUNINI, O., CAMARGO, M. B. P. Balanço de energia em milho. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v. 21, p. 1233-5, 1986.
- ALFONSO OSORIO, U., ELICIO MORAGA, O., RECAREDO ORELLANA, C. Efectos de siembra sobre el comportamiento productivo de tres cultivares de pepino en salada (*Cucumis sativus*, L) bajo condiciones de invernadero e riego por goteo. *IDESIA*, v.8, p.55-62, 1984.
- ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M. *Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage 56., Rome, 1998. (<http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>)
- ALPI, A., TOGNONI, F. *El cultivo en invernadero*. Lisboa: Presença, 1984. 196p.
- AL-RIahi, M., AL-KARAGHOULI, A., HASSON, A. M., AL-KAYSSI, 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.

- AZEVEDO, P. V., LEITÃO, M. de M. V. B. R., COSTA, J. de P. R. Balanço de energia numa cultura de soja irrigada nas condições semi-áridas do Nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOLOGIA, 6, 1989, Maceió, *Anais...Maceió*: INPE/SBA/UFAL, 1989. p.427-35.
- 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. *Rev. Bras. de Meteorol.*, v.5, p.403-10, 1990.
- AZEVEDO, P.V., TEIXEIRA, A.H. de 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. *Rev. Bras. de Agrometeorol.*, 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., OMETTO, J. C., VIEIRA, H. J., ANGELOCCI, L. R., LIBARDI, P. L. Deficiência hídrica em feijoeiro. II Balanço de energia. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v. 23, p. 745-57, 1988.
- BLAD, L. B., BAKER, D. G. Reflected radiation from a soybean crop. *Agron. J.*, v.6, p.277-81, 1972.
- BLOM, T., FISHER, C., INGRITTA, F. *Growing greenhouse vegetables*. Ontário: Ministry of Agriculture an Food, 1988. 54p.
- BORSATTO, R. C., SENTELHAS, P. C., MINAMI, K. Avaliação da influência da coloração da cobertura plástica (PVC) na incidência da radiação solar no interior de estufas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, ENCONTRO LATINO AMERICANO DE AGROMETEOROLOGIA, 2, 1999, Florianópolis. *Anais... Florianópolis*, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999. (Editado em CD-ROM).
- BOTNAR, V. F., CHICHKIN, V. P. Programming of vegetable crop yields considering ecological factors. *Acta Hortic. (Wageningen)*, n.260, p.221-35, 1989.
- BOWEN, I. S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Phys. Rev.*, v.27, p.779-87, 1926.

- BRUGGINK, G. T. Influence of light on the growth of young tomato, cucumber and sweet pepper plants in the greenhouse: calculating the effect of differences in light integral. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, v.31, n.3-4, p. 175-83, 1987.
- BRUGGINK, G. T., HEUVELINK, E. Influence of light on the growth of young tomato, cucumber and sweet pepper plants in the greenhouse: Effects on relative growth rate, net assimilation rate and leaf area ratio. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, v.31, p.161-74, 1987.
- 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. *Rev. Bras. de Agrometeorol.*, v.1, n.1, p.43-9, 1993.
- CALHEIROS, R. de O. Sistema radicular de quatro culturas em solo glei pouco húmico na região de Londrina-PR. *Rev. Bras. de Ciênc. do Solo*, v.16, p.299-307, 1992.
- CAMACHO, M. J., ASSIS, F. N., MARTINS, S. R., MENDEZ, M. E. G. Avaliação de elementos meteorológicos em estufa plástica em Pelotas, RS. *Rev. Bras. de Agrometeorol.*, v.3, p.19-24, 1995.
- CARMEÑO, Z. C. *Estufas, instalações e manejo*. Lisboa, Litexa Editora, 1990. 355p.
- CASEIRO, F. T., CAMPELO JUNIOR, J. H., PRIANTE FILHO, N. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura de milho (*Zea mays*, L.) no período seco em Santo Antônio do Leverger – MT. *Rev. Bras. de Agrometeorol.*, v. 5, n.2, p.177-82, 1997.
- CASTILLA, N. Caracterización del cultivo del pepino en invernadero en Almeria. *ITEA*, v.3, p.131-41, 1990.
- CUNHA, G. R., BERGAMASCHI, H., BERLATO, M. A., MATZENAUER, R. Balanço de energia em cultura de milho. *Rev. Bras. de Agrometeorol.*, v.4, n.1, p.1-14, 1996.
- DALLY, J. W., RILEY, W. F., McCONNEL, K. G. *Instrumentation for engineering measurements*. New York: John Wiley, 1984. 576p.
- DAVIES, J. A., BUTTIMOR, P. H. Reflection coefficients, heating coefficients and net radiation at Simcoe, Southern Ontario. *Agric. Meteorol.*, v.6, p.373-86, 1969.
- EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. CNPS, Rio de Janeiro, 1999, 412p.
- EPAGRI. A cultura do Pepino. In: Curso profissionalizante de olericultura. Florianópolis: CETRE. 1993, 11p.
- FARIA JUNIOR, M. J. de A. *Avaliação de diferentes arquiteturas de estufas, coberturas do solo com filme plástico, em híbridos de Pimentão (*Capsicum annum* L.)*. Jaboticabal,

- 1997, 102p. Tese (Doutorado em Agronomia/Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.
- FARIAS, J. R. B., BERGAMASCHI, H., MARTINS, S. R., BERLATO, M. A., OLIVEIRA, A. C. B. Alterações na temperatura e umidade relativa do ar provocadas pelo uso de estufa plástica. *Rev. Bras. de Agrometeorol.*, v.1, p.51-62, 1993.
- FIGUEIREDO, D., ESCOBEDO, J. F. Correlações entre o saldo de radiação e a radiação solar global em cultura de alface na estufa de polietileno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, 1, 1995, Jaboticabal. *Anais....* Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrônômicas e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 1995. p.215-25.
- FOLEGATTI, M. A., SCATOLINI, M. E., PAZ, V. P. da S., PEREIRA, A. R., FRIZZONE, J. A. Efeitos de cobertura plástica sobre elementos meteorológicos e evapotranspiração da cultura de crisântemo em estufa. *Rev. Bras. de Agrometeorol.*, v.5, n.2, p.155-63, 1997.
- FONTANA, D. C., BERLATO, M. A., BERGAMASCHI, H. Balanço de energia em soja irrigada e não irrigada. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v. 26, p. 403-10, 1991.
- FRANÇA, S., BERGAMASCHI, H., ROSA, L. M. Modelagem do crescimento do milho em função da radiação fotossinteticamente ativa e do acúmulo de graus-dia, com e sem irrigação. *Rev. Bras. de Agrometeorol.*, v.7, n.1, p.59-66, 1999.
- FRISINA, V. A. *Otimização de um albedômetro e sua aplicação no balanço de radiação e energia em cultura de alface (Lactuca sativa, L.) dentro e fora de estufa de polietileno.* Botucatu, 1998. 89 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- FRITSCHEN, L. J. Net and solar radiation relations over irrigated field crops. *Agric. Meteorol.*, v. 4, p.55-62, 1967.
- FRITSCHEN, L. J., GAY, L. W. *Environmental instrumentation.* New York: Springer Verlag, 1979. 216p.
- GALVANI, E., DANTAS, R. T., ESCOBEDO, J. F., GAMERO GUANDIQUE, M. E. Balanço de energia em cultura de alface (*Lactuca sativa* L.) em condições de estufa com orientações leste-oeste e norte-sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

- AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p.500-3
- GALVANI, E., ESCOBEDO, J. F., FRISINA, V. A. Estimativa de saldo de radiação e de ondas curtas a partir de irradiância global externa sobre cultura de alface (*Lactuca sativa*, L.) em condição de casa de vegetação orientadas no sentido L-O e N-S. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, 1998, Brasília. *Anais...*, Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998. (Editado em CD-ROM).
- GEIGER, R. *Manual de microclimatologia: o clima da camada de ar junto ao solo*. Lisboa: 3ª edição, Fundação Calouste Gulbenkian, 1961. 556p.
- GIACOMELLI, G. A., TING, K. C., PANIGRAHI, S. Solar PAR vs. solar total radiation transmission in a greenhouse. *Transactions of the Am. Soc. Agric. Eng.*, v.31, p.1540-3, 1988.
- 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, Espanha. *Apostilas...* Murcia: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Ministério de Agricultura, , v.2, 1985.
- GRODZKY, L., BRENNER, N. L., SCOTTI, C. A. Estudo do ambiente em estufas plásticas, na região de Curitiba, PR. *Hort. Bras.*, v.9, p.55, 1991.
- HEALTH, T., BARNES, R., MELTCALFE, D. *Forages*. Ames: 4ª ed., Iowa University Press, 1985. 643p.
- HERTER, F. G., REISSER JUNIOR, C. Balanço térmico em estufas plásticas, RS. *Hortic. Bras.*, v.5, n.1, p.60, 1987.
- HEUVELINK, E., CHALLA, H. Dynamic optimization lighting in greenhouse. *Acta Hortic. (Wageningen)*, n.260, p.401-12, 1989.
- HEUVELINK, E., MARCELIS, L. F. M. Dry matter distribution in tomato and cucumber. *Acta Hortic. (Wageningen)*, n.260, p. 147-9, 1989.
- HODGES, T., KANEMASU, E. T. Modeling daily dry matter production of winter wheat. *Agron. J.*, v.69, p.974-8, 1977.
- HODGES, T., KANEMASU, E. T., TEARE, I. Modeling daily dry matter production and yield of grain sorghum. *Canadian Journal Plant Science*, v.59, p. 803-19, 1979.

- JAEGER, L., KESSLER, A. Twenty years of heat and water balance climatology at the Hartheim pine forest, Germany. *Agric. and For. Meteorol.*, v.84, p. 25-36, 1997.
- KUHN, M., KUNDLA, L. S., STROSCHEIN, L. A. The radiation budget at Plateau Station, Antártica, 1966-1967. *Antarct. Res. Ser.*, v.25, p.41, 1977.
- KURATA, K. Role reflection in light transmissivity of greenhouses. *Agricult. For. Meteorol.*, v.52, p.319-31, 1990
- LEITÃO, M. M. V. R., AZEVEDO, P. V. de., 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 AGROMETEOROLOGIA, 6, 1990, Salvador. *Anais...* Salvador: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1990. p.27-32.
- LEME, E. A. J., MANIERO, M. A, GUIDOLIN, J. C. Estimativa da área foliar da cana-de-açúcar e a relação com a produtividade. *Cad. Planalsucar*, v.2, p. 3-9, 1984.
- MAcCREE, K. J. Test of current definitions os photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agricultural Meteorology*, v.10, p.443-53, 1972.
- MARTINS, G. *Uso de 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., FERNANDES, H. S., POSTINGHER, D., SCHWENGBER, J. E., QUINTANILLA, L. F. Avaliação da cultura do pepino (*Cucumis sativus*, L.) cultivado em estufa plástica, sob diferentes tipos de poda e arranjo de plantas. *Rev. Bras. Agroc.*, v.1, n.1, 1995.
- MASTEK BAYEVA, G. A., KUMAR, S. Effect of dust on the transmittance of low density polyethylene glazing in a tropical climate. *Sol. Energy*, v. 68, p.135-41, 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.
- MENDONZA, J. F. B. A expressão do sexo em pepino (*Cucumber sativus*, L.). In: MULLER, J. J. V., CASALI, V. W. D. *Seminário de olericultura*. Viçosa: [s.n.], 1982, v.5, p.53-73.
- MONTEITH, J. L. *Principles of environmental physics*. Londow: Edward Arnald, 1973. 241p.

- MONTERO, J. I., CASTILLA, N., RAVE, E. G., BRETONES, F. Climate under plastic in the almeria area. *Acta Hortic.(Wageningen)*, n.170, p.227-34, 1985.
- MOTA, F. S. *Meteorologia agrícola*. São Paulo: 5ª ed., Nobel, 1981. 376p.
- NEDERHOFF, E. M., SCHAPENDONK, A. H. C. M. Effects of environmental conditions on growth and production of cucumber; comparison between empirical and simulation data. *Acta Hortic., (Wageningen)*, n.174, p.251-8. 1985.
- NISHIMURA, T., ALMEIDA, A. ANDRÉ, R. G. B., VOLPE, C., LIBERA, C. L. F. D., MALHEIROS, E. B. Balanço de energia numa cultura de milho (*Zea mays*, L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 4, 1985, Londrina. *Anais...* Londrina: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1985. p.83-92.
- OLIVEIRA, M. R. V. de. O emprego de casas de vegetação no Brasil: Vantagens e Desvantagens. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.30, 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. p.7. (EMBRAPA-CENARGEN. Comunicado Técnico, 11)
- OLIVER, H. R., SENE, K. J. Energy and water balances of developing vines. *Agric. For. Meteorol.*, v.62, p.167-85, 1992.
- PASQUILL, F. Eddy diffusion to water vapour and heat near the ground. *Proc. R. the Society Serv.*, v.198, n.116, 1949.
- PEDRO JUNIOR, M. J., VILLA NOVA, N. A. Balanço de energia em soja (*Glycine max* L. Merr). *Turrialba*, v. 31, n.4, p309-12, 1981.
- PEZZOPANE, J. E. M., PEDRO JÚNIOR, M. J., ORTOLANI, A. A., MEYER, N. Radiação líquida e temperatura de folha no interior de estufa com cobertura plástica, durante o período noturno. *Rev. Bras. Agrometeorol.*, v.3, p.1-4, 1995.
- 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 en abrigo de polietileno*. Almeria, 1986, 195p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia), Caja Rural Provincial, Almeria, 1986.
- PRATES, J. E., COELHO, D. T., STEINMETZ, S., SEDYANMA, G. C., VIANELLO, R. L. Relações entre os componentes do balanço de energia em diferentes estádios de

- desenvolvimento do arroz (*Oryza sativa*, L.) de sequeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 1, 1987, Belém. *Anais...* Belém: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1987. p.333-6.
- RAMOS, L. A., ZARO, M. A., DIAS, R. L. S. *Termopares: teoria e prática*. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1986. 122p.
- ROBINSON, N. *Solar radiation*. Amsterdam: Elsevier, 1966. 347p.
- ROBLEDO DE PEDRO, F., VICENTE, L. M. *Aplicación de los plasticos en la agricultura*. 2ª ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1988. 573p.
- ROBLES, J. *Como se cultiva en invernadero*. Barcelona: Vecchi, 1985. 191p.
- SENTELHAS, P.C.; ANGELOCCI, L.R.; PEREIRA, A.R. *Agrometeorologia*. Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP, 2000. (Apostila)
- SGANZERLA, E. *Nova agricultura: a fascinante arte de cultivar com os plásticos*. 5ª ed. Guaíba: Agropecuária, 1995. 342p.
- SILVA, A. C. F., AGOSTINI, I., MÜLLER, J. J. V., VIZZOTTO, V. J. Efeito de densidades populacionais sobre a produtividade de pepino para conserva. *Hortic. Bras.*, v. 10, n.1, p.27-32, 1992.
- STANHILL, G., COX, J. T. H., MORESHET, S. The effect of crop and climate factors on the radiation balance of on irrigated maize crop. *J. of Appl. Ecol.*, v.5, p.707-20, 1968.
- TAN, C. S., FULTON, J. M., NUTTALL, V. W. The influence of soil moisture stress and plant population on the yield of pickling cucumbers. *Scientia Hort.*, v.21, n.3, p.217-24, 1983.
- TANAKA, M., GENTA, H. *Control del medio ambiente bajo invernadero y tunel plastico*. Salto: Estación Experimental de Citricultura, 1982. 61p.

- TAPIA, G. J. Filmes térmicos para invernaderos. *Rev. Plásticos Modern.*, v.295, p.75-82, 1981.
- TEIXEIRA, A. H. de C., FILHO, J. M. P. L. Relações entre o índice de área foliar e radiação solar na cultura de videira. *Rev. Bras. Agrometeorol.*, v.5, n.2, p.43-46, 1997.
- TERUEL, D. A. *Modelagem do índice de área foliar da cana-de-açúcar em diferentes regimes hídricos*. Piracicaba, 1995, 93p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agrometeorologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- VIANELLO, R. L., ALVES, A. R. *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa: Imprensa Universitária, Universidade Federal de Viçosa, 1991. 449p.
- VIEIRA, A. R. R., BRAGA, J. H., PRADO, R. C., RIBEIRO, F. L. Determinação da temperatura basal e somas térmicas em pepino conserva, cultivar ginga. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.27, n.6, p.857-64, 1992.
- VILLA NOVA, N. A. Estudos sobre balanço de energia em cultura de arroz. Piracicaba, 1973. 89p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- VILLA NOVA, N. A., BARIONI, L. G., PEDREIRA, C. G. S., PEREIRA, A. R. Modelo de previsão da produtividade do capim elefante em função de temperatura do ar, fotoperíodo e frequência de desfolha. *Rev. Bras. Agrometeorol.*, v.7, n.1, p.75-9, 1999.
- VILLA NOVA, N. A., PEREIRA, A. R., PEDRO JÚNIOR, M. J. Balanço de energia em uma cultura de arroz em condições de sequeiro. *Bragantia*, v.34, p.171-6, 1975.
- WATSON, D. J. Comparative physiological on the studies on the growth of field crops. II – The effect of varying nutrient supply on net assimilation rate and leaf area. *Ann. Bot.*, v.11, n.44, p.375-407, 1947.
- WATSON, D. J. Comparative physiological studies on the growth of field crops. I – Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Ann. Bot.(London)*, v.11, n.44, p.41-76, 1947.
- WILLIS, J. Some high values of the albedo of the sea. *J. Appl. Meteorol.*, v.10, p.1296, 1971.

YANG, X. Greenhouse micrometeorology and estimation of heat and water vapour fluxes. *J. J. agricult. Eng. Res.*, v.61, p. 227-238, 1995.

YANG, X., SHORT, T. H., FOX, R. D., BAUERLE, W. L. Plant architectural parameters of a greenhouse Cucumber row crop. *Agric. For. Meteorol.*, v.51, n.2, p. 93-105, 1990.

## **APÊNDICE 1**

## CONTROLE FITOSSANITÁRIO – CICLO DE OUTONO-INVERNO

Durante o período entre os dias 13/05/98 a 10/09/98 efetuou-se o controle fitossanitário da cultura através de observação visual por diagnose foliar e análises microscópicas efetuadas junto ao Departamento de Horticultura e Defesa Fitossanitária da FCA/UNESP, constatou a presença das principais pragas e doenças:

Data	Sintomas	Praga/doença	Controle	Dosagem	Int.	Ext.
20/05/98	-	Vaquinha	Estron	2ml/l	-	X
08/06/98	Sulcos foliares	Mosca minadora	Trigard	15g/100l	X	X
09/06/98	Prodridão caule	Antracnose	Dithane PM	200g/100l	X	X
10/06/98	Esporos	Oídio	Rubigan 120 CE	20ml/100l	X	X
21/06/98	Esporos	Oídio	Rubigan 120 CE	20ml/100l	X	X
03/07/98	Prodridão caule	Antracnose	Dithane PM	200g/100l	X	X
10/07/98	Folhas enrugadas	Pulgão	Decis	7ml/10l	X	
28/07/98	Esporos	Mildio	Ridomil	300g/100l	X	
06/08/98	Esporos	Oídio	Rubigan 120 CE	20ml/100l	X	X
08/08/98	Morte da planta	Fusarium	-	-	-	-
11/08/98	Esporos	Oídio	Rubigan 120 CE	20ml/100l	X	X
14/08/98	-	Vaquinha	Estron	2ml/l	X	X

Vaquinha: *Diabrotica speciosa* (Germ., 1824).

Antracnose: *Colletotrichum gloeosporioides*.

Oídio: *Sphaerotheca fuliginea*.

Mosca Minadora ou Mosca-das-frutas: *Anastrepha grandis* (Macquart, 1845).

Mildio: *Pseudoperonospora cubensis* (Berk et Curtis).

Fusarium: *Fusarium oxysporum*.

Pulgão: *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas, 1978).

## CONTROLE FITOSSANITÁRIO – CICLO DE PRIMAVERA-VERÃO

Durante o período entre os dia 10/11/98 a 13/02/99 efetuou-se o controle fitossanitário da cultura em questão através de observação visual por diagnose foliar e análises microscópicas efetuadas junto ao de Horticultura e Defesa Fitossanitária da FCA/UNESP, constatou a presença das principais pragas e doenças:

Data	Sintomas	Praga/doença	Controle	Dosagem	Inter	Ext
14/11/98	-	Vaquinha	Decis	3 ml/10 l	-	X
25/11/98	-	Vaquinha	Decis	3 ml/10 l	-	X
27/11/98	-	-	Dithane (*)	2 g/1 l	X	X
01/12/98	-	Vaquinha	Decis	7 ml/10 l	-	X
01/12/98	Folhas enrugadas	Pulgão	Decis	7 ml/10 l	X	X
04/12/98	Podridão caule	Antracnose	Dithane	2 g/1 l	X	X
07/12/98	-	Vaquinha	Decis	7 ml/10 l	-	X
09/12/98	Esporos	Oídio	Rubigan	2 ml/10 l	X	-
15/12/98	Esporos	Oídio	Rubigan	2 ml/10 l	X	-
23/12/98	Esporos	Oídio	Rubigan	2 ml/10 l	X	-
24/12/98	Folhas enrugadas	Pulgão	Decis	7 ml/10 l	X	-
29/12/98	Podridão caule	Antracnose	Dithane	2 g/1 l	X	X
30/12/98	Folhas enrugadas	Pulgão	Decis	7 ml/10 l	X	X
08/01/99	Folhas enrugadas	Pulgão	Decis	7 ml/10 l	X	X
09/01/99	Podridão caule	Antracnose	Dithane	2 g/1 l	X	X
17/01/99	Folhas enrugadas	Pulgão	Decis	7 ml/10 l	X	X

(\*) Preventivo.

Vaquinha: *Diabrotica speciosa* (Germ., 1824).

Antracnose: *Colletotrichum Gloeosporioides*.

Oídio: *Sphaerotheca Fuliginea*.

Pulgão: *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas, 1978).

## CONTROLE DE ADUBAÇÃO DE COBERTURA – CICLO DE OUTONO- INVERNO

Seguindo recomendação de adubação de cobertura efetuada pelo departamento de Ciência do Solo da FCA/UNESP, procedeu-se da seguinte maneira:

Data	Produto	Protegido	Campo	Dosagem
13/05/98	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	1 g NCa 5 g NK (*)
20/05/98	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	1 g NCa 5 g NK
27/05/98	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	1 g NCa 5 g NK
03/06/98	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	1 g NCa 5 g NK
10/06/98	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	1 g NCa 5 g NK
17/06/98	Cobertura com MAP (**)	X	X	9 g planta
24/06/98	Cobertura com MAP (**)	X	X	9 g planta
01/07/98	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	1 g NCa 5 g NK
08/07/98	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	1 g NCa 5 g NK
15/07/98	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	2 g NCa 10 g NK
22/07/98	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	2 g NCa 10 g NK
29/07/98	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	2 g NCa 10 g NK
05/08/98	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	2 g NCa 10 g NK
12/08/98	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	2 g NCa 10 g NK
19/08/98	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	2 g NCa 10 g NK
26/08/98	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	2 g NCa 10 g NK
02/09/98	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	2 g NCa 10 g NK
10/09/98	Término do ciclo			

(\*) dosagem por planta.

(\*\*) Suspenso a cobertura de Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio.

13/07/98 início da colheita dos primeiros frutos.

## CONTROLE DE ADUBAÇÃO DE COBERTURA – CICLO DE PRIMAVERA- VERÃO

Seguindo recomendação de adubação de cobertura efetuada pelo departamento de Ciência do Solo da FCA/UNESP, procedeu-se da seguinte maneira:

Data	Produto	Protegido	Campo	Dosagem
11/11/98	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	6 g NCa 2g NK (*)
18/11/98	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	6 g NCa 2 g NK
25/11/98	Adubação suspensa	-	-	-
03/12/98	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	6 g NCa 4 g NK
10/12/98	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	6 g NCa 4 g NK
17/12/98	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	6 g NCa 4 g NK
23/12/98	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	6 g NCa 4 g NK
29/12/98	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	6 g NCa 4 g NK
06/01/99	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	6 g NCa 4 g NK
13/01/99	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	6 g NCa 4 g NK
20/01/99	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	6 g NCa 4 g NK
27/01/99	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	6 g NCa 4 g NK
03/02/99	Nitrato de cálcio e Nitrato de Potássio	X	X	6 g NCa 4 g NK

(\*) dosagem por planta.

03/12/98 início da colheita dos primeiros frutos.

## **APÊNDICE 2**

### ANÁLISE DE CRESCIMENTO – MATÉRIA SECA – OUTONO-INVERNO

Foram coletadas duas plantas semanais em cada ambiente, sendo as plantas secadas em estufas a 65 °C até atingir peso constante.

SAT	Peso seco 1	Peso seco 2	Méd protegido	Pesoseco 1	Pesoseco 2	Méd campo
1	0,753	0,630	0,692	0,703	0,437	0,570
2	1,100	1,158	1,129	0,667	0,686	0,677
3	2,060	1,857	1,956	0,755	1,268	1,012
4	4,100	4,100	4,100	1,747	2,046	1,897
5	7,585	5,325	6,455	3,442	3,415	3,429
6	15,756	17,321	16,536	11,474	7,893	9,684
7	14,876	20,245	17,561	13,863	10,752	12,308
8	21,710	24,460	23,085	22,690	15,600	19,145
9	31,800	39,910	35,855	31,640	19,610	25,625
10	47,988	52,222	50,105	37,780	31,997	34,889
11	60,613	67,397	64,005	39,843	32,384	36,114
12	86,667	64,775	75,721	37,296	40,940	39,118
13	89,800	87,930	88,865	37,165	44,758	40,962
14	111,094	117,523	114,309	47,531	39,258	43,395
15	120,971	151,785	136,378	43,487	43,568	43,528
16	157,348	131,164	144,256	46,325	46,325	46,325
17	157,348	131,164	144,256	50,107	42,656	46,382
18	134,890	141,367	138,1285	45,089	45,089	45,089

(\*) Após o início da colheita foram marcadas 18 plantas (2 por semana) em ambiente protegido e 18 a campo, assim todos os frutos retirados de determinada planta foram somados a esta no momento da realização do peso úmido e seco.

### ANÁLISE DE CRESCIMENTO – MATÉRIA SECA – PRIMAVERA-VERÃO

Foram coletadas duas plantas semanais em cada ambiente, sendo as plantas secadas em estufas a 65 °C até atingir peso constante.

SAT	Peso seco 1	Pesoseco 2	Méd protegido	Pesoseco 1	Pesoseco 2	Média campo
1	0,11	0,07	0,09	0,01	0,07	0,04
2	0,8	0,41	0,605	0,27	0,23	0,25
3	0,87	2,52	1,695	0,94	0,68	0,81
4	12,92	10,84	11,88	5,16	4,02	4,59
5	35,87	28,71	32,29	21,77	25,28	23,525
6	41,02	85,27	63,145	50,6	63,99	57,295
7	118,89	119,66	119,275	106,64	112,84	109,74
8	145,88	137,73	141,805	140,685	105,68	123,183
9	172,87	155,8	164,335	174,73	98,52	136,625
10	175,89	167,64	171,765	201,05	151,58	176,315
11	195,79	152,46	174,125	241,2	146,08	193,64
12	153,99	227,01	190,5	191,64	162,91	177,275
13	189,36	226,285	207,822	181,38	158,81	170,095
14	224,72	197,91	211,315	171,12	154,7	162,91

(\*) Após o início da colheita foram marcadas 18 plantas (2 por semana) no ambiente protegido e 18 a campo, assim todos os frutos retirados de determinada planta foram somados a esta no momento da realização do peso úmido e seco.

### **APÊNDICE 3**

Fator de Correção da radiação difusa conforme Mello & Escobedo, 1993:

$$Fc = \left(1 - \frac{X}{T}\right)^{-1}$$

$$\frac{X}{T} = \left[\frac{2 \cdot b}{\pi \cdot R}\right] \cdot \cos(\delta) \cdot \left[\frac{\cos(\phi + \delta)}{\cos(\phi)}\right]^2 \cdot \int_0^{\omega} \cos(z) \cdot d\omega$$

Onde: b é a largura do anel (cm), R é o raio do anel (cm),  $\delta$  é a declinação solar (rad),  $\phi$  é a latitude do local (rad), z é o ângulo zenital (rad) e  $\omega$  o ângulo horário no pôr do sol (rad).

Fator de correção para a radiação difusa conforme Mello & Escobedo, 1993.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	1,24	1,25	1,24	1,19	1,13	1,09	1,08	1,11	1,17	1,23	1,25	1,24
2	1,24	1,25	1,24	1,19	1,13	1,09	1,08	1,11	1,17	1,23	1,25	1,24
3	1,24	1,25	1,24	1,19	1,12	1,09	1,08	1,11	1,17	1,23	1,25	1,24
4	1,24	1,25	1,24	1,18	1,12	1,09	1,08	1,11	1,17	1,23	1,25	1,24
5	1,24	1,25	1,24	1,18	1,12	1,09	1,08	1,12	1,17	1,23	1,25	1,24
6	1,24	1,25	1,24	1,18	1,12	1,08	1,08	1,12	1,18	1,23	1,25	1,24
7	1,24	1,25	1,24	1,18	1,12	1,08	1,08	1,12	1,18	1,23	1,25	1,24
8	1,24	1,25	1,23	1,17	1,12	1,08	1,08	1,12	1,18	1,24	1,25	1,24
9	1,24	1,25	1,23	1,17	1,11	1,08	1,09	1,12	1,18	1,24	1,25	1,24
10	1,24	1,25	1,23	1,17	1,11	1,08	1,09	1,12	1,18	1,24	1,25	1,24
11	1,24	1,25	1,23	1,17	1,11	1,08	1,09	1,12	1,19	1,24	1,25	1,24
12	1,24	1,25	1,23	1,17	1,11	1,08	1,09	1,13	1,19	1,24	1,25	1,24
13	1,24	1,25	1,23	1,16	1,11	1,08	1,09	1,13	1,19	1,24	1,25	1,24
14	1,24	1,25	1,23	1,16	1,11	1,08	1,09	1,13	1,19	1,24	1,25	1,24
15	1,24	1,25	1,22	1,16	1,11	1,08	1,09	1,13	1,2	1,24	1,25	1,24
16	1,24	1,25	1,22	1,16	1,1	1,08	1,09	1,13	1,2	1,24	1,25	1,24
17	1,24	1,25	1,22	1,16	1,1	1,08	1,09	1,13	1,2	1,24	1,25	1,24
18	1,24	1,25	1,22	1,15	1,1	1,08	1,09	1,14	1,2	1,25	1,25	1,24
19	1,25	1,25	1,22	1,15	1,1	1,08	1,09	1,14	1,2	1,25	1,25	1,24
20	1,25	1,25	1,21	1,15	1,1	1,08	1,09	1,14	1,21	1,25	1,25	1,24
21	1,25	1,25	1,21	1,15	1,1	1,08	1,09	1,14	1,21	1,25	1,25	1,24
22	1,25	1,25	1,21	1,14	1,1	1,08	1,1	1,14	1,21	1,25	1,25	1,24
23	1,25	1,25	1,21	1,14	1,1	1,08	1,1	1,15	1,21	1,25	1,25	1,24
24	1,25	1,25	1,21	1,14	1,09	1,08	1,1	1,15	1,21	1,25	1,25	1,24
25	1,25	1,25	1,2	1,14	1,09	1,08	1,1	1,15	1,22	1,25	1,25	1,24
26	1,25	1,25	1,2	1,14	1,09	1,08	1,1	1,15	1,22	1,25	1,24	1,24
27	1,25	1,24	1,2	1,13	1,09	1,08	1,1	1,15	1,22	1,25	1,24	1,24
28	1,25	1,24	1,2	1,13	1,09	1,08	1,1	1,16	1,22	1,25	1,24	1,24
29	1,25	1,24	1,2	1,13	1,09	1,08	1,1	1,16	1,22	1,25	1,24	1,24
30	1,25		1,19	1,13	1,09	1,08	1,11	1,16	1,22	1,25	1,24	1,24
31	1,25		1,19		1,09		1,11	1,16		1,25		1,24