

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**ALTERAÇÕES FÍSICAS EM AMBIENTES DE ESTUFA PLÁSTICA E SEUS
EFEITOS SOBRE AS CONDIÇÕES HÍDRICAS E O CRESCIMENTO DO
TOMATEIRO**

**Carlos Reisser Júnior
Engenheiro Agrícola, Mestre (UFSM)**

**Tese apresentada como um dos
requisitos à obtenção do Grau de
Doutor em Fitotecnia
Área de Concentração Agrometeorologia**

**Porto Alegre (RS), Brasil
Novembro de 2002**

AGRADECIMENTOS

Ao professor Homero Bergamaschi, pela orientação, ensinamentos e principalmente, pela compreensão, bom senso e amizade.

Ao professor João Ito Bergonci, pela co-orientação e principalmente pelo coleguismo, simplicidade e amizade.

Aos professores Moacir Berlato, Denise Cybis Fontana e Luís Mauro Gonçalves Rosa, pelos ensinamentos, convivência e companherismo.

Aos pesquisadores da FEPAGRO Ivo Didoné, Ronaldo Matzenauer, Nídio Barni e ao funcionário Sr. Luiz Carlos Flores, pela colaboração durante a realização dos trabalhos.

À colega Bernadete Radin pelos ensinamentos, convivência e, em especial, pela amizade dedicada durante todo o curso.

Aos amigos Francisco Mandelli, Gilberto Diniz e demais colegas do setor de Agrometeorologia da UFRGS, pelo auxílio, convivência e coleguismo.

Às instituições EMBRAPA, UFRGS, FEPAGRO e IRGA, pelo auxílio na realização do curso e na elaboração deste trabalho.

Aos meus filhos Júlia, Antônio e Paula dedico este trabalho pois, verdadeiramente, são a razão de minha vida.

OBRIGADO

A alguém devo agradecer
Pela vida que tenho levado
Por levar algo da vida
Do jeito que tenho buscado

Se antes agradecia à vida
Hoje estou mudado
Pois vejo como nela se cria
Vida de pouco se formado

Da concepção do sonho sonhado
Do suor, da dor e do tempo empenhado
Como tu, de meu ventre intelecto
Idéias e palavras tenho gerado

Como não te querer
Se és tudo de mais importante
Como não te adorar
Amiga, mãe, filha e amante
Como não te copiar
Se de ti vem tudo que se quer
Como não te agradecer
Ser divino, MULHER

Juninho

ALTERAÇÕES FÍSICAS EM AMBIENTES DE ESTUFA PLÁSTICA E SEUS EFEITOS SOBRE AS CONDIÇÕES HÍDRICAS E O CRESCIMENTO DO TOMATEIRO¹

Autor: Carlos Reisser Júnior
Orientador: Homero Bergamaschi
Co-orientador: João Ito Bergonci

RESUMO

O consumo de frutas e hortaliças vem aumentando rapidamente, em função de mudanças nos hábitos das populações urbanas. Novas técnicas para produção são necessárias, para que haja um suprimento contínuo de alimentos de alta qualidade e baixo custo. Este foi o principal propósito da introdução do cultivo em estufas plásticas, em muitos países. Porém, à medida em que este sistema evoluiu, surgiram vantagens e limitações, ao mesmo tempo. Assim, tornou-se indispensável aprofundar conhecimentos das relações planta-atmosfera. Em particular, as relações entre as condições hídricas e o crescimento das plantas, em resposta às alterações físicas nos ambientes protegidos, devem ser melhor avaliadas. Com este objetivo conduzido um experimento com tomateiro cultivado dentro e fora de estufa plástica, em ciclos de primavera-verão e verão-outono, em Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul, em 1999/2000. As reduções na radiação solar incidente e na velocidade do vento mostraram ser as causas primárias das alterações no ambiente interno. A redução na entrada de energia e na ventilação, combinadas ao aumento da umidade do ar causado pela transpiração do tomateiro, reduziram a demanda evaporativa do ambiente interno, causando modificações morfológicas e fisiológicas nas plantas. A área foliar, a duração da área foliar e a altura das plantas dentro da estufa foram maiores do que fora dela. A mesma tendência se deu na produção de biomassa. A condutância foliar e a transpiração relativa mostraram ser melhores indicadores de déficit hídrico do que o potencial da água na planta e a taxa fotossintética. A aclimação das plantas nos ambientes protegidos provocou alterações morfológicas que resultaram em aumento na eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa. Como resultado, as plantas aumentaram a produção de matéria seca, apesar da redução (em cerca de 30%) na radiação global dentro da estufa. O uso de tela plástica anti-insetos nas bordas da estufa amplificaram tanto as alterações físicas como seus efeitos sobre as plantas do ambiente interno.

¹ Tese de doutorado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil (160 p.). Novembro de 2002.

PHYSICAL MODIFICATIONS ON A PLASTIC GREENHOUSE'S ENVIRONMENT AND ITS EFFECTS ON THE WATER STATUS AND GROWTH OF TOMATO PLANTS²

Author: Carlos Reisser Júnior
Adviser: Homero Bergamaschi
Co-adviser: João Ito Bergonci

ABSTRACT

The consumption of fruits and vegetables is rapidly increasing due to changes in habits of the urban populations. New technologies for food production are necessary to allow a continued supply of products, with a high quality and low cost. This was the main purpose for the introduction of plastic greenhouses, in many countries. However, as the new system progressed, many advantages and limitations appeared, at the same time. Thus, it became necessary to study the plant-atmosphere relations in a deeper way. Particularly, the relationships between the water status and growth of plants, as function of the physical modifications in those protected environments, must be better evaluated. With this objective an experiment with tomato cultivated inside and outside was carried out in spring-summer and summer-autumn cropping cycles, in Eldorado do Sul, Brazil, in 1999/2000 on a plastic greenhouse. Reduction on the incoming solar radiation and wind speed showed to be the primary causes of the alterations in the internal environment. Besides of decreasing on the incoming energy and ventilation, increments on the internal air humidity due to the plant transpiration reduced the atmospheric evaporative demand, causing morphological and physiological alterations in the plants. Tomato cultivated inside the greenhouse increased the total leaf area, leaf area duration and plant height, compared to plants grown outside. The same tendency occurred with plant biomass production. The leaf conductance and relative transpiration showed to be better indicators of water deficits compared to the plant water potential and photosynthetic rate. Otherwise, because of the plant acclimation in the protected environments some morphological alterations occurred, allowing them to increase the efficiency of use of the photosynthetic active radiation in the protected environment. As a result, the tomato plants increased the dry matter production, in spite of reductions in the incoming solar radiation (about 30%) due to the plastic films. The use of a plastic anti-insect net at the borders of the greenhouse amplified both the physical alterations and plant responses into that environment.

² Doctoral thesis in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (160 p.) November, 2002.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Crescimento vegetal.....	5
2.2. Estresse hídrico.....	9
2.2.1. Desenvolvimento da condição de déficit hídrico.....	10
2.2.2. Adaptações da planta ao déficit hídrico.....	12
2.2.3. Crescimento sob estresse.....	15
2.2.4. Crescimento sob estresse ameno.....	17
2.2.5. Indicadores de déficit hídrico.....	19
2.3. Adaptação das plantas à disponibilidade de luz.....	22
2.4. Crescimento das culturas em estufas plásticas.....	24
2.5. Alterações físicas em ambientes de estufas plásticas.....	26
2.5.1. Temperatura do ar.....	26
2.5.2. Umidade relativa do ar.....	28
2.5.3. Radiação solar.....	29
2.5.4. Evapotranspiração.....	29
2.5.5. Vento.....	31
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.1. Estufa plástica.....	33
3.2. Local e clima.....	34
3.3. Cultura e práticas culturais.....	34
3.4. Irrigação.....	37
3.5. Arranjo experimental e análises estatísticas.....	38

	Página
3.6. Determinações.....	38
3.6.1. No ambiente físico.....	38
3.6.2. Nas plantas.....	43
3.6.2.1. Determinações destrutivas.....	43
3.6.2.2. Determinações não destrutivas.....	44
3.6.2.3. Determinações de variáveis derivadas.....	48
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4.1. Elementos do meio físico.....	50
4.1.1. Radiação Solar.....	50
4.1.2. Temperatura do ar.....	56
4.1.2.1. Temperatura média do ar.....	56
4.1.2.2. Temperatura máxima do ar.....	59
4.1.2.3. Temperatura mínima do ar.....	62
4.1.2.4. Amplitude diária de temperatura do ar.....	63
4.1.2.5. Variação vertical da temperatura do ar.....	65
4.1.2.6. Variação horizontal da temperatura do ar.....	69
4.1.3. Umidade Relativa do ar.....	71
4.1.4. Velocidade do vento.....	78
4.2. Elementos físicos ambientais derivados.....	81
4.2.1. Umidade absoluta do ar.....	81
4.2.2. Déficit de saturação de vapor d'água.....	85
4.2.3. Potencial da água na atmosfera.....	87
4.3. Respostas das plantas às modificações do ambiente.....	90
4.3.1. Altura da planta.....	91
4.3.2. Desenvolvimento foliar.....	94
4.3.2.1. Área foliar por planta.....	94
4.3.2.2. Índice de área foliar.....	97
4.3.2.3. Área foliar específica.....	97
4.3.3. Acúmulo de matéria seca.....	99
4.3.3.1. Raízes.....	99

	Página
4.3.3.2. Caules.....	101
4.3.3.3. Folhas.....	102
4.3.3.4. Frutos.....	103
4.3.3.5. Biomassa total da planta.....	105
4.3.4. Produção de frutos.....	109
4.3.4.1. Rendimento total.....	109
4.3.4.2. Crescimento dos frutos.....	113
4.3.4.3. Razão entre matéria seca e matéria fresca de frutos.....	114
4.3.4.4. Fração da matéria seca de frutos na biomassa total da planta.....	115
4.3.5. Fenologia.....	117
4.3.6. Fotossíntese.....	118
4.3.6.1. Taxa fotossintética.....	118
4.3.6.2. Taxa assimilatória líquida (TAL).....	120
4.3.7. Condutância foliar.....	121
4.3.8. Potencial da água na folha.....	126
4.3.9. Transpiração	129
4.3.10. Anatomia foliar.....	133
5. CONCLUSÕES.....	137
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	140
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	143
8. APÊNDICES.....	154

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Características gerais de plantas ou folhas aclimatadas, de acordo com a disponibilidade de radiação do ambiente (adaptada de Lambers et al., 1998; Yanhong, 1997; Boardman, 1977).....	24
2. Influência de alguns elementos meteorológicos, na variação das temperaturas máximas do ar em ambientes de estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e externo (FE), determinada por análise de regressão múltipla. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	61
3. Temperatura média mensal dos meses de março e abril de 2000, em três ambientes, estufa com tela anti-insetos(CT), sem tela (ST) e fora das estufas (FE) medidas em quatro alturas. Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	67
4. Produção total de matéria seca de plantas de tomateiro cultivados em ambiente de estufa plástica com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (FE), em duas épocas de cultivo. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	107
5. Produção de frutos de tomateiro (Kg planta ⁻¹) cultivados em ambiente de estufa plástica com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (FE), em duas épocas de cultivo. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.	109
6. Média e desvio padrão das determinações morfológicas feitas em folhas de tomateiro cultivado em estufa plástica com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora da estufa(FE). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	134
7. Densidade de tricomas e estômatos por mm ² , em folhas de tomateiro cultivado em estufa plástica com tela anti-insetos (CT) e fora da estufa (FE) na sede da EMBRAPA-Clima Temperado. Pelotas-RS, 2001.....	135

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Espaçamento entre plantas de tomateiro na linha (acima) e entre linhas nos canteiros e entre canteiros (abaixo), cultivados em três ambientes e em duas épocas. Fepagro, Eldorado do Sul, 1999/2000.....	36
2. Representação do experimento, localização dos sensores e disposição das parcelas nos três ambientes, com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (FE), todas medidas em metros. Fepagro, Eldorado do Sul, RS, 1999/2000.....	39
3. Radiação solar global diária (Rg) medida em Eldorado do Sul, RS e estimada a partir de dados de Cachoeirinha-RS, no período de novembro de 1999 a junho de 2000.....	51
4. Média mensal de horas de brilho solar diário e média mensal do índice diário de nebulosidade (0 a 10), de novembro de 1999 a junho de 2000. Cachoeirinha-RS, 1999/2000.....	51
5. Transmissividade média das estufas à radiação fotossinteticamente ativa (RFA) durante os meses de novembro de 1999 a maio de 2000, na estufa com tela anti-insetos (CT) e sem tela (ST). Fepagro. Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	53
6. Transmissividade média diária das estufas com (CT) e sem (ST) tela anti-insetos, em função do total diário de RFA fora das estufas. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	54
7. – Transmissividade média (TR) das estufas plásticas com (CT) e sem tela anti-insetos (ST) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA) do ambiente externo de 30 min, em dias típicos de alta disponibilidade de radiação, nas duas épocas de cultivo do tomateiro. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	55
8. Temperatura média do ar diária no período de novembro de 1999 a junho de 2000 no Fepagro, Eldorado do Sul e na Estação Experimental do Irga (Instituto Riograndense do Arroz), Cachoeirinha e a normal climática (1946/74) para Porto Alegre-RS.....	56
9. Relação entre a temperatura média diária do ar medida a 1,40m nas estufas com tela anti-insetos (CT) e sem tela (ST) com a do ambiente externo (FE). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	57

	Página
10. Relação entre a temperatura média do ar, nas estufas com tela anti-insetos (CT) e sem tela (ST) com a temperatura média do ar do ambiente externo (FE), a 1,40m acima do solo, nos períodos noturno e diurno Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	58
11. Relação entre as temperaturas diurna (A) e noturna (B) dos ambientes com tela anti-insetos (CT) e sem tela (ST) com as temperaturas diurna e noturna do ambiente externo à estufa (FE). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	59
12. Relação entre as temperaturas máximas do ar em ambientes de estufas com tela anti-insetos (CT) e sem tela (ST), com as do ambiente externo (FE) (A) e relação entre as temperaturas máximas do ar dos ambientes CT e ST (B).Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	60
13. Relação entre as diferenças de temperaturas máximas do ar em ambientes interno e externo à estufa com tela anti-insetos (CT) e sem tela (ST), com a temperatura média do ar externo à estufa (FE). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	61
14. Temperatura mínima do ar dos ambientes com tela anti-insetos (CT) e sem tela (ST), com relação as do ambiente fora da estufa (FE) (A) e a relação entre as temperaturas mínimas do ar de ST com a CT (B). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	63
15. Diferença das temperaturas mínimas do ar dos ambientes de estufa com tela anti-insetos (CT) e sem tela (ST) com a temperatura mínima do ar do ambiente de fora da estufa (FE), relacionada com a temperatura mínima do ambiente externo. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	64
16. Relação entre a amplitude térmica diária das estufas com tela anti-insetos (CT) e sem tela (ST) (A), e a amplitude térmica diária de fora da estufa (FE) e entre amplitude térmica dos ambientes FE, CT e ST com a radiação solar global incidente. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	64
17. Perfil vertical de temperatura, às 6 e 14h, nos ambientes de estufa com tela (CT) anti-insetos, sem tela (ST) e ambiente externo à estufa (FE), nos dias 20 e 29 de fevereiro, 27 de abril e 31 de maio de 2000. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	65
18. Distribuição temporal das variações verticais de temperatura do ar nos ambientes de estufa com tela anti-insetos (CT),sem tela (ST) e fora das estufas (FE), em 27 de dezembro de 1999 e 29 de maio de 2000, dias de ocorrência das temperaturas máxima e mínima nos dois ciclos do tomateiro. Fepagro. Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	68
19. Variação horizontal da temperatura do ar nos ambientes de estufa com (CT) e sem tela (ST) anti-insetos, às 6, 14 e 22h, do dia de ocorrência da menor temperatura do ar (29/05/2000) e do dia de maior temperatura do ar (27/12/1999), no fim do primeiro e segundo ciclo. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	70

20.	Variação da umidade relativa do ar média diária, medida a 1,40m acima do solo cultivado com tomateiro, em estufa com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora das estufas (FE). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	72
21.	Relação entre médias diárias de umidade relativa do ar, medidas a 1,40m acima do solo, em ambientes de estufas com (CT) e sem tela anti-insetos (ST) com o ambiente fora da estufa (FE), cultivados com tomateiro. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	73
22.	Relação entre a umidade relativa do ar, medida a 1,40 m acima do solo, em ambiente da estufa com (CT) e sem tela anti-insetos (ST), com o ambiente fora da estufa (FE), cultivados com tomateiro. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	74
23.	Relação entre a umidade relativa do ar (UR) medida a 1,40m acima do solo com a UR medida a 0,35 e 2,80m, em ambientes de estufas com (CT) e sem tela anti-insetos (ST), cultivados com tomateiro. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	74
24.	Variação das médias diárias de umidade relativa do ar (UR) no ambiente externo as estufas (FE) e diferença entre as médias diárias de UR do ar do ambiente externo com os ambientes das estufas com (CT) e sem tela anti-insetos (ST), em duas épocas de cultivo do tomateiro: outubro a fevereiro (A) e fevereiro a junho (B). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	75
25.	Variação da média mensal de umidade relativa do ar (UR) e da diferença entre as médias dos ambientes de estufa com tela (CT) e sem tela anti-insetos (ST) com o ambiente externo à estufa (FE) a 1,40m (A) e 2,80m (B), em duas épocas de cultivo do tomateiro. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	76
26.	Variação da umidade relativa do ar (UR) a 1,40m acima do solo, em ambientes fora da estufa (FE), dentro da estufa com (CT) e sem tela anti-insetos (ST), em dias típicos de céu claro (A), nublado B e chuvoso C, no início (esquerda) e no final (direita) de cada ciclo do tomateiro. Fepagro. Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	77
27.	Variação temporal da umidade relativa do ar (%) com a altura, na estufa (A) com tela anti-insetos (CT) e na (B) sem tela (ST), durante o dia 20 de fevereiro de 2000. Fepagro. Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	79
28.	Relação entre a velocidade do vento, medida a 2m acima do solo, a barlavento (Barla) e a sotavento (Sota) em estufas com (CT) e sem (ST) tela anti-insetos, com a velocidade do vento fora das estufas. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	80
29.	Relação entre a redução da velocidade do vento, relativa (A) e absoluta (B) entre barlavento e sotavento, em função da velocidade do vento a barlavento, em estufas com (CT) e sem (ST) tela anti-insetos. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	81

30. Umidade absoluta (UA) média do ar em dias de alta insolação, ao longo da primeira (A) e da segunda (B) épocas de cultivo do tomateiro, nos ambientes de estufa com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (FE) e diferença de UA entre o ambiente (CT) e (FE), em função de dias após o transplante (DAT). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000..... 82
31. Variação da umidade absoluta (UA), ao longo de um dia ensolarado (18/12/99), dia ensolarado medida a 1,40m acima do solo, nos ambientes de estufa com tela (CT) anti-insetos, sem tela (ST) e fora das estufas (FE) e variação diária da UA medida em três alturas (0,35, 1,40, 2,80m) nestes três ambientes. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000..... 83
32. Umidade absoluta (UA) do ar ao longo de um dia chuvoso (03/12/1999), nas alturas 1,40 (A) e 2,80m (B), nos ambiente fora da estufa (FE), na estufa com (CT) e na sem (ST) tela anti-insetos, e radiação solar global incidente (Rg). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000..... 84
33. Variação do déficit de saturação (DS) ao longo de dois dias ensolarados, no início (02/03/02) e no fim (14/06/02) da segunda época de cultivo do tomateiro, nos ambientes de estufa com tela (CT) anti-insetos, sem tela (ST) e fora da estufa (FE) e em três alturas (0,35, 1,40 e 2,80m). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000..... 86
34. Déficit de saturação do ar (DS) em estufas ao longo de dois dias de chuva (03/12/1999 e 28/12/2000), nas três alturas (0,35, 1,40 e 2,80m) e em ambientes de estufa com tela (CT) anti-insetos, sem tela (ST) e fora da estufa (FE). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000..... 88
35. Potencial da água na atmosfera em três alturas (0,35, 1,40, 2,80m), nos ambientes de estufa plástica com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora das estufas (FE) ao longo de dias ensolarados, no início (11/01/2000) e no fim (26/04/2000) do ciclo do tomateiro. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000..... 89
36. Altura de plantas de tomateiro durante duas épocas de cultivo, em função de dias após o transplante (DAT) nos ambientes de estufa plástica com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (FE). Fepagro, Eldorado do Sul- RS, 1999/2000..... 91
37. Taxa de variação da altura em tomateiro, em função de dias após o transplante (DAT), em estufa com tela anti-insetos (CT) sem tela (ST) e fora das estufas (FE), na primeira (A) e segunda (B) época de cultivo. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000..... 93
38. Área foliar por planta de tomateiro, cultivado na primeira (A) e segunda (B) épocas de cultivo, em estufa com tela (CT) sem tela (ST) e fora da estufa (FE), em função de dias após o transplante (DAT). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000..... 94

	Página
39. Taxas de variação da área foliar do tomateiro, na primeira (A) e na segunda (B) épocas de cultivo, em estufa com tela (CT), sem tela (ST) e fora das estufas (FE), em função de dias após o transplante (DAT). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	96
40. Variação da área foliar específica (cm ² g ⁻¹) de tomateiro cultivado em estufa com tela anti-insetos (CT) sem tela (ST) e fora das estufas (FE), em função de dias após o transplante (DAT), em duas épocas de cultivo. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	99
41. Variação da massa de matéria seca de raízes de tomateiro cultivado em ambiente de estufa com tela anti-insetos (CT) sem tela (ST) e fora das estufas, em função de dias após o transplante (DAT). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	100
42. Variação da razão entre a biomassa de raízes e da parte aérea de tomateiro cultivado em ambiente de estufa com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora das estufas, em função de dias após o transplante (DAT). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	101
43. Variação da massa de matéria seca de caules de tomateiro cultivado em ambientes de estufa com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora das estufas, em função dos dias após o transplante (DAT). Fepagro. Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	102
44. Variação da massa de matéria seca de folhas de tomateiro cultivado em ambiente de estufa com tela anti-insetos (CT) sem tela (ST) e fora das estufas, em função dos dias após o transplante (DAT), na primeira (A) e segunda épocas de cultivo (B). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	103
45. Variação da massa de matéria seca de frutos de tomateiro cultivados em ambiente de estufa com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora das estufas em função dos dias após o transplante (DAT), na primeira (A) e segunda (B) épocas. Fepagro. Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	105
46. Variação da massa de matéria seca total e taxa de produção de matéria seca (TPMS) das plantas de tomateiro, em ambiente de estufa com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora das estufas, em função dos dias após o transplante (DAT), em duas épocas de cultivo. Fepagro. Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	110
47. Variação da massa da matéria fresca de frutos por planta, massa de frutos por colheita e peso médio de frutos por colheita em ambiente de estufa com tela anti-inseto (CT), sem tela (ST) e fora das estufas, em função de dias após o transplante (DAT), em duas épocas de cultivo. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	112
48. Evolução do diâmetro médio e da taxa de crescimento dos frutos do primeiro rácimo, de tomateiro em estufa com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora delas (FE), em duas épocas de cultivo. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	114

	Página
49. Razão entre matéria seca (MS) e a matéria fresca (MF) de frutos de tomateiro (%) em ambiente de estufa plástica com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora das estufas (FE), em função de dias após o transplante (DAT), na primeira (A) e segunda (B) épocas de cultivo. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	115
50. Fração da matéria seca (MS) de frutos na biomassa total da planta de tomateiro, em estufa plástica com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora das estufas (FE), na primeira (A) e segunda (B) épocas de cultivo. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	116
51. Fenologia do tomateiro em ambientes de estufa plástica com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (FE), em duas épocas de cultivo (1 e 2), em função de dias após a semeadura (DAS). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	118
52. Taxa fotossintética em plantas de tomateiro cultivado em estufa com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora das estufas (FE), na média de três níveis do dossel, com os respectivos desvios padrão, indicados pela extremidade da linha vertical. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	120
53. Taxa assimilatória líquida (TAL) de tomateiros em estufa com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (FE), na primeira (A) e na segunda (B) épocas de cultivo. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	121
54. Condutância foliar média de tomateiro ao longo de vários dias, em estufa plástica com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (FE). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	123
55. Condutância foliar média diurna de tomateiro cultivado em estufa plástica com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (FE) e radiação global incidente fora das estufas às 14 h (Rg14h), em função de dias após o transplante (DAT), durante o cultivo de novembro a fevereiro. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	124
56. Condutância foliar ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) de tomateiro ao longo do dia (A), e em função da disponibilidade de radiação solar (B), em estufa plástica com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora das estufas (FE), no dia 25/04/2000. Fepagro. Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	125
57. Potencial da água na folha (ψ_f) em plantas de tomateiro cultivado em estufas plásticas com tela anti-inseto (CT), sem tela (ST) e fora das estufas (FE), nos dias 15/12 e 21/12/1999 e 29/03 e 25/04/2000. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	128
58. Transpiração de tomateiro cultivado em estufa com tela (CT) e fora da estufa (FE), dias de chuva (Chu) e média diária da transpiração para quatro níveis de umidade do solo, nos ambientes CT e FE. Embrapa/Clima Temperado, Pelotas, 2000-2001. Para cada umidade, colunas com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Duncan ao NS=5%.....	130

	Página
59. Condutância foliar média diurna de tomateiro cultivado em estufa plástica com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (FE) e radiação global incidente fora das estufas às 14 h (Rg14h), em função de dias após o transplante (DAT). durante o cultivo de novembro a fevereiro. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	131
60. Razão da transpiração entre os ambientes de estufa com tela anti-insetos (TrCT) e fora da estufa (TrFE), em quatro níveis de umidade do solo. Embrapa/Clima Temperado, Pelotas-RS, 2000-2001.....	131
61. Transpiração relativa do tomateiro (TR) cultivado em estufa plástica com tela anti-insetos (CT) e fora da estufa (FE), para quatro níveis de umidade (tensão de água) no solo. Embrapa/Clima Temperado, Pelotas-RS, 2000-2001. Para cada nível de umidade, colunas com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Duncan ao NS=5%.....	133
62. Fotografia feita em microscópio ótico, de corte transversal de folhas de tomateiro cultivados em estufa com tela anti-insetos (CT) sem tela (ST) e fora da estufa (FE). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.....	136

1. INTRODUÇÃO

A produção hortícola é uma das atividades agrícolas que mais se desenvolveram no mundo. Seu crescimento é sustentado por mudanças nos hábitos alimentares e pelo grande desenvolvimento das áreas urbanas. Estas aglomerações humanas criam zonas de consumo localizado, tornando propícia a oferta de produtos para consumo “in natura”.

Dentre as características deste tipo de atividade, ressalta-se sua alta importância social, devido ser ela associada, basicamente, à agricultura familiar, em pequenas propriedades, junto aos centros urbanos. A produção de hortaliças é pouco mecanizada, o que a torna grande consumidora de mão-de-obra pouco qualificada, que é abundante nas periferias das cidades.

A busca por maiores ganhos, com melhor qualidade, fez com que o produtor adotasse novas técnicas, que lhe garantam o retorno ao investimento e abastecimento do mercado durante o maior período possível. A demanda por aumento na qualidade dos produtos, assim como maior estabilidade de produção, características do mercado atual, vem tornando este setor mais competitivo, exigindo cada vez mais a utilização de técnicas avançadas de produção.

O uso de filmes plásticos na agricultura, modificando as condições do ambiente físico, proporciona algumas características desejáveis ao produtor, como proteção a chuvas, granizo e ventos fortes, isolamento do solo, redução de riscos por geadas, maior velocidade de crescimento das plantas, e estabilidade de produção. O uso de plásticos

também apresenta algumas desvantagens ou limitações, como o aumento de investimento, a possibilidade de maior incidência de algumas moléstias, aparecimento de sintomas de deficiência de alguns nutrientes, além da necessidade de maior nível de conhecimentos pelo produtor.

Em nível mundial, o uso de plásticos na agricultura vem tendo grande crescimento nas últimas décadas. Assim, de 1979 a 1990, a Espanha aumentou em quatorze vezes sua área cultivada sob filmes flexíveis (Galvez, 1994). Neste mesmo país, em 1992, a produção sob estufas e túneis plásticos ocupava uma área de 45.000 ha. No mesmo ano, o Japão possuía uma área de 43.000 ha com cultivos protegidos por estufas (Galvez, 1994). No Rio Grande do Sul, apesar dos números serem bem inferiores, o crescimento da utilização desta técnica também é expressivo. Em 1998 eram cultivados cerca de 200ha em estufas e 230ha em túneis baixos. Esta área de produção envolve aproximadamente 8.500 produtores, dos quais cerca de 4.500 estão na região da Grande Porto Alegre (Emater-RS, não publicado).

Uma das razões do incremento no uso de filmes plásticos é o aumento das informações geradas e chegadas ao produtor, através da pesquisa e da extensão rural. Os órgãos de pesquisa, ensino e extensão estão aumentando a atenção dada à produção de hortaliças em cultivo protegido. Entretanto, apesar desta maior atenção, há necessidade de geração de informações mais adequadas a cada região, para que os produtores não recebam orientações e recomendações inadequadas às suas condições.

Uma das características desejáveis do cultivo em ambientes protegidos é a implementação conjunta de outras técnicas de cultivo, que melhoram o sistema produtivo como um todo. Um exemplo é o uso da irrigação localizada, sobretudo por gotejamento, que, normalmente, é feita em túneis e estufas plásticas. Outra é o uso de fertilizantes solúveis junto à irrigação por gotejamento, prática que está em franca expansão. Também deve-se ressaltar o melhor manejo de defensivos agrícolas, que, em razão de maiores

cuidados pelo produtor e da proteção exercida pelas estufas e túneis plásticos, resulta na redução de aplicações e no uso mais racional de agroquímicos em geral. O isolamento da cultura, proporcionado por plásticos e telas anti-insetos, também propicia ao produtor a possibilidade de melhor manejar o ambiente e evitar o aparecimento de algumas moléstias e, principalmente, pragas.

Por outro lado, apesar das diversas vantagens do uso de estufas plásticas para a produção de hortaliças, as verdadeiras razões científicas destas vantagens e a quantificação dos seus efeitos ainda não são bem conhecidas, em particular nas regiões produtoras do Brasil. Se os processos fisiológicos são altamente dependentes das condições hídricas, que por sua vez são determinadas pela disponibilidade de água no solo e pela demanda evaporativa da atmosfera (e a estufa plástica modifica estas condições), espera-se que haja alterações no crescimento das plantas e na sua produtividade.

Se o conhecimento científico das práticas de cultivo é uma ferramenta fundamental para que o produtor possa manejar corretamente as plantas em estufas plásticas, faz-se necessário conhecer mais profundamente as relações planta-atmosfera, em particular a relação entre a condição hídrica das plantas e o crescimento, em razão das modificações micrometeorológicas causadas pelo uso de coberturas de polietileno, o que constitui o objetivo principal deste trabalho.

Como objetivos específicos este trabalho buscou:

- Avaliar alterações causadas pelo uso de cobertura plástica e tela anti-insetos sobre alguns elementos meteorológicos e as relações entre eles;
- Avaliar a influência de modificações do ambiente físico sobre alguns indicadores da condição hídrica do tomateiro;

- Avaliar modificações no padrão de desenvolvimento e produção do tomateiro em resposta a mudanças micrometeorológicas em ambientes de estufa plástica com e sem tela anti-insetos, em comparação ao ambiente externo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Crescimento vegetal

Conceitua-se crescimento como o aumento irreversível do tamanho de qualquer organismo, através do aumento de volume, de massa, do número de células e da quantidade de protoplasma. O acompanhamento destas variáveis ao longo do tempo, mostra o desenvolvimento do ciclo de vida sendo, altura e massa duas medidas capazes de descrever a evolução do crescimento dos indivíduos.

Lambers et al.(1998) definem como crescimento o incremento de massa de matéria seca, volume, comprimento ou área, que, na maioria das vezes, envolve divisão, expansão e diferenciação de células. Os mesmos autores citam, também, que somente a análise destas variáveis pode não determinar o que se quer acompanhar, pois, por exemplo, pode não ocorrer aumento de matéria seca ao mesmo tempo em que esteja ocorrendo incremento de outros parâmetros (crescimento noturno de raízes, por exemplo).

Apesar de satisfazer a maioria dos pesquisadores interessados em crescimento, o acompanhamento destas medidas pode, em alguns casos, não mostrar o que se quer acompanhar. Apesar de complicações existentes, o critério fundamental de crescimento é aumento de tamanho.

Aceitando-se a célula como unidade básica da vida, o crescimento dos organismos pode ser entendido a partir do crescimento das próprias células. Como a célula é constituída quase que totalmente por água, para que haja crescimento em seu volume,

necessariamente, há necessidade de que ela absorva água. Segundo Hopkins (1995), a força motora para o crescimento da célula é a absorção de água, já que não há crescimento celular sem a presença de água, como foi observado em experimentos.

O crescimento em volume se dá pela entrada de água na célula, que distende suas paredes. Porém, a síntese de novos materiais de parede e membrana não permite que a parede celular fique mais fina (Lambers et al., 1998). Na maioria das células de plantas superiores o crescimento ocorre em todas as superfícies laterais (Salisbury & Ross, 1994).

O potencial da água de uma célula é regulado, primeiramente, pelas mudanças do potencial de pressão, que são geradas pela expansão do protoplasma contra as paredes celulares. Além de fortes, as paredes devem ser rígidas para não se deformarem e manterem sua forma arredondada. Estas duas características (forte e rígida), necessárias à célula, são contrárias ao crescimento do seu volume. Portanto, para que haja crescimento há necessidade de modificações nestes fatores, para entrada de água em seu interior; ou seja, a parede deve-se distender para aumentar seu volume.

Segundo Hopkins (1995) a taxa de entrada de água no interior da célula, que determina expansão celular, é determinada pela equação

$$dV/dt = L.\Delta\psi \quad (1)$$

onde dV/dt é a variação do volume em função do tempo, L é a condutância hidráulica da membrana celular e $\Delta\psi$ o gradiente de potencial da água entre a célula e o meio externo.

Em condições normais, em que a pressão externa é a atmosférica, pode-se definir o $\Delta\psi$ como a diferença entre o potencial osmótico (ψ_o) e potencial de pressão (ψ_p) da célula, ou seja

$$\Delta\psi = \psi_o - \psi_p \quad (2)$$

substituindo na equação (1), tem-se que

$$Dv/dt = L(\psi_o - \psi_p) \quad (3)$$

A equação (3) mostra que a taxa de absorção de água pela célula, medida pelo aumento de volume, é função da condutância hidráulica da membrana plasmática, do gradiente de potencial osmótico entre a célula e o meio externo, e do potencial de pressão da célula.

Quando uma célula não está em crescimento o $\Delta\psi$ tem que ser igual a zero, ou seja, ψ_o igual a ψ_p . Pesquisadores verificaram que o potencial de pressão é que comanda esta extensão; mas isto somente foi demonstrado empiricamente. Foi verificado que quando o potencial de pressão é reduzido a expansão da parede celular e o crescimento da célula também são reduzidos. Além do mais, expansão da parede e crescimento não ocorrem em células com valores de potencial de pressão muito baixos ou iguais a zero, mesmo em células metabolicamente ativas. A equação de Lockhart (1965), resume esta relação empírica da extensão da parede celular e do potencial de pressão, pela seguinte equação:

$$dV/(V.dt) = m (\psi_p - Y) \quad (4)$$

onde Y é a pressão mínima de turgor necessária para haver crescimento, chamada ponto de cedência. O termo m é uma constante de proporcionalidade entre taxa de crescimento e o potencial de pressão, além do ponto de cedência, chamada extensibilidade da parede celular. Esta constante é uma medida quantitativa da capacidade de aumento irreversível da superfície da parede celular.

Conforme alguns autores, os parâmetros quantitativos de crescimento, como altura de planta, área foliar, massa de matéria seca, chamados de tradicionais por Confalone et al.

(1998), possuem algumas limitações. Por exemplo, à medida em que a cultura cresce e, em consequência, sua área foliar aumenta, as relações vão perdendo a capacidade de representar de forma adequada a interação clima x cultura (Costa et al., 1997b). Entretanto, estudos da habilidade das culturas em interceptar e utilizar a radiação, durante seu ciclo, têm objetivado o entendimento dos efeitos dos diferentes elementos meteorológicos sobre os componentes morfológicos e fisiológicos que determinam o crescimento e a produtividade das culturas (Costa et al., 1997b).

Dentre as várias características da planta relacionadas com produtividade, a principal é a capacidade de, rapidamente, atingir o fechamento do dossel para obter a máxima captação de radiação solar. Após a cobertura total do solo, o ângulo das folhas pode aumentar a produção, através da disponibilização de maior quantidade de radiação para os estratos de folhas mais inferiores do dossel. Por outro lado, a disposição horizontal das folhas pode ser importante para reduzir luz de competidores. Por outro lado, a mudança do ângulo da folha pode evitar estresse por excesso de radiação, pela mudança do balanço de energia na folha (Percy et al., 1987). A disposição das folhas e a forma da estrutura da planta são maneiras da planta mostrar se sua necessidade imediata é por capacidades fotossintéticas elevadas ou para evitar estresses futuros, que venham reduzir o ganho de carbono a longo prazo (Percy et al., 1987). Algumas espécies são mais eficientes na intercepção de luz, por usarem menos biomassa no suporte das folhas e se reproduzir com menores tamanhos, ocupando pequenos espaços, entre a sombra de outras espécies.

Processos fisiológicos da planta são altamente dependentes das condições ambientais, principalmente da disponibilidade hídrica. A fotossíntese e a condutância estomática são alguns deles. Por sua vez, o crescimento é dependente de processos ainda mais sensíveis, como o alongamento de células foliares e a síntese de proteínas (Lambers et al., 1998).

2.2. Estresse hídrico

Levitt (1972), incluiu o termo estresse, usado na física, para definir condições biológicas, que vem sendo muito utilizado nesta área. Segundo este autor, estresse biológico é qualquer alteração nas condições ambientais que possa reduzir ou influir de maneira adversa o crescimento e o desenvolvimento de um ser vivo. Outro termo utilizado pelo autor, que é deformação biológica, representa a função reduzida ou mudada.

Salisbury & Ross (1994) também citam que qualquer mudança nas condições ambientais que resulte em uma resposta da planta, menor do que a resposta ótima que a planta poderia dar, pode ser considerada como estressante. Por outro lado, Larcher (2000), cita que, a determinação de que uma planta está ou não sofrendo estresse, só pode ser respondida tendo como referência o seu comportamento normal.

Larcher (2000) cita que estresse é, na maioria das definições, considerado como um desvio significativo das condições ótimas para a vida. Para evitar o mau uso do termo, o mesmo autor, cita ainda que, fator de estresse (ou estressor) indica o estímulo e resposta ao estresse ou estado de estresse indica a resposta ao estímulo, bem como o estado subsequente de adaptação. Ainda de maneira alternativa, estresse pode ser considerado como um estado funcional ou como uma resposta dinâmica do organismo como um todo.

O déficit hídrico nas plantas, pode ser provocado por ambientes com alta demanda hídrica da atmosfera, baixa quantidade de água no solo, alta concentração salina ou baixas temperaturas. Estes ambientes tem em comum o potencial da água muito baixo, o que determina grandes adaptações e ou alto consumo de energia pela planta, para captar este recurso.

A redução do volume celular, o consequente aumento na concentração e uma progressiva desidratação do protoplasto, são resultados da deficiência hídrica

(Larcher, 2000). O mesmo autor cita ainda que, não há processo vital que não seja afetado de alguma forma pelo declínio do potencial hídrico.

2.2.1. Desenvolvimento da condição de déficit hídrico

A existência de estresse hídrico diz respeito, principalmente, às reações da planta a ambientes com restrição de água, sendo que essas reações variam conforme a espécie e o estado de desenvolvimento da planta (Kramer & Boyer, 1995).

O desenvolvimento do estresse por déficit hídrico, começa com a perda de água das células do mesófilo para a atmosfera, através dos poros estomáticos, o que provoca uma variação no potencial da água no interior da planta. Esta variação de potencial é responsável pela circulação da água na planta, desde as raízes até as folhas. Sempre que o balanço hídrico dos tecidos for negativo, ou seja, a saída de água for maior do que a entrada, o órgão estará sob déficit. Em condições hídricas ideais, o gradiente de potencial formado entre a atmosfera e o solo provoca movimento de água através da planta, dos potenciais maiores para os menores, e este fluxo é regido pelas resistências dos diferentes locais da planta, que tendem a aumentar ou diminuir conforme a condição hídrica da planta (Ackerson & Krieg, 1977)

Hsiao (1973) cita que o déficit de água na planta causa em primeiro lugar redução de crescimento do caule e das raízes, com a queda do potencial de pressão nos tecidos. A seguir, ocorre redução da síntese de proteínas e material da parede celular dos tecidos com alto potencial de crescimento. À medida em que diminui o potencial da água da planta, a divisão celular é reduzida e o nível de algumas enzimas, como nitrato redutase, também inicia a reduzir. Os estômatos começam a fechar, com a conseqüente redução de transpiração e assimilação de CO₂, e o ácido abscísico inicia a se acumular. A partir deste ponto, mudanças secundárias e terciárias começam a ocorrer, como queda na respiração,

translocação de fotossintatos, e aumento dos níveis de algumas enzimas hidrolíticas, sendo que o transporte de íons se torna lento. Finalmente, com o estresse tornando-se severo, ocorre acúmulo de prolina e a assimilação de carbono torna-se muito baixa ou nula.

Kramer & Boyer (1995) também citam que a mais sensível resposta ao déficit hídrico é a diminuição da turgescência e, associada a esse evento, a diminuição do processo de crescimento, principalmente o de extensão.

Conforme Kramer & Boyer (1995), pode-se classificar o estresse por déficit hídrico em dois tipos, em função do tempo que a planta fica exposta: de curto e de longo prazo.

De curto prazo é o estresse hídrico que pode ocorrer, de forma instantânea, quando a transpiração for maior do que a absorção. Isto ocorre quando existem condições de forte demanda atmosférica, normalmente próximo ao meio-dia. Nesta condição, o aumento rápido da transpiração não é compensado pela absorção radicular, o que provoca uma queda no potencial da água na planta. Isto pode ocorrer mesmo quando a umidade do solo esteja próxima à capacidade de campo. Este tipo de estresse depende, principalmente, da demanda evaporativa atmosférica. Após passado o período crítico, com a continuidade da absorção normal das raízes, ocorre a reidratação dos tecidos, voltando às condições normais ótimas.

Estresse hídrico de longo prazo é decorrente de um período mais longo com baixa suplementação de água ao solo, o que determina uma redução da reserva hídrica disponível às plantas. Esta restrição de água provoca a mesma alteração nas condições da planta do que o estresse de curto prazo, ou seja, queda do potencial da água nos seus tecidos. A diferença principal é que, mesmo com baixa demanda atmosférica, não ocorre a reidratação dos tecidos. Esta situação ocorre devido às altas tensões pelas quais a água pode ficar retida no solo, impossibilitando a absorção radicular. Esta condição tende a se tornar mais importante dia-após-dia, se persistirem as condições de solo seco.

2.2.2. Adaptações da planta ao déficit hídrico

Conforme Bohnert (1995), os ambientes estressantes podem ser de vários tipos, mas a maioria deles tem, em comum, seu efeito sobre a condição hídrica da planta. As espécies variam sua sensibilidade, com diferentes respostas à redução do potencial da água por restrição hídrica no solo, alta demanda evaporativa, baixa temperatura ou alta salinidade, sendo capazes de perceber, sinalizar e responder a estas condições.

Chapin III (1991) entende que as plantas respondem ao estresse ambiental, basicamente, da mesma maneira: através da redução na taxa de crescimento e na taxa de absorção de todos os nutrientes do solo. Isto também ocorre com plantas bem adaptadas a ambientes estressantes, onde existe pouca disponibilidade de recursos.

Dentre os ambientes estressantes, os de carência hídrica são os mais amplamente estudados, pois são comuns à maioria das regiões do mundo. Dentre os muitos autores que estudaram o assunto, todos são unânimes em afirmar que a resposta mais sensível ao déficit hídrico é o crescimento celular. Hsiao (1973) cita que o crescimento celular (aumento irreversível das células) é, com certeza, um dos processos mais sensíveis ao estresse hídrico, senão o mais de todos para várias espécies de plantas. Se o potencial da água diminuir somente $-0,1$ MPa ocorre uma diminuição apreciável do crescimento celular e, em consequência, da raiz e do caule (Neumann et. al., 1988). Esta inibição do aumento celular é seguida, de perto, por uma redução de síntese da parede celular. A síntese de proteínas pode ter quase o mesmo grau de sensibilidade ao estresse hídrico. Estas respostas são observadas somente em tecidos que, normalmente, crescem com rapidez.

Ao alcançar um nível de estresse que causa efeitos sobre as enzimas, o ácido abscísico começa a aumentar de maneira notável (aproximadamente 40 vezes) nos tecidos das folhas e, em menor grau, em outros tecidos, incluindo raízes (Walton, 1980, Bradford & Hsiao, 1982; Salisbury & Marinos, 1985, citados por Salisbury & Ross, 1994). Este

hormônio também apresenta aumento nas folhas de plantas estressadas por deficiência ou toxidez de nutrientes, por salinidade, por resfriamento ou saturação de água no solo. Estes tipos de estresse, porém, podem não influir no potencial da água ou na redução da turgidez celular. Tudo leva a crer que o aparecimento deste hormônio reduz o crescimento e o metabolismo, com o objetivo de manter uma reserva de recursos, por redução do seu consumo (Salisbury & Ross, 1994).

Pereira (1995) cita que o déficit hídrico muda a relação entre a taxa fotossintética e o crescimento, devido ao aumento da massa por unidade de área foliar e o decréscimo da taxa fotossintética.

Comumente, as plantas se recuperam ao receberem água, se o estresse hídrico for de -1,0 a -2,0 MPa. Apesar de ser um evento severo, a resposta é elástica, já que o crescimento e a fotossíntese das folhas jovens não alcançam as taxas originais, por vários dias. Isto resulta em uma redução da produção, que pode ser muito expressiva conforme a severidade do período de seca. Durante o período de estresse as células permanecem menores e as folhas se desenvolvem menos, o que provoca uma redução na área fotossintetizante. Além do mais, as plantas podem ser sensíveis a secas moderadas durante certos períodos. Resumindo, em relação à produção final, em condições de estresse, as respostas da planta são elásticas (reversíveis) desde que o mesmo seja moderado (Salisbury & Ross, 1994). Levitt (1972) porém, mostra que apesar das taxas fotossintéticas em condições de estresse serem elásticas, elas podem provocar redução de produção de biomassa devido a ocorrência destes períodos de taxas reduzidas.

Pereira (1995) cita que, mesmo retomando os mesmos níveis de trocas gasosas com a restauração da disponibilidade de água para as plantas, após período de estresse hídrico, as mudanças na estrutura da planta, na área foliar e no nível de armazenamento de

carboidratos e nutrientes, sempre irão prejudicar a total recuperação das taxas de crescimento das plantas.

Vários autores verificaram a influência do déficit hídrico sobre as culturas. Chartzoulakis et al. (1993) observaram, em plantas de kiwi, que a déficit hídrico reduziu a fotossíntese, ocasionou fechamento dos estômatos, reduziu o crescimento da planta, diminuiu a área foliar, reduziu a produção de matéria seca e aumentou a relação raiz/parte aérea das plantas não irrigadas, em relação à testemunha sem restrição hídrica.

Li & Stanghellini (2001) verificaram que a redução da área de folhas individuais de plantas de tomateiro foi mais sensível ao estresse hídrico do que a redução do número de folhas. Plantas com raízes abastecidas com soluções nutritivas reduziram sua área foliar total devido a redução do potencial da água na solução, em 7% por unidade de condutividade elétrica (concentração salina), acima de $6,5\text{dSm}^{-1}$. Verificaram, também, que o aumento do número de folhas deveu-se à menor distância dos entre nós. Os mesmos autores verificaram que a redução do potencial da solução aumentou a produção de matéria seca total, porém não modificou a matéria seca e fresca do caule, diferentemente do efeito causado pela redução da demanda atmosférica, que aumentou a matéria do caule de plantas cultivadas em solução com alta condutividade elétrica. Estes resultados levam a crer que, em soluções nutritivas com baixo potencial hídrico, os órgãos da planta retiram menos água da seiva e isto não afeta a produção de matéria seca das plantas. Os tratamentos com alta condutividade elétrica na solução nutritiva determinaram uma pequena redução da área foliar específica das folhas.

Conforme Bañuelos et al. (1985) a falta de cálcio nos frutos de plantas cultivadas em ambientes com alta umidade (relacionados com baixa demanda atmosférica) deve-se ao favorecimento do crescimento da área foliar, em relação a outras partes da planta, principalmente os frutos.

Gebre & Kuhns (1993) verificaram que a restrição de água afetou a fotossíntese líquida e a condutância foliar de clones de *Populus deltoides*. Verificaram que alguns clones recuperaram o nível fotossintético 18 h após a reidratação, enquanto que um outro clone recuperou somente parte do nível da fotossintético e da condutância. Alguns clones apresentaram ajuste osmótico após três ciclos de seca, enquanto que um outro apresentou o mesmo ajuste somente após oito ciclos.

Com tomateiro, McGiffen Junior et al. (1992) verificaram que irrigação insuficiente às necessidades da cultura reduziu a área foliar, a altura da planta e a produção de matéria seca, como também modificou a razão raiz/parte aérea.

Em estudos feitos com tomateiro em hidroponia, Pearce et al. (1993) verificaram que o crescimento dos frutos, em períodos de baixa demanda evaporativa da atmosfera, é regulado, principalmente, pela temperatura do ar, sendo pouco afetado pela salinidade da solução. Já em períodos de alta demanda evaporativa, a condição hídrica da planta é que tem maior influência sobre o crescimento dos frutos. Johnson et al. (1992) também verificaram que o crescimento ou a redução do tamanho de um fruto de tomateiro são altamente relacionados com aumentos ou diminuições diárias do potencial da água na planta.

Takagi et al. (1998) verificaram que o controle estomático das folhas afeta a transpiração de uma comunidade de plantas e serve para prevenir a perda excessiva de água pelas mesmas, quando o déficit de pressão é elevado, mesmo em solos com elevada disponibilidade de água.

2.2.3. Crescimento sob estresse

A resposta ao estresse está relacionada à forma, duração, intensidade e distribuição espacial ou temporal do estresse experimentado. Porém, também depende em grande parte

da história evolucionária e ecológica das espécies ou da população (Grime & Campbell, 1991).

Os efeitos mais relacionados com o estresse de água no crescimento são baseados em parâmetros da equação de Lockhart (1965), com ajuste osmótico causando impacto no potencial de pressão da célula (ψ_p) e na perda de elasticidade da parede celular, causando reflexos na pressão mínima de turgor (Y) e no coeficiente de proporcionalidade (m) (Equação 4). O desenvolvimento de um estresse hídrico ameno causa, primeiramente, uma queda no crescimento da área foliar, enquanto que a fotossíntese permanece inalterada, enquanto ele não for severo. A fotossíntese por planta, entretanto, é reduzida, por ser determinada pela menor cobertura vegetal do dossel e pela redução de interceptação e absorção de radiação fotossinteticamente ativa. Estresse hídrico suave é aquele que não causa impacto direto na abertura estomática ou na transpiração e fotossíntese por unidade de área foliar (Hsiao, 2000).

Saha & Hara (1998) verificaram que um pequeno estresse hídrico na planta proporciona reduções significativas no crescimento do tomateiro. Mudando a complementação de água ao reduzir 15% da massa dos vasos com plantas de tomateiro, para 60%, determinou uma redução no tamanho de plantas de 90 para 80 cm, aos 28 dias após o transplante. Plantas sem reposição de água, aos 28 dias após o transplante, atingiram somente 36 cm. Os mesmos autores verificaram que o número de folhas e as taxas de evapotranspiração foram reduzidas à medida em que se aumentou o espaço de dias entre as irrigações. A produção relativa de biomassa seca de raízes aumentou, modificando a repartição de matéria seca, favoravelmente às raízes, à medida em que se restringiu o abastecimento de água.

Costa et al.(1997a) mostraram, que plantas sob déficit hídrico apresentaram menores índice de área foliar, massa de matéria seca e taxa fotossintética. As plantas não

irrigadas reduziram a eficiência de captação de luz (de 2,48 para 1,94g MJ⁻¹). As plantas sob estresse hídrico aumentaram seu coeficiente de extinção de luz devido a mudanças na arquitetura da planta, modificando sua habilidade de captar a luz.

Assim como todos os fatores do ambiente afetam a fixação de carbono, estes também afetam a reprodução das plantas. Os órgãos de reprodução são construídos a partir dos recursos adquiridos, no mesmo período de sua criação, ou armazenados nas partes vegetativas. Qualquer estresse ambiental que afete a produção das partes vegetativas vai afetar, posteriormente, a produção reprodutiva (Chiariello & Gulmon, 1991)

2.2.4. Crescimento sob estresse ameno

Hsiao (1973) classifica como estresse ameno aquele em que a planta apresenta um conteúdo relativo de água (CRA) de 8 a 10% menor daquele apresentado por plantas bem irrigadas, em condições de demanda atmosférica amena. Em estresse mediano estariam submetidas as plantas com CRA de 10 a 20% menor do que em plantas bem irrigadas, enquanto que a estresse elevado estariam plantas com CRA abaixo de 20% daquelas bem irrigadas, ou com potencial da água na planta menor do que $-1,5$ MPa. O mesmo autor cita que os estômatos são pouco sensíveis em condições de estresse ameno, apesar desta afirmação não poder ser generalizada .

Muitas mudanças químicas e físicas ocorrem quando as plantas são expostas a ambientes com restrição de água nas suas raízes, sendo que qualquer uma destas causas pode ser o fator determinante da inibição do crescimento das plantas. Porém, a queda elevada da diferença de potencial entre as células do caule e das raízes tem como causa imediata a inibição do crescimento (Nonami et al., 1997). Esta redução de crescimento pode aparecer minutos depois da redução do potencial da água do substrato, onde se encontram as raízes.

Sonneveld & Welles (1988) comentam que, na maioria dos estudos de produção em ambientes salinos, as culturas que se desenvolvem em condições normais se comportam como plantas cultivadas em ambientes de baixa umidade, enquanto que os cultivos em estufas de vidro se comportam como se estivessem em ambientes muito úmidos.

Com estresse ameno e com os estômatos permanecendo abertos, o potencial da água na folha é tanto menor, para determinado potencial da água no solo, quanto maiores forem a demanda evaporativa e a transpiração. Sob estas condições de estresse ameno, as plantas reduzem o crescimento da área foliar e a sua função como fonte de assimilados, distribuindo uma maior quantidade de assimilados disponíveis para o crescimento das raízes (Hsiao, 2000). O autor cita, ainda, que o resultado de pequenas reduções na produção primária da cultura pode ter um efeito substancial na produção total no final do ciclo cultural. O efeito de pequenas diferenças no crescimento diário de área foliar, de maneira similar às pequenas diferenças de taxas de crescimento, podem determinar grandes alterações da área foliar no final de um ciclo de produção. Assim, respostas de curto prazo (horas ou dias), como redução da expansão celular e fechamento estomático (Hsiao, 1973), são as causas primárias responsáveis pela ocorrência de respostas de plantas estressadas a longo prazo.

Com diferentes manejos de água, por irrigações a 80 e 50% da água disponível no solo, Gianquinto et al. (1990), determinaram somente modificações na produção total de frutos de tomateiro, não influenciando a altura das plantas, o número de folhas e o comprimento do caule. O número de frutos também foi o mesmo nos dois tratamentos. Com respeito à produção de matéria seca, a planta somente apresentou diferenças, na produção de matéria seca de frutos, não apresentando diferenças na produção de matéria seca total da planta, das folhas e do caule.

Li et al. (2001) não verificaram modificações no número de frutos de tomateiro com redução do potencial da água nas raízes em sistema hidropônico, nem com a redução da demanda evaporativa em 65%, apesar de verificarem diferenças na produção de frutos comercializados. A redução da demanda atmosférica, atenuou a queda de produção de 20 para 12% e de 28 para 18%, nos tratamentos com 6,5 e 9,5dS m⁻¹, respectivamente. Os mesmos autores concluíram que a redução da produção de frutos frescos com redução do potencial da solução e aumento da evapotranspiração de referência, que modificam a condição hídrica das plantas, se dá devido à diminuição de sua massa e não ao número de frutos. Além disso, a redução da transpiração potencial, dentro de estufas, pode atenuar os efeitos negativos da salinização das raízes, aumentando a produção de frutos frescos, mas sem efeito significativo na matéria seca de frutos.

Medindo a condição hídrica de plantas de morangueiro, Peñuelas et al. (1992) verificaram que um déficit hídrico suave causa redução da taxa de produção de matéria seca, do índice de área foliar, da produção de frutos e modifica a disposição das folhas do morangueiro.

2.2.5. Indicadores de déficit hídrico

A adaptação de plantas a vários ambientes faz com que estas apresentem diferentes respostas às condições bióticas ou abióticas a que são submetidas. Como foi visto anteriormente, as plantas apresentam respostas quando expostas a ambientes estressantes, no caso particular abordado, a estresse hídrico. A observação de respostas das plantas, como medidas fisiológicas, são capazes de identificar a condição hídrica que as mesmas apresentam.

Em seus estudos sobre indicadores de estresse hídrico, Bergonci (1997) sugeriu aprofundamento nas avaliações de temperatura foliar, com termômetro infravermelho, para

obter índices de estresse que possam ser utilizados. Saliou, também, que tais estudos devem relacionar o potencial da água na folha com medidas tensiométricas, que são mais simples, baratas e mostraram consistência em seu trabalho. Peñuelas et al. (1988) também recomendou o uso da temperatura foliar para manejo de água em morangueiro, pois ela permite verificar diferenças de estado hídrico da cultura em condições de demanda atmosférica amena, como as que ocorrem em estufas plásticas.

Câmaras de pressão, desenvolvidas na década de 60, permitem estimar o potencial da água na folha, que mostra o nível energético da substância neste órgão da planta. Bergonci et al. (2000) verificaram que o potencial de água na folha, ao entardecer, pode ser utilizado como indicador de déficit hídrico em plantas de milho.

O conteúdo relativo de água na folha (CRA) também expressa o estado hídrico da planta e representa a porcentagem de água existente no tecido vegetal, comparada com aquela na turgidez máxima. Katerji et al. (1988) citam que, juntamente com a demanda evaporativa da atmosfera, o armazenamento de água no solo, bem como o potencial da água na zona radicular das plantas, são indicadores do condicionamento do equilíbrio hídrico da planta. Ieperen (1996) também citou que o déficit hídrico da planta é relacionado com o conteúdo relativo de água, sendo uma medida de estado hídrico da planta.

O porômetro, aparelho capaz de estimar a condutância foliar à difusão gasosa, propiciou um aumento no entendimento do processo transpiratório das plantas. Muitos autores, como Grantz & Meinzer (1991), Jordan & Ritchie (1971) e Daí et al. (1992), citam que o uso deste aparelho é útil para determinar o estado hídrico das plantas através da determinação da resistência ou da condutância, existente na folha, à passagem do vapor d'água de dentro da folha para a atmosfera. Grantz & Meinzer (1991) observaram que, apesar de divergências entre autores, existe relação entre saldo de radiação, a transpiração

e condutância estomática de plantas sem restrição de água. Segundo os autores, isto reflete uma resposta dos estômatos à disponibilidade de energia e à demanda evaporativa sobre plantas cultivadas a campo.

Montero et al. (2001) verificaram que gerânios, cultivados em ambientes com altas temperaturas e déficit de pressão de vapor, não modificaram sua condutância estomática, medida com porômetro, para déficits variando desde 1,4 a 3,4kPa, em temperaturas acima de 36°C. Estes autores consideraram que esta resposta deveu-se à aclimação da cultura, que se desenvolveu desde o início do ciclo, em ambientes com alta demanda evaporativa. Além disto, a alta disponibilidade de água do sistema hidropônico propiciou um aumento da quantidade de raízes, o que deve ter aumentado a absorção de água pela cultura.

Outro indicador de estresse hídrico da planta é o potencial da água no solo, o qual, apresenta como vantagem sua simples determinação feita com tensiômetros. Como outros indicadores apresentam alta relação com o conteúdo de água no solo, este pode ser utilizado como os outros indicadores, desde que estas relações sejam determinadas. Pyremorte (1984) utilizou este indicador para manejar, com sucesso, a água de irrigação de algumas culturas.

O potencial da água foliar de base ou somente potencial de base, que corresponde ao potencial da água na folha medido antes do sol nascer, tem sido um dos indicadores de estresse hídrico recomendado por Katerji et al (1988), e mostra uma relação estreita com o potencial da água no solo.

A diferença de temperatura entre a folha e o ar, ou entre o dossel vegetal e o ar, chamado também como índice de estresse da cultura, é citado por Gardner et al. (1992) como um excelente indicativo do estado hídrico de alguns tipos de plantas.

A evapotranspiração relativa, que é a razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima, também determina a influência dos dispositivos de segurança

da planta que estão ativados para economizar água. Ela é citada por Katerji et al. (1988), como um indicador do estado hídrico das plantas, que se desenvolve em períodos mais longos e determina o estado hídrico da planta, assim como o conteúdo de água nas folhas ou o potencial da água na folha.

Jordan & Ritchie (1971) mostraram, em seu trabalho com algodão, que o potencial da água na planta, o conteúdo relativo de água da planta, a variação no diâmetro do caule e a resistência estomática podem ser usados como indicadores do estado hídrico da planta existindo alta relação entre estes indicadores.

A variação no diâmetro do caule também tem sido usada como indicadora de estresse, baseada na relação entre esta variável e respostas da planta, como resistência estomática e fotossíntese líquida (Schoch et al.,1990). Brum & Tournier (1992) afirmam que esta metodologia somente é indicativa de estresses causados por mudanças bruscas de ambiente. Os mesmos autores verificaram que plantas de tomateiro somente detectaram variações bruscas na salinidade das soluções e não diferenças de nível nutricional.

Como foi visto anteriormente, algumas respostas da planta também podem ser indicadoras dos efeitos do estresse, como produtividade, altura da planta, área foliar, tamanho de célula, massa da matéria seca, potencial total da água, potencial de pressão e potencial osmótico, bem como crescimento dos frutos e relação raiz/parte aérea. Além disso, indicadores também podem determinar, por comparação, qual planta se encontra em condição hídrica mais adequada.

2.3. Adaptação das plantas à disponibilidade de luz

Todas as plantas têm capacidade de se aclimatarem a ambientes sombreados com maior ou menor intensidade, o que determina o seu fenotipo: de sol ou de sombra. O termo planta de sombra, pode referir-se a um genótipo adaptado ou a um fenotipo

aclimatado (Lambers et al., 1998). Para os mesmos autores, os termos folha de sol ou de sombra, refere-se a folhas ou plantas que se desenvolveram em condições de alta ou baixa irradiância respectivamente.

Algumas características das plantas são altamente relacionadas às variações na disponibilidade de radiação em seu habitat. Pode-se dizer que plantas com características semelhantes àquelas que sobrevivem em ambientes com pouca disponibilidade de luz podem ser chamadas de plantas de sombra, enquanto que plantas com as características das que sobrevivem em ambientes com muita luz são chamadas de plantas de sol. Dentro de uma mesma planta também é possível usar esta classificação, podendo existir folhas de sol e de sombra. Conforme Boardman (1977), estas características podem ser encontradas tanto entre plantas de diferentes espécies como entre plantas de uma mesma espécie, desde que cultivadas em diferentes disponibilidades de radiação.

Yanhong (1997) observou que a resposta da planta à disponibilidade de radiação, que pode ocorrer em pequeno ou grande espaço de tempo, depende do tipo de estímulo que a mesma recebe, e pode ocorrer através de respostas bioquímicas e fisiológicas. O autor afirmou, ainda, que a aclimação fotossintética é uma das mais importantes respostas das plantas às mudanças de luz, e que estas modificações tendem a maximizar a taxa de fotossíntese líquida. Boardman (1977) também afirmou que as plantas de sombra investem uma maior porção de fotoassimilados na síntese e na manutenção de seu aparato para a captação de luz, do que as plantas de sol.

Lambers et al. (1998) e Yanhong (1997), mostraram que algumas características de folhas ou plantas de sombra ou sol são diferentes, as quais são mostradas na Tabela 1.

Em sua conclusão, Boardman (1977) afirmou que a adaptação para alta eficiência fotossintética, sob extremas condições de disponibilidade de radiação, exige alta eficiência na captação deste recurso, quando ele é limitante.

TABELA 1 Características gerais de plantas ou folhas aclimatadas, de acordo com a disponibilidade de radiação solar do ambiente (adaptado de Lambers et al., 1998; Yanhong, 1997; Booardman, 1977)

Características	Sol	Sombra
Estruturais		
Matéria seca de folha por área	Alta	Baixa
Espessura de folha	Grossa	Fina
Espessura do tecido paliádico	Grossa	Fina
Área foliar específica	Baixa	Alta
Células da folha	Menores	Maiores
Densidade celular na folha	Alta	Baixa
Bioquímicas		
Clorofila por área foliar	Similar	Similar
Clorofila por matéria seca foliar	Baixa	Alta

Radin (2002) verificou que tomateiro cultivado em estufas plásticas, onde houve redução de aproximadamente 30% da radiação fotossinteticamente ativa, apresentou aumento na eficiência de utilização desta radiação em aproximadamente 33% na época de primavera-verão e 43% na época de verão-outono. O autor justifica esta maior eficiência à maior quantidade de luz difusa no ambiente interno à estufa e ao comportamento das folhas inferiores, como folhas de sombra, que se tornaram mais eficientes na absorção da radiação. A maior eficiência da radiação difusa para a produção vegetal, também foi citada por Castilla Prados (1998), quando a cultura cobre totalmente o solo, a qual, por ser multirecional, penetra melhor na vegetação. As folhas de plantas tolerantes à sombra tendem a apresentar maior longevidade, aumentando o seu potencial fotossintético e a produção de biomassa (Reich et al., 1991).

2.4. Crescimento das culturas em estufas plásticas.

O estudo do comportamento das culturas em estufas plásticas tem mostrado que estas apresentam maior taxa de crescimento e menor massa específica como foi verificado em alface, atribuído pelos autores à maior temperatura. (Segovia et al., 1997). Reisser

Júnior & Buriol (1996) verificaram que, em período frio (inverno), a produção de matéria seca, em estufa, foi 5,88 vezes a produzida fora, enquanto que em período quente (verão) teve acréscimo de 1,29 vezes na mesma comparação. Os dados mostram também a menor massa específica das plantas cultivadas nas estufas, o que aconteceu nos dois períodos estudados, independentes da temperatura do período. Os autores também concluíram que a produção de alface pode ser beneficiada por esta tecnologia em qualquer período do ano.

O uso de estufas proporciona condições de ambiente mais favoráveis à produção pois Pereira & Reisser Júnior (1997) obtiveram, com tomateiro, rendimentos de 163 t ha^{-1} dentro de estufas plásticas, em época desaconselhável à cultura na Região Sul do Brasil. Abreu et al. (1994) verificaram que a manutenção de estufas abertas durante as 24h do dia não influi na produção de frutos de tomateiro, em comparação àquelas em que as cortinas foram fechadas durante à noite. Em períodos de primavera, na região mediterrânea, os autores colheram mais de 14 Kg m^{-2} com este manejo, que influenciou na redução de moléstias em seus frutos. A redução da temperatura, causada pelo manejo diferente, somente reduziu o crescimento das plantas durante o início do período de colheita de frutos.

Na produção de flores, Fernandez et al.(1994) verificaram que a redução da radiação em estufas plásticas não melhorou a qualidade de rosas cortadas. A redução de 50% para 80% na radiação global do mês de janeiro na Argentina, reduziu a taxa de crescimento das plantas e o tamanho final do comprimento do caule, diminuindo a produção de matéria seca, mas não reduzindo a área foliar.

Vargues et al. (1994), verificaram que o uso de dois filmes de plástico, visando um melhor isolamento das estufas, proporcionou uma redução na produção de tomate em Portugal, sem modificar o número e o tamanho de frutos, mesmo numa época em que a disponibilidade de radiação não foi limitante. A produção de tomates foi reduzida em torno

de 5% quando houve redução de 20% na radiação fotossinteticamente ativa e um aumento de 4°C na temperatura média do dia. Outra diferença entre as plantas ocorreu na altura, onde a redução de radiação proporcionou maior altura de plantas.

2.5. Alterações físicas em ambientes de estufas plásticas

A simplicidade dos modelos de estufas plásticas usadas para a produção de hortaliças no sul do Brasil, como o modelo “capela”, permite a vantagem de utilizar ao máximo os materiais disponíveis na propriedade rural (Reisser Júnior & Reichert, 1998). Entretanto, as condições do ambiente interno a estes abrigos são totalmente dependentes das condições locais (Farias et al., 1993).

2.5.1. Temperatura do ar

As temperaturas mínimas internas à estufa são semelhantes às ocorridas no ambiente externo, podendo ser mais baixas internamente, ocasionando o fenômeno chamado inversão térmica (Montero et al. 1985; Castilla Prados, 1998).

Em estruturas mais sofisticadas, como algumas usadas em Portugal, com estrutura metálica, filme plástico térmico de 200µm e sem aquecimento, o controle ambiental também é restrito e as condições permanecem semelhantes e dependentes do clima externo (Abreu et al., 1994).

Os modelos de estufas sem aquecimento e com filme plástico anti-UV não influem de maneira significativa no aumento das temperaturas mais baixas. Reisser Júnior et al. (1994) testaram quatro modelos de estufa, que não apresentaram diferenças nas temperaturas ocorridas às 7h da manhã, durante o período de maio a junho na região de Pelotas-RS.

Em estruturas adequadas, as temperaturas diurnas podem permanecer semelhantes àquelas do ar externo se o manejo permitir ventilação suficiente (Reisser Júnior & Medeiros, 1998; Pezzopane et al., 1995). Porém, com a presença de radiação solar é comum que as temperaturas internas das estufas sejam superiores ao ambiente externo, principalmente quando se restringe a ventilação, com modelos inadequados ou com manejos incorretos (Castilla Prados, 1998). Podem, ocorrer também, em dias com velocidade do vento baixa e não nublados, temperaturas mais elevadas do que o ambiente externo às estufas plásticas, mesmo com manejo correto e modelos adequados. Abreu et al. (1994) verificaram que a integral diária de temperaturas acima de 10°C, em 6 meses de cultivo, foi 10% superior em estufa fechada à noite, quando comparada com estufa aberta no período noturno. Nos últimos três meses de cultivo (os mais quentes) a diferença do somatório de temperatura, permaneceu constante, e em torno de 100°C, entre os ambientes.

O sombreamento de estufas pelo uso de tela plástica pode promover a redução da temperatura do ar durante o período diário, quando é maior a disponibilidade de radiação solar (Francescangeli et al., 1994). Para determinados níveis de radiação e para determinadas regiões, o sombreamento pode não modificar significativamente as condições micrometeorológicas. Com sombreamentos de até 80% da radiação global, Fernandez et al. (1994) não observaram modificações significativas na temperatura do ar e na umidade relativa. Castilla Prados (1998) afirmou que o sombreamento pelo branqueamento do filme pode reduzir a produção, sendo que seu uso na região mediterrânea deveria ser evitado. Segundo este mesmo autor, o uso eficiente de ventilação, em cultivos bem desenvolvidos, é suficiente para evitar temperaturas acima de 30°C, devido à refrigeração causada pela evapotranspiração elevada.

2.5.2. Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar em estufas é maior, devido à restrição da ventilação. Abreu et al. (1994) verificaram que o número de horas com umidade relativa do ar acima de 85% é quase o dobro em estufas cujas cortinas são fechadas à noite, em relação àquelas em que as cortinas permanecem abertas. Farias et al. (1993) verificaram que o efeito da cobertura plástica sobre a temperatura e a umidade relativa do ar está intimamente relacionado com as condições atmosféricas do ambiente externo. Os mesmos autores verificaram que os valores máximos diários de umidade relativa do ar foram próximos a 100% durante a noite, também verificados por Castilla Prados (1998), e semelhantes nos ambientes de estufa e fora. Além disso, os valores mínimos ocorreram dentro da estufa, principalmente no início do ciclo vegetativo da cultura, quando existia reduzida área foliar.

Abou-Hadid & El-Beltagy (1992) verificaram que as estufas aumentam a amplitude da umidade relativa do ar. Em condições desérticas esta diferença é muito evidenciada, pois passa de 9%, fora das estufas, para 55% de umidade relativa do ar, dentro das estufas. Esta diferença é devido a uma redução de 33% na mínima e um aumento de 13% na máxima umidade relativa do ar.

Francescangeli et al. (1994) verificaram que a umidade relativa do ar não se diferencia entre estufas com redução de 50 ou 70 % da radiação solar global. Este elemento meteorológico variou de 100%, durante a noite, a 40%, durante o dia, independentemente das diferenças de área foliar das plantas de tomateiro cultivadas dentro destes ambientes.

Segundo Abreu et al. (1994), o maior número de horas com umidade relativa elevada, dentro das estufas, determina maior risco de aparecimento de moléstias, nestes ambientes. Com efeito Zhang et al. (1997) verificaram alta relação do número de horas com água livre na superfície das folhas e com o número de horas com umidade relativa do ar acima de 90%.

2.5.3. Radiação solar

Farias et al. (1993) verificaram que a transmissividade do filme plástico no mês de novembro variou de 93 a 52%, conforme o ângulo de incidência da radiação solar, e que a transmissividade média do filme de polietileno de baixa densidade aditivado com anti-UV foi de 83%. Os mesmos autores observaram incremento da radiação difusa internamente, que variou de 31 a 65% da radiação total, enquanto que fora da estufa ela variou de 5 a 27%. Ao longo de todo o período, a radiação difusa a céu aberto correspondeu a 33% daquela verificada internamente.

O fluxo de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) - porção da radiação mais importante para a produção vegetal - é determinado pela radiação solar global (Rg). Para Ilhéus, na Bahia, Almeida (1999) obteve uma razão de 1,73 entre estes dois tipos de radiação, quando RFA foi expressa em $\text{mol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e a radiação global medida em $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Udo & Aro (1999) também calcularam esta razão, para uma região central da Nigéria, e obtiveram um valor médio anual de $2,08 \text{ E MJ}^{-1}$. Estes autores citam que este parâmetro é constante para dias de céu claro, mas é muito afetado pelas condições de nebulosidade. Em trabalhos realizados em mini-estufas, Sentelhas et al. (1997) verificaram que a redução de radiação, produzida pela estufa plástica com polietileno de baixa densidade é maior na radiação global (20,3%) do que na RFA (13,3%).

Grantz & Meinzer (1991) também verificaram alta relação entre radiação global e radiação fotossinteticamente ativa, mostrada pelo curso paralelo entre as duas medidas. Radin (2002) também obteve esta mesma relação.

2.5.4. Evapotranspiração

Reisser Júnior (1991) concluiu que a radiação solar é o elemento meteorológico mais importante na estimativa da evapotranspiração da alface dentro de estufas plásticas.

Stanghellini (1994a) também citou a forte relação entre a radiação e a transpiração, através de uma relação linear entre estas duas medidas, apesar de alguns fatores que possam modifica-la como o tipo de cultura, o índice de área foliar, a época do cultivo, além de outros. Em estufas, Folegatti et al. (1997), concluíram que a radiação solar é o elemento meteorológico mais importante na estimativa de evapotranspiração da cultura.

Wang & Boulard (2000) concluíram que, em estufas plásticas, a contribuição da radiação solar à transpiração é muito mais importante do que os efeitos da convecção.

As modificações do ambiente físico, dentro das estufas plásticas, principalmente vento e radiação solar, determinam redução na evapotranspiração das culturas, em relação ao cultivo a céu aberto. Este efeito foi observado por vários autores, os quais verificaram redução média de aproximadamente 70 % da evapotranspiração ocorrida fora das estufas (Farias et al., 1994, Reisser Júnior, 1991; Stanghellini, 1994b). Reisser Júnior (1991) observou que a redução do consumo de água de uma cultura dentro de estufas plásticas, se aproximou muito da redução média da radiação solar global incidente provocada pelo filme plástico.

Dalsasso et al. (1997) verificaram que o consumo de água das plantas de tomateiro em estufa plástica foi semelhante aos valores médios obtidos por autores europeus, sendo 38% a 53% do consumo de plantas cultivadas fora destes ambientes. Os autores verificaram que, no período de primavera, o consumo de água do tomateiro variou de 30 a 80% da evapotranspiração de referência calculada pelo método de Penmann, sendo que, no outono esta relação variou de 59 a 144%.

Martins e Gonzales (1995) concluíram que a evapotranspiração de referência no interior da estufa é de 60% daquela calculada no ambiente externo. Os autores verificaram, ainda, que esta mesma relação também foi encontrada entre a radiação solar interna e externa.

Com o objetivo de quantificar a variação de água com o uso de minitanques, Heldwein et al. (2001), concluíram que a época do ano, a espécie cultivada e o crescimento da parte aérea das plantas afetam a demanda evaporativa do no interior das estufas, bem como sua relação com a evaporação medida em estação meteorológica externa.

Em ambientes mais úmidos, com pressão de vapor d'água do ar mais elevada, existe uma tendência de aumento da fotossíntese, devido ao menor estresse da folha pela perda excessiva de água e o conseqüente fechamento estomático, que reduz a absorção de dióxido de carbono (Grange & Hand, 1987). Segundo Martinez Garcia (1978), um dos motivos do maior crescimento vegetativo sob estufas plásticas é a redução do período diário de fechamento dos estômatos que, como conseqüência, aumenta a produção de matéria seca. Lorenzo Minguez (1994) também cita que, em dias de alta demanda atmosférica, devido a altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, ocorre um desequilíbrio hídrico nas plantas, causando diminuição da condutância estomática e da fotossíntese líquida.

Baille et al. (2001) verificaram que a condutância estomática quase triplicou com a redução em 50% da radiação global, em períodos de alta disponibilidade de energia (27MJ m⁻²). Esta combinação de redução de energia e aumento da condutância reduziu em somente 18% a transpiração das plantas cultivadas em estufa de vidro pintado.

2.5.5. Vento

O vento, que é um dos elementos atmosféricos importantes para a composição do microclima formado pelas estufas, e sua influência é dependente da velocidade externa à estufa. Conforme Dayan et al. (1985), este elemento tem grande efeito nas taxas de renovação de ar, que é responsável pelas trocas de energia, umidade e CO₂ das estufas. Os autores citam, ainda, que a renovação do ar não é somente dependente da velocidade, mas

sim da sua direção, da altura das plantas, e dos gradientes de temperatura e umidade relativa do ar.

Wang et al. (1999) citam que apesar de alguns autores considerarem a velocidade do vento constante dentro de estufas, para fins de cálculo da resistência aerodinâmica, isto não ocorre. Segundo os autores isto somente acontece quando a velocidade do vento externo é muito pequena ou a estufa se encontra fechada. Estes autores verificaram que a velocidade do vento dentro das estufas apresentou alta correlação com a velocidade do vento fora das estufas e que sua redução, em estufa ventilada zenitalmente, varia de 8 a 10 vezes.

Lorenzo Minguez (1994) cita que o movimento vertical do ar, que se estabelece entre a ventilação lateral e zenital, é significativo somente quando a velocidade do vento é superior a 1 m s^{-1} . Boulard et al. (1996) verificaram, porém, que o “efeito chaminé” movimento convectivo, somente é importante em velocidades inferiores a 1 m s^{-1} , pois este é dominado pelo fluxo direto do vento.

Segundo Boulard et al. (1996), o fluxo médio do vento, provocado pela diferença de pressão ao redor das estufas, gera correntes de ar, sendo mais efetivo no transporte de energia, CO_2 , e vapor de água, do que o fluxo turbulento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Estufa plástica

Foi usada uma estufa plástica modelo Pampeana, de cobertura em arco e com dimensões de 10 x 24m (240m² de área), disposta na direção norte-sul. Este abrigo apresenta pé-direito de 3,0m e altura de 4,5m no centro da estrutura. Nas suas laterais havia um filme plástico móvel que permitiu o manejo de ventilação, através de abertura e fechamento. Como plástico de cobertura utilizou-se polietileno de baixa densidade aditivado com anti-UV, com 150µm de espessura. As laterais eram fechadas com o mesmo filme da cobertura, porém com espessura de 100 µm.

A estufa foi dividida transversalmente, na sua metade, com tela plástica anti-insetos de cor branca, compondo um ambiente com tela nas laterais (CT) e outro sem tela (ST). O emprego destas telas é destinado ao controle de insetos, indicado para épocas e locais em que a população de insetos é elevada e seu controle difícil com produtos químicos, principalmente em cultivos de verão-outono.

O manejo das cortinas laterais visou proporcionar o maior período possível de ventilação ao longo do dia. As cortinas eram abertas entre as 7 e 8h e fechadas entre as 18 e 19h. Em dias ventosos e/ou chuvosos, as cortinas eram fechadas total ou parcialmente, para proteger as plantas de possíveis danos por vento ou água da chuva. Os dois ambientes formados pela estufa (com e sem tela) tinham o mesmo manejo de abertura e fechamento, visto que existia uma só cortina, em cada lateral, para ambas as metades.

3.2. Local e clima

O experimento foi realizado no Centro de Pesquisas Veterinárias Desidério Finamor da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (Fepagro-CPVDF), localizado no município de Eldorado do Sul (latitude 30° 05'S, longitude 51° 39'W e altitude 10m), na região ecoclimática da Depressão Central, no período de setembro de 1999 a junho de 2000. O clima da região é do tipo Cfa, conforme classificação de Köppen, subtropical úmido, sem estiagem. A média das temperaturas do mês de janeiro, o mais quente, é 24,7°C e a do mês de julho, o mais frio, é 14,0°C. A média anual de temperatura do ar é 19,5°C. Os meses mais chuvosos são os de julho e agosto e os mais secos são novembro e dezembro. A precipitação média anual é de 1440mm e a evapotranspiração de referência média anual (método de Penman) é de 1235mm (Ipagro, 1989; Bergamaschi & Guadagnin, 1990).

O solo pertence à unidade de mapeamento Pelotas (Brasil, 1973), que apresenta relevo de plano a suavemente ondulado. Segundo o sistema brasileiro de classificação de solos, esta unidade é classificada como Planossolo Hidromórfico Eutrófico (Embrapa, 1999). Caracteriza-se por ser medianamente profundo, imperfeitamente drenado e com predominância de cor cinza, no perfil.

3.3. Cultura e práticas culturais

Foi utilizada a cultivar de tomateiro Flora-Dade, de hábito de crescimento determinado, com frutos do tipo salada. As plantas são de formato arbustivo, não ultrapassando a altura de 1,60m, com caule e ramos laterais terminando em um rácimo floral.

As mudas foram produzidas em estufa especial para este fim, onde estavam protegidas por tela anti-insetos e colocadas em bandejas de poliestireno expandido (isopor)

com 128 células de 5 cm de altura, as quais eram apoiadas sobre uma estrutura a 1,5m acima do solo. O substrato usado foi o de nome comercial Plantmax, à base de material orgânico compostado. As sementes foram colocadas em número de três por célula da bandeja. Estabilizada a emergência, as plântulas foram desbastadas deixando-se somente uma por célula. Estas permaneceram nas bandejas até apresentarem quatro folhas verdadeiras, quando foram, então, transplantadas.

O transplante foi realizado em duas épocas: a primeira em 18 de outubro de 1999 e a segunda em 15 de fevereiro de 2000. Foram transplantadas mudas com as raízes intactas, acondicionadas em pequenos cones de substrato, que continham todo o sistema radicular. As plântulas foram colocadas em pequenas covas, espaçadas de acordo com o arranjo recomendado para cultivos comerciais, em canteiros com linhas pareadas. Os espaçamentos utilizados foram 0,80m entre linhas pareadas, no canteiro, e 1,20m entre as linhas de canteiros vizinhos. O espaçamento entre plantas, na linha, foi de 0,50m (Figura 1). Este arranjo determina uma densidade de duas plantas por metro quadrado ou 20.000 plantas por hectare.

Após o transplante, a condução foi feita de acordo com o recomendado para plantas com hábito de crescimento determinado, ou seja, com desbrote somente dos ramos localizados abaixo do primeiro rácimo floral.

As plantas foram tutoradas ao longo das linhas e sustentadas por estacas de 1,5m, colocadas a cada duas plantas, as quais eram fixadas com fitas plásticas. Estas fitas foram colocadas em diferentes alturas, à medida em que as plantas alcançavam 0,40, 0,80 e 1,20m (Figura 1).

A adubação total foi parcelada em duas etapas: a primeira, de base, com 50% da dose total e a segunda, em cobertura, com a outra metade da dose. A dose total foi de 3.000kg ha⁻¹, da fórmula NPK 5-20-20. A primeira metade foi colocada em sulcos de 15cm

de profundidade, abertos com o canto de uma enxada, antes do transplante das mudas. A outra metade foi aplicada em cobertura, antes da prática da “amontoa”, realizada 30 dias após o transplante. A “amontoa” permitiu a formação de camalhões individuais em cada linha de plantas e um pequeno canal no canteiro, entre as linhas (Figura 1).

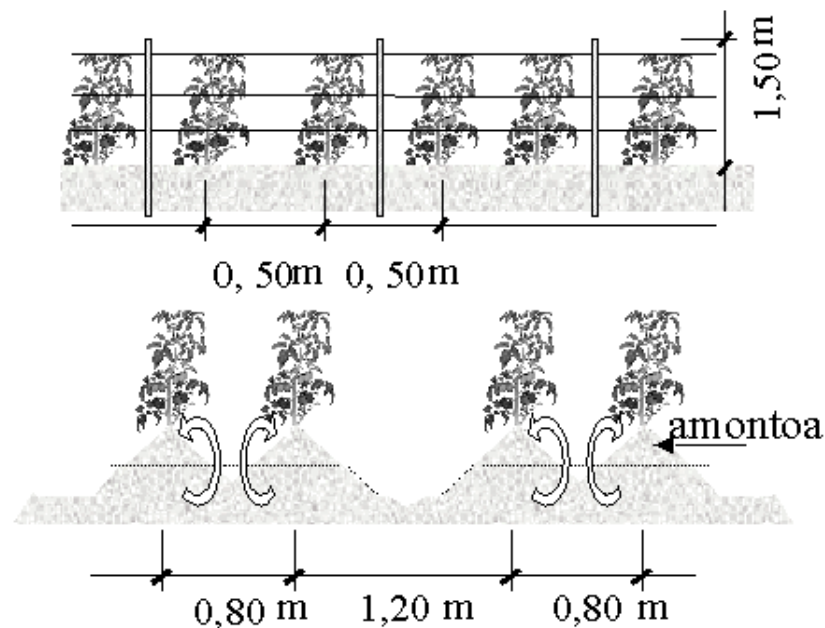


FIGURA 1 – Espaçamento entre plantas de tomateiro na linha (acima) e entre linhas nos canteiros e entre canteiros (abaixo), cultivados em três ambientes e em duas épocas. Fepagro, Eldorado do Sul, RS, 1999/2000.

Tratamentos fitossanitários semanais foram realizados durante o experimento, com o objetivo de controlar moléstias fúngicas. As pulverizações foram feitas com aparelho costal, aplicando-se produtos à base de iprodione, oxiclureto de cobre, mancozeb e mancozeb+metalaxyl-M, até a época da colheita, respeitando-se o período de carência de cada produto. Nas parcelas localizadas fora da estufa as aplicações foram feitas semanalmente ou sempre após a ocorrência de chuva, conforme o menor intervalo. Outra aplicação preventiva de deltamethrin foi feita no momento do transplante, para o controle de lagarta rosca (*Agrotis ipsilon*), com concentração de 50mL do produto por 100L de água, aplicando-se 75mL de solução junto a cada muda.

Tratamentos curativos com inseticidas à base de deltamethrin e cyromazine foram feitos após a identificação das pragas. As mais comuns foram mosca minadora (*Liriomyza sativa*), pulgão (*Myzus persicae*), traça do tomateiro (*Keiferia lycopersicella*) e as lagartas do fruto (*Heliothis zea* e *Spodoptera exigua*).

O controle de plantas daninhas foi feito sempre que necessário e de forma manual, utilizando-se enxada.

A limitação à população de insetos polinizadores, causada pela presença da tela anti-insetos em um dos ambientes de estufa, exigiu a colocação de uma pequena colméia (abelhas) dentro da estufa, na segunda época de cultivo.

3.4. Irrigação

A irrigação foi feita por gotejamento, com mangueiras providas de gotejadores integrados tipo labirinto (tubo-gotejadores). Em cada linha de plantas foi colocada uma mangueira com gotejadores espaçados de 0,30m, os quais formavam uma linha de solo umedecido ao lado das plantas, ao longo da superfície de cada canteiro. A vazão média de cada gotejador era de 0,56 litros por hora. Este sistema estava conectado a uma caixa d'água localizada junto ao experimento, que proporcionava uma pressão equivalente a 2m de coluna de água nas linhas de tubo-gotejadores, nos três ambientes.

O manejo da irrigação foi monitorado através de tensiômetros de coluna de mercúrio, instalados no solo, a 0,3m de profundidade, considerando que o tomateiro concentra o maior volume de raízes nesta profundidade. A irrigação foi feita de maneira a não permitir que o potencial da água no solo fosse inferior a -10kPa (100cm H₂O). Na segunda época de cultivo, foi utilizado somente um tensiômetro para monitorar os dois ambientes de estufa, pois a irrigação era realizada com o mesmo conjunto de mangueiras,

sem possibilidade de variação do manejo. O potencial da água do solo, no ambiente externo, foi monitorado com outro tensiômetro colocado junto a linha de plantas.

3.5. Arranjo experimental e análises estatísticas

O experimento foi conduzido em três ambientes. O primeiro, dentro da estufa, caracterizava-se pela existência de tela anti-inseto fixa em suas laterais (CT), além da cortina plástica, que permitia abertura e fechamento. O segundo, também interno à estufa, tinha apenas a presença da cortina plástica lateral, porém sem tela (ST). O terceiro ambiente era a céu aberto, portanto, fora da estufa (FE) (Figura 2).

Em cada ambiente foram feitos cinco canteiros (parcelas) de 1,60m de largura por 11m de comprimento. Em cada canteiro foram cultivadas duas linhas com 20 plantas em cada uma. Cada ambiente, portanto, possuía 200 plantas (Figura 2).

Para as determinações ao longo do ciclo as plantas foram sorteadas ao acaso, em cada ambiente, variando-se o número de plantas sorteadas conforme o tipo de determinação. As comparações entre médias foram feitas através de análise de variância e teste de Duncan, considerando-se um delineamento inteiramente casualizado, conforme recomendação de Lopes et al. (1998). Foram realizadas análises de regressão e correlação com os dados ajustados a modelos polinomiais e sigmoidais, conforme os coeficiente de correlação e determinação.

3.6. Determinações

3.6.1. No ambiente físico

Foram feitas as seguintes medições micrometeorológicas:

- a) Radiação solar global

Foi instalado um piranômetro marca LICOR sobre a cumeeira da estufa para produção de mudas. Este local, livre de sombras, se encontrava a cerca de 3,5m acima do

solo. Devido a problemas de armazenagem de dados no “datalogger”, também foram utilizados dados coletados na estação agrometeorológica do Instituto Riograndense do Arroz (IRGA), localizada no município de Cachoeirinha. Ajustou-se uma equação de regressão entre os dados deste instituto com aqueles coletados junto ao experimento, no CPVDF-Fepagro (Apêndice 1). Os dados de radiação global foram medidos (em $W m^{-2}$), a cada 5s, e armazenados como média a cada 30 min.

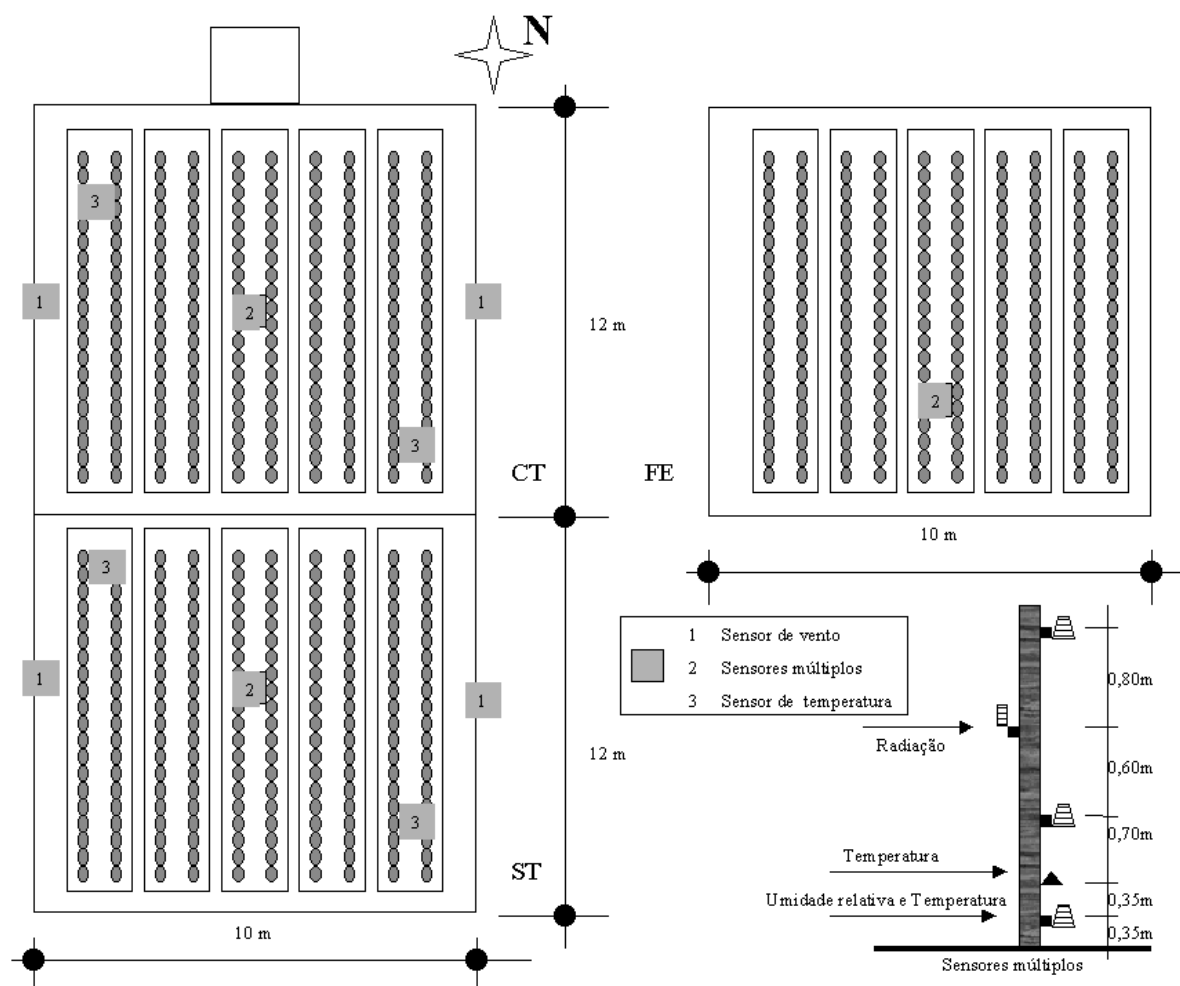


FIGURA 2 Representação do experimento, localização dos sensores e disposição das parcelas nos três ambientes, com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (FE), todas medidas em metros. Fepagro, Eldorado do Sul, RS, 1999/2000.

b) Radiação solar fotossinteticamente ativa (RFA)

Foram instalados três sensores de RFA tipo “quantum” da marca LICOR, um em cada ambiente, em um suporte contendo outros sensores (Figura 2). Os valores foram coletados (em $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$), a cada 5s e armazenados em ($\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$) a cada 30 min.

Para possibilitar o estabelecimento de relações entre valores de radiação global (R_g) com radiação fotossinteticamente ativa (RFA), ambos em MJ m^{-2} , seguiu-se a metodologia de Thimijan & Heins (1983), para transformar valores medidos em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$, que utiliza a seguinte equação de transformação:

$$\text{RFA}(\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}) = \frac{\text{RFA}(\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}) \cdot t(\text{s})}{4,57 \cdot 10^6} \quad (5)$$

sendo t o tempo considerado.

Para facilitar a transformação dos dados, a constante utilizada na equação 5 foi considerada sempre a mesma, como se a fonte luminosa fosse constantemente a luz do dia emitida pelo sol e pelo céu em condições sem proteção.

c) Umidade relativa do ar

Foram instalados três sensores tipo Vaissala, no centro de cada ambiente, conforme a Figura 2. Os sensores de umidade relativa do ar foram colocados nas alturas de 0,35m, 1,40m e 2,80. Os valores de umidade relativa do ar eram medidos a cada 5s e armazenados, como média, a cada 30 min.

d) Temperatura do ar

Sensores tipo termopares K (cromo-constantan) marca Campbell foram instalados em colunas para determinação do perfil de temperatura do ar, no centro de cada um dos três ambientes e nas alturas de 0,35, 0,70, 1,40 e 2,80m acima do solo (Figura 2). Além destes, foram colocados mais dois sensores a 1,40m acima do solo, nos cantos noroeste e

sudeste dos ambientes de estufa, a 1m das laterais. As medições foram feitas a cada 5s e armazenadas, como média a cada 30 min em °C.

f) Velocidade do vento

Foram instalados anemômetros mecânicos nos três ambientes, a 2 m acima do solo. Nas estufas foram colocados dois sensores em cada ambiente, sendo um no centro da lateral leste e outro no centro da lateral oeste. Conforme a direção do vento, determinada por sensor próprio, estas determinações foram consideradas como sotavento a entrada de vento na estufa e barlavento a saída do vento da estufa.

g) Direção do vento

Utilizou-se um sensor de direção do vento, localizado a 4m acima do solo, sobre a cumeeira da estufa para produção de mudas.

Para todas estas determinações foram utilizados dois sistemas automáticos de aquisição de dados (“dataloggers”) das marcas Campbell e ELE.

Para caracterizar dias específicos, em estudo de casos, considerou-se as observações de nebulosidade, expressa em escala de 0 a 10, onde 0 é céu totalmente sem nuvens e 10 é céu totalmente encoberto, além da duração do brilho solar (insolação) medida com heliógrafo. Estes dados foram obtidos na estação agrometeorológica do IRGA, em Cachoeirinha.

Com os elementos medidos, foram determinados os seguintes parâmetros derivados:

- a) Radiação solar global - total diário ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e média diária (W m^{-2})
- b) Radiação fotossinteticamente ativa média diária ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
- c) Temperatura do ar (°C) – médias diária, noturna (entre 19 e 7h) e diurna (entre 7 e 19h), máxima e mínima absolutas e amplitude diária.
- d) Umidade relativa do ar (%) - médias horária, diária e mensal

e) Pressão de saturação de vapor do ar (mmHg) - calculada em base horária, em função da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), de acordo com a equação de Tetens:

$$e_s = 4,58 \cdot 10^{\frac{7,5t}{237,3+t}} \quad (6)$$

onde t é igual a temperatura do ar.

f) Pressão real de vapor (mmHg) - calculada em base horária, em função da pressão de saturação (mmHg) e da umidade relativa (%) do ar, usando a equação:

$$e = \frac{\text{UR} \cdot e_s}{100} \quad (7)$$

g) Umidade absoluta do ar (g m^{-3}) - calculada em base horária, em função da pressão de vapor horária (mmHg) e da temperatura absoluta do ar ($^{\circ}\text{K}$), de acordo com a equação:

$$\text{UA} = 289 \frac{e}{T} \quad (8)$$

h) Déficit de saturação do ar (kPa) - calculado em base horária, em função da pressão real (kPa) e da pressão de saturação de vapor (kPa), utilizando-se a equação:

$$\text{DS} = e_s - e \quad (9)$$

i) Potencial da água na atmosfera (MPa) - calculado em base horária, em função da pressão atual (kPa), da pressão de saturação de vapor (kPa) e da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), utilizando-se a equação:

$$\Psi_{\text{atm}} = t.Ln \frac{e}{e_s} \quad (10)$$

3.6.2. Nas plantas

As determinações para análise de crescimento das plantas foram efetuadas semanalmente, na primeira época, e quinzenalmente, na segunda época de cultivo.

3.6.2.1. Determinações destrutivas

a) Produção de matéria seca

Foram coletadas, sempre no mesmo horário, três plantas por ambiente, das quais eram separados caules, folhas, frutos e raízes. Posteriormente, foram colocados em estufa elétrica ventilada para secagem, à temperatura de 60 a 70°C, até atingir massa constante. A matéria seca da parte aérea consistia na soma das pesagens de caules, folhas e frutos. Os dados obtidos ao longo do ciclo foram ajustados a modelos polinomiais e sigmoidais, conforme a variável considerada.

b) Área foliar

A área foliar foi determinada através de um planímetro ótico modelo LI 3000, da marca LICOR (Lincoln, EUA). As plantas utilizadas foram as mesmas coletadas para determinação de matéria seca, sendo que em uma delas se media a área foliar, antes da secagem. Posteriormente, multiplicando-se a área foliar específica e a matéria seca de folhas, estimava-se a área foliar das outras duas plantas da amostra.

c) Potencial da água na planta

Esta determinação foi feita com câmara de pressão da marca Soilmoisture, conforme trabalho Schollander & Hammel (1965), em folhas expostas ao sol, localizadas

em estratos superior, inferior e central de três plantas previamente sorteadas. Para valores médios horários foram consideradas as médias das três medidas.

d) Tamanho de células

Foi determinado o tamanho médio de células, por microscopia ótica, na porção mediana de folhas totalmente desenvolvidas, da parte centro-superior de quatro plantas de cada tratamento, excluindo a nervura central.

As amostras foram fixadas, logo após a coleta, em glutaraldeído 1% e formaldeído 4%, desidratadas em etanol e em etanol/clorofórmio, sendo que a inclusão foi feita com hidroxietilmetacrilato (historresina Leica). O corte foi feito com a utilização de micrótomo de guias Leica 1400, de espessura de 5 e 10 μm , para posterior coloração com hematoxilina Delafield, e montados com o uso de bálsamo do Canadá, sintético.

O registro foi feito com o uso de filme fotográfico Neopan SS, de 100 ASA, em uma câmera Leica/MD-2, acoplada em um microscópio Leitz/Dialux 20EB. As imagens foram digitalizadas e analisadas com o programa de computador Somnium.

Estas determinações foram feitas no Laboratório de Anatomia Vegetal do Departamento de Botânica da UFRGS.

e) Densidade de estômatos e de tricomas

A densidade de estômatos e tricomas das plantas sem restrição de água, nos dois ambientes foi feita utilizando-se microscopia eletrônica de varredura, em amostras coletadas em folhas totalmente expandidas, localizadas na parte central das plantas.

Estas análises foram feitas, conforme metodologia de Hayat (1978), no laboratório da Embrapa-Clima Temperado, de Pelotas.

3.6.2.2. Determinações não destrutivas

a) Altura da planta

Foi considerada como altura da planta a distância do solo até o ponto de crescimento mais alto da planta, medida em centímetros.

b) Diâmetro médio dos frutos do primeiro rácimo floral

Foi tomada a média dos diâmetros, em milímetros, de todos os frutos do primeiro rácimo floral de cada uma das quatro plantas amostradas, em cada ambiente.

c) Produção de frutos

Foram coletados, contados e pesados todos os frutos maduros de quatro plantas previamente sorteadas, para determinação do período e duração da colheita, massa de frutos frescos, número de frutos, produção total e peso médio de frutos, em cada ambiente.

d) Fenologia

As fases fenológicas observadas foram as seguintes: emergência, quando 50% das células da bandeja apresentavam plantas emersas; transplante, quando as plantas, com quatro folhas verdadeiras foram transplantadas; floração, quando apareceu a primeira flor aberta; frutificação, quando o primeiro fruto atingia 1cm de diâmetro; início da colheita, data em que foi colhido o primeiro fruto maduro; fim da colheita, quando foi colhido o último fruto.

e) Fotossíntese

Foram efetuadas medições da taxa fotossintética, em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com um analisador de gases com infravermelho, da marca LICOR e modelo LI-6400, nos dias 2 de dezembro de 1999 (45 dias após o transplante, DAT) e 22 de dezembro de 1999 (65 DAT), na primeira época, 16 de março de 2000 (30 DAT) e 27 de abril de 2000 (72 DAT), na segunda época de cultivo. As leituras foram feitas com uma fonte luminosa artificial de $1800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, de radiação fotossinteticamente ativa e com a concentração de CO_2 do ambiente. No primeiro dia de leituras, estas foram feitas em seis plantas aleatórias por ambiente, obtendo-se taxa fotossintética média das seis leituras. Nos outros dias, foram

feitas medições em três níveis nas plantas escolhidas aleatoriamente em cada ambiente, obtendo-se a média das três leituras feitas em cada planta. Essas medições foram feitas em folhas totalmente expandidas e expostas à radiação solar direta.

f) Condutância foliar

Esta determinação foi feita em ambas as faces de folhas expostas à radiação solar direta, nos estratos central e superior das plantas, utilizando-se um porômetro de difusão de estado estacionário (“steady state”) marca LICOR, modelo 1600M, o qual mede a condutância foliar em $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As medições foram feitas em um folíolo de duas plantas sorteadas em cada ambiente, após o secamento do orvalho e com umidade relativa do ar inferior a 80%. A condutância de cada planta foi considerada como a soma das condutâncias dos dois lados da folha, da qual foi calculada a média das leituras nos dois pontos da planta (médio e superior).

g) Transpiração

Foi conduzido um experimento paralelo, para determinar a condição hídrica das plantas, através da variação da transpiração relativa, medida pela redução da água contida no solo, em ambiente de estufa com tela e fora da estufa.

O experimento foi realizado no Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado-Embrapa, localizado no município de Pelotas (latitude $31^{\circ} 41' \text{S}$, longitude $52^{\circ} 26' \text{W}$, altitude 10m), da região ecoclimática das Grandes Lagoas, no período de novembro de 2000 a janeiro de 2001. O clima da região é do tipo Cfa, conforme classificação de Köppen, ou seja, clima subtropical úmido, sem estiagem.

Foi utilizada a mesma cultivar de tomateiro (Flora-Dade), de hábito de crescimento determinado, com frutos do tipo salada, descrita anteriormente, assim como o mesmo manejo.

As plantas utilizadas foram cultivadas em vasos plásticos de 25cm de diâmetro, com capacidade de 5L, onde se adicionou 4,5L de substrato confeccionado à base de solo e material orgânico, fertilizado com 15g por vaso de uma fórmula comercial de 3-20-20 de adubo NPK. Sob o substrato foi colocada uma camada com 3cm de pedra britada, para facilitar a drenagem da água em excesso. Nos dois ambientes, os vasos foram colocados, sobre mesas com 1m de altura do solo.

O transplante foi realizado em 20 de novembro de 2000, com as raízes intactas, acondicionadas em um pequeno cone de substrato e os frutos de todas as plantas foram retirados ao atingir 1cm de diâmetro.

Utilizou-se uma pequena estufa plástica de 7m x 5m e 2m de altura, coberta com polietileno de baixa densidade de 200 μ m e fechada com tela anti-insetos em suas laterais. Como a estufa não possuía cortinas laterais, não houve variação no manejo da ventilação lateral. Dentro da estufa não havia vegetação e o solo, sob as mesas, era coberto com areia.

Foram utilizados três vasos (repetições) para cada um dos quatro níveis de umidade do substrato nos dois ambientes (tratamentos). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, sendo que, diariamente e após a pesagem, os vasos eram trocados de local dentro de cada ambiente.

A transpiração das plantas foi determinada pela pesagem diária dos vasos, os quais sempre retornavam a uma determinada massa, conforme o nível de umidade previamente escolhido. Diariamente, as plantas de fora da estufa eram recolhidas para permanecerem dentro da estufa durante à noite. Esta prática evitava o fornecimento de água, aos vasos, no caso de chuvas neste período. Em dias de chuva todas as plantas permaneciam dentro da estufa e, portanto, não eram feitas comparações de tratamento.

As pesagens foram feitas em balança digital com resolução de 1g.

Os níveis de umidade do substrato, em base de massa, aplicados foram:

Nível 1 - Capacidade de campo, com 48,8%, equivalente a um potencial de -1800Pa

Nível 2 - 25% menor que o nível 1 (36,6%), equivalente a um potencial de -23kPa

Nível 3 – 25% menor que o nível 2 (27,5%), equivalente a um potencial de -120kPa

Nível 4 – 25% menor que o nível 3 (20,6%), equivalente a um potencial de -1MPa.

A capacidade de campo do substrato foi determinada através da umidade média medida em três vasos, três dias após sua saturação, quando a água perdida era constituída somente pela drenagem. Para tanto, cada vaso foi coberto com filme plástico preto e colocado em local protegido da chuva e da radiação solar direta.

O potencial matricial da água no substrato foi determinado em laboratório, através da utilização de placas de pressão de Richards, com metodologia descrita por Oliveira & Paula (1979). Para transformar valores de umidade volumétrica [θ ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)] em potencial matricial [ψ_m (cm H_2O)] ajustaram-se os dados à equação de Van Genuchten (1980).

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + |\alpha \cdot \psi_m|^n\right]^m} \quad (12)$$

Onde: θ_r ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) é a umidade residual, θ_s ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) é a umidade de saturação, α (cm H_2O), m e n são parâmetros empíricos. Os dados e a curva característica do substrato encontram-se no Apêndice 4.

3.6.2.3. Determinações de variáveis derivadas

Com as determinações feitas, foram calculados alguns parâmetros derivados do crescimento das plantas.

a) Relação raiz/parte aérea

Foi considerada como a razão (em percentagem) entre a massa de matéria seca de raízes e a massa de matéria seca da parte aérea.

b) Relação entre matéria seca e matéria fresca de frutos

Foi considerada como a percentagem de matéria seca contida em cada fruto.

c) Relação entre matéria seca de frutos e matéria seca da planta

Foi considerada como a participação dos frutos, em percentagem, na produção total de biomassa aérea da planta

d) Taxa assimilatória líquida

Esta variável, que representa a produção diária de matéria seca total da planta por unidade de área foliar ($\text{g cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), é descrita por:

$$\text{TAL} = \frac{\text{MS}_2 - \text{MS}_1}{\left(\frac{\text{AF}_1 + \text{AF}_2}{2}\right)(t_2 - t_1)} \quad (11)$$

sendo MS_1 e MS_2 a massa de matéria seca nos tempos t_1 e t_2 e AF_1 e AF_2 a área foliar correspondente às mesmas amostragens.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Elementos do meio físico

4.1.1. Radiação Solar

Durante o período estudado a disponibilidade de radiação solar global incidente acumulada foi de 2542,1MJ m⁻² na primeira época e de 1610,1MJ m⁻² na segunda, correspondendo a uma redução de aproximadamente 37% da primeira para a segunda época. A média diária de radiação global foi de 23,1MJ m⁻²dia⁻¹ e 13,9MJ m⁻²dia⁻¹, para as primeira e segunda épocas, respectivamente, com uma redução de 40%.

Os valores diários mostram, na Figura 3, uma curva que representa o padrão de variação da radiação solar global (Rg) na região sul do Brasil, onde a disponibilidade é maior no início do verão e vai diminuindo até o início do inverno. Pode-se observar que os valores máximos de Rg ocorreram próximo ao solstício de verão, no início do experimento de campo, e os mínimos próximo ao solstício de inverno, ao final do período experimental.

Além da alteração causada pela variação sazonal da inclinação solar e da duração dos dias, a nebulosidade também reduziu a quantidade de radiação. Esta se manteve próximo à média de 4,5 nas duas épocas, dentro de uma escala de 0 a 10, em que 0 corresponde a céu totalmente limpo e 10 a céu totalmente nublado. Com a pequena variação da nebulosidade, o número de horas de brilho solar foi reduzindo pela duração

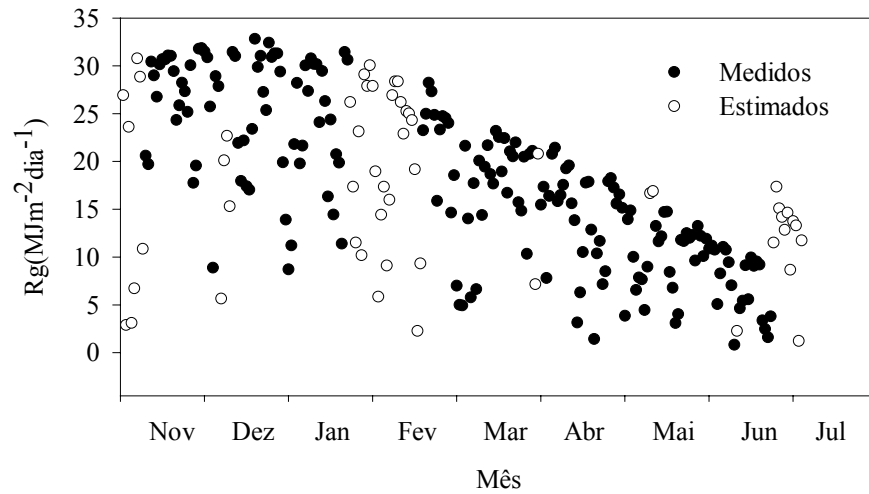


FIGURA 3 - Radiação solar global diária (R_g) medida em Eldorado do Sul, RS e estimada a partir de dados de Cachoeirinha-RS, no período de novembro de 1999 a junho de 2000.

dos dias, desde o verão até o início do inverno (Figura 4). Outro fator relacionado é a duração da nebulosidade, que apresentou grande diferença entre os dois períodos. De novembro a 3 de fevereiro a precipitação pluvial foi de 266,5mm, com 72,5h de chuva e de 15 de fevereiro a 19 de junho a precipitação foi de 556,3mm, em 112,2h de chuva.

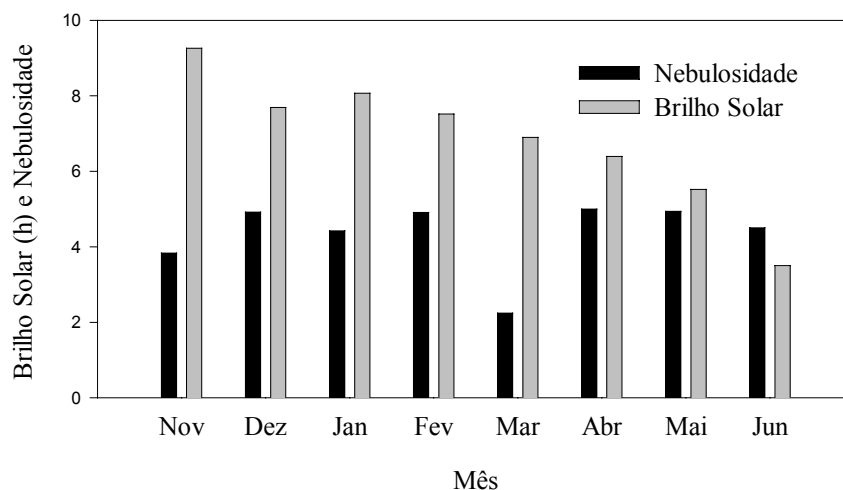


FIGURA 4 – Média mensal de horas de brilho solar diário e média mensal do índice diário de nebulosidade (0 a 10), de novembro de 1999 a junho de 2000. Cachoeirinha-RS, 1999/2000.

A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) é a porção da radiação global (Rg) mais importante para a produção vegetal. No período deste trabalho, verificou-se que a média de RFA diária na parcela experimental, em Eldorado do Sul, foi de 36,71% da Rg, quando expressa na mesma unidade (Apêndice 2). Para o período de abril a julho, França et al. (1997) determinaram valor médio de 0,42 para esta mesma relação, enquanto que Pandolfo (1995) obteve razão igual a 0,43. A diferença encontrada (12,6%) pode ser atribuída ao período de determinação da média da leitura, que nesse trabalho foi das 7 as 19h, enquanto que no de França (1997) foi das 8 as 17h e no de Pandolfo (1995) foi das 7 as 12h. Outra razão pode ser as condições de tempo ocorridas ao longo das medições, já que a nebulosidade afeta os valores desta razão (Pandolfo, 1995).

A RFA diária, expressa em $\text{mol.m}^{-2} \text{h}^{-1}$, foi de 1,68 ($0,0017 \text{ kJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) vezes a radiação global em $\text{MJ.m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, para o local do experimento (Apêndice 2). Almeida (1999) obteve uma razão de 1,73 para Ilhéus na Bahia. Udo & Aro (1999) também calcularam esta razão, para uma região central da Nigéria, e obtiveram um valor médio anual de 2,08. Estes autores citam que este parâmetro é constante para dias de céu claro, mas é muito afetado pelas condições de nebulosidade. Grantz & Meinzer (1991) também verificaram alta relação entre a radiação global e radiação fotossinteticamente ativa, mostrado pelo curso paralelo entre as duas medidas. Radin (2002), também obteve esta mesma relação.

A RFA também pôde ser comparada entre o ambiente externo às estufas (FE) e os ambientes das estufas com (CT) e sem (ST) tela anti-insetos. A relação direta com a Rg externa foi de 1,22 para a estufa sem tela e 1,13 para a com tela, significando que a RFA da ST foi 26,6% e a CT foi 24,6% da Rg externa às estufas. De novembro de 1999 a maio de 2000, a relação média entre a RFA do ambiente externo e dos ambientes de estufa, foi de 0,72 e 0,67 para ST e CT, respectivamente. Esta relação, que pode ser entendida como a própria transmissividade da estufa à RFA, se manteve mais ou menos estável de novembro

a março, reduzindo após, conforme pode ser observado na Figura 5. Isto pode ser atribuído ao aumento da reflexão da radiação solar sobre o plástico, com a maior inclinação solar no outono.

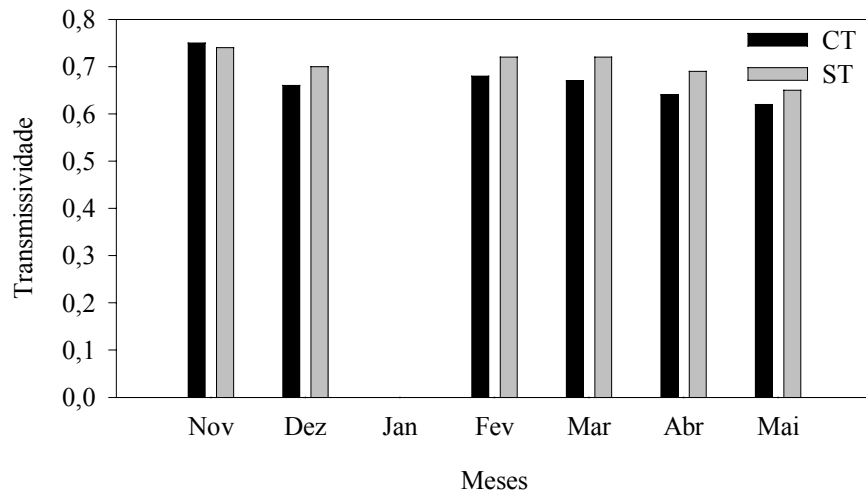


FIGURA 5 - Transmissividade média das estufas à radiação fotossinteticamente ativa (RFA) durante os meses de novembro de 1999 a maio de 2000, na estufa com tela anti-insetos (CT) e sem tela (ST). Fepagro. Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

As médias da transmissividade diária das estufas à RFA se mantiveram em valores próximos a 0,7, oscilando de valores abaixo de 0,6, nos períodos de menor disponibilidade de radiação, até valores acima de 0,75 em dias de maior radiação (Figura 6). Os valores mais elevados de transmissividade foram alcançados nos meses de final de primavera e início do verão, quando os raios solares incidiam mais perpendicularmente à estufa. A relação não linear, apresentada na Figura 6, pode ser devida à variação do ângulo de inclinação solar. Estes valores são equivalentes aos relatados na literatura, para este tipo de filme de cobertura. No Rio Grande do Sul, Reisser Júnior (1991) e Farias et al. (1993) mediram este elemento dentro da estufa e também encontraram valores médios iguais a estes. Castilla Prados (1998) também cita valores como estes para o sul da Europa.

Folegatti et al. (1997) encontrou valores mais baixos, devido à pintura branca do filme plástico.

A RFA e a transmissividade mostradas na Figura 7, apresentam padrão de variação diária semelhante nos vários dias mostrados, embora com transmissividades diferentes. Além da variação diária, o movimento anual aparente do sol, mudando sua declinação, também causa variações na transmissividade da estufa à RFA. A Figura 7 mostra que, em um dia típico de novembro, a transmissividade das estufas é maior do que em março, quando a inclinação solar é maior. Existe, portanto, uma tendência de maiores transmissividades em presença de maior radiação incidente. Isto significa que os valores mais elevados de RFA ocorrerão nos períodos em que o sol se encontra menos inclinado em relação à superfície do filme plástico. Esta característica determina que cada modelo de estufa apresente uma transmissividade característica para cada condição de disponibilidade de radiação e tipo de filme de cobertura. Sentelhas et al. (1997) mostraram que o tipo de filme de cobertura influi na transmissividade da estufa e que esta é diferente conforme a qualidade da radiação incidente (global ou RFA).

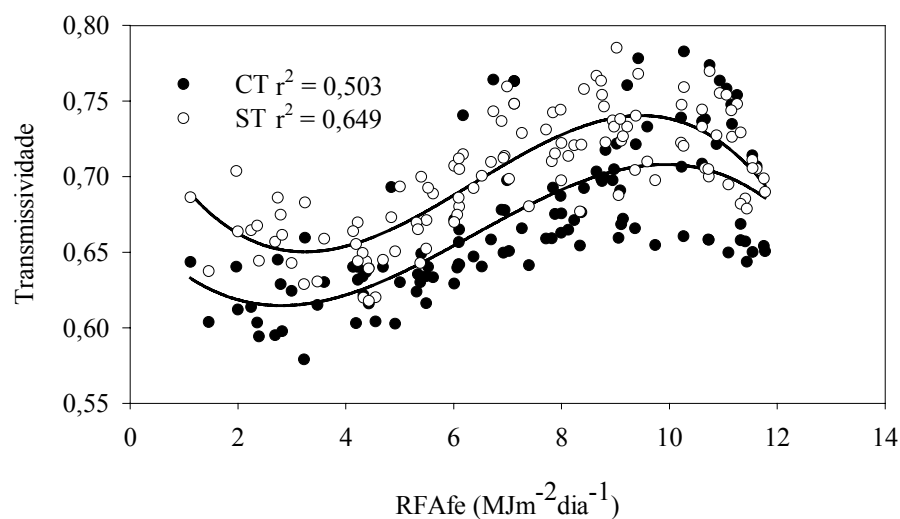


FIGURA 6 - Transmissividade média diária das estufas com (CT) e sem (ST) tela anti-insetos, em função do total diário de RFA fora das estufas. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

A redução abrupta da transmissividade do plástico, durante alguns períodos do dia, que pode ser observado na Figura 7, deve-se ao sombreamento dos sensores pelos elementos estruturais de sustentação da estufa, como pilares e vigas. Na Figura 6, o efeito deste sombreamento também aparece nos maiores valores de RFA, ocorridos próximos ao meio-dia, nos dois ambientes.

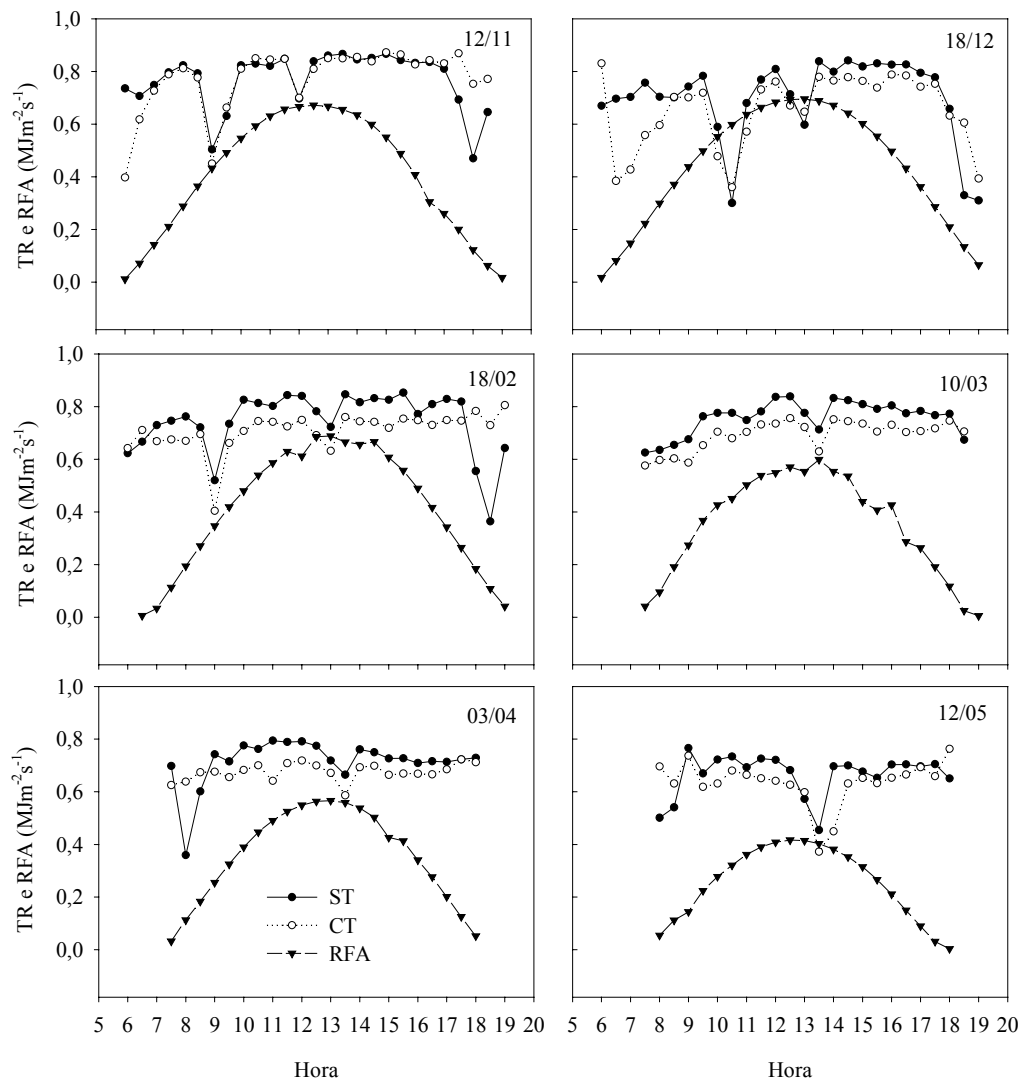


FIGURA 7 – Transmissividade média (TR) das estufas plásticas com (CT) e sem tela anti-insetos (ST) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA) do ambiente externo de 30 min, em dias típicos de alta disponibilidade de radiação, nas duas épocas de cultivo do tomateiro. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

4.1.2. Temperatura do ar

Durante o período de execução do experimento a campo, os valores de temperatura do ar se situaram próximos às médias climáticas da região.

A Figura 8 mostra valores de temperatura do ar média diária ocorrido em duas estações próximas, além das normais climáticas da região de Porto Alegre, entre os meses de novembro de 1999 e junho de 2000.

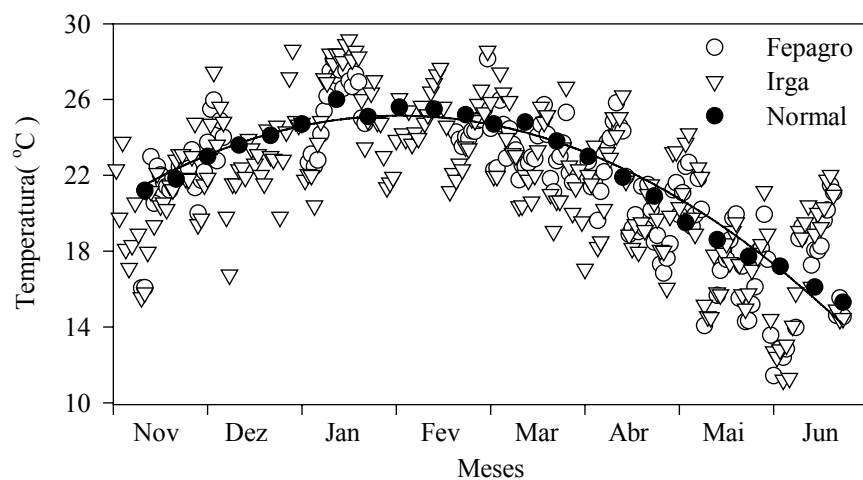


FIGURA 8 - Temperatura média do ar diária no período de novembro de 1999 a junho de 2000 no Fepagro, Eldorado do Sul e na Estação Experimental do Irga (Instituto Riograndense do Arroz), Cachoeirinha e a normal climática (1946/74) para Porto Alegre-RS.

4.1.2.1. Temperatura média do ar

A temperatura do ar média diária, nos três ambientes estudados, apresentou relação estreita com a temperatura do ar externa (Figura 9). Farias et al.(1993) também observaram que as diferenças entre a temperatura do ar média diária das estufas cobertas com polietileno de baixa densidade sem calefação e do ambiente externo, são muito pequenas, sendo que a temperatura do ar nestes ambientes é dependente das condições externas.

As equações que representam as relações entre as temperaturas internas e externas à estufa também mostram linearidade e coeficientes angulares próximos a 1, dentro da faixa de variação observada (Figura 9). Pelos coeficientes angulares e pelo valor da intersecção

no eixo dos Y das equações da Figura 9, pode-se verificar que as temperaturas médias diárias do ar dos ambientes de estufa com e sem tela anti-insetos foram 0,70 e 0,43°C maiores do que no ambiente externo, respectivamente.

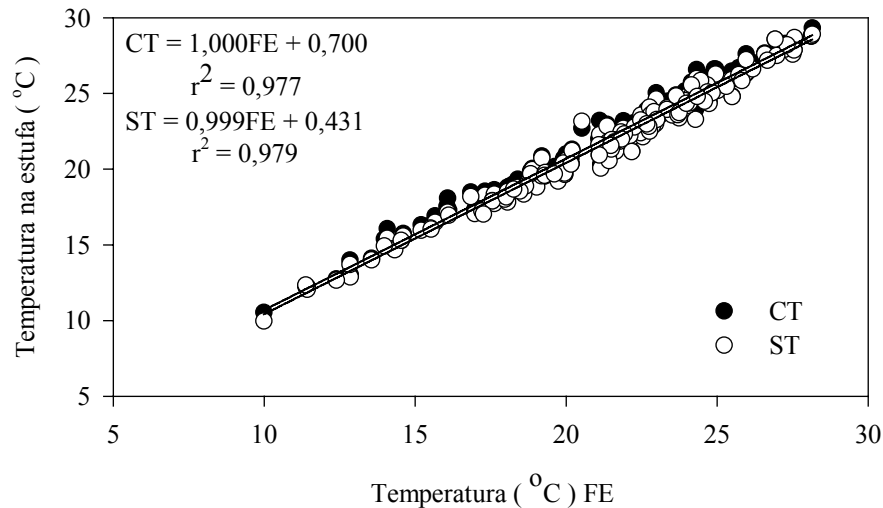


FIGURA 9. Relação entre a temperatura média diária do ar medida a 1,40m nas estufas com tela anti-insetos (CT) e sem tela (ST) com a do ambiente externo (FE). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

A relação entre as temperaturas médias diurnas (das 7 às 19h) e noturnas (das 19 às 7h) do ar nos ambientes com e sem tela com as temperaturas médias diárias do ar externo, mostradas na Figura 10, mostra que as médias diurnas foram maiores e as noturnas menores do que a média diária fora da estufa, existindo alta relação entre elas (r^2 próximo a 0,90). A curva de ajuste das temperaturas diurnas do ambiente com tela, apresentaram coeficiente angular mais elevado do que as do ambiente sem tela, o que significa maior aumento das temperaturas naquele ambiente, que esteve relacionado com a elevação da temperatura média do ar externo. A curva de ajuste das temperaturas noturnas do ar, no ambiente com tela, ao contrário das diurnas, apresentou coeficiente angular menor do que as do ambiente sem tela, significando menores acréscimos de temperatura do que o ambiente sem tela, para aumentos equivalentes da temperatura do ar externo.

As relações das temperaturas médias diurnas e noturnas do ar dos ambientes de estufa com tela com a temperatura média diária externa (Figura 10) mostram que as médias diurnas crescem 8% mais que a temperatura média diária de fora da estufa tem uma taxa de crescimento 8% menor do que o ambiente externo. Já no ambiente sem tela houve acréscimos de 2% no período diurno e reduções de 3% no período noturno, em relação à temperatura média do ambiente externo.

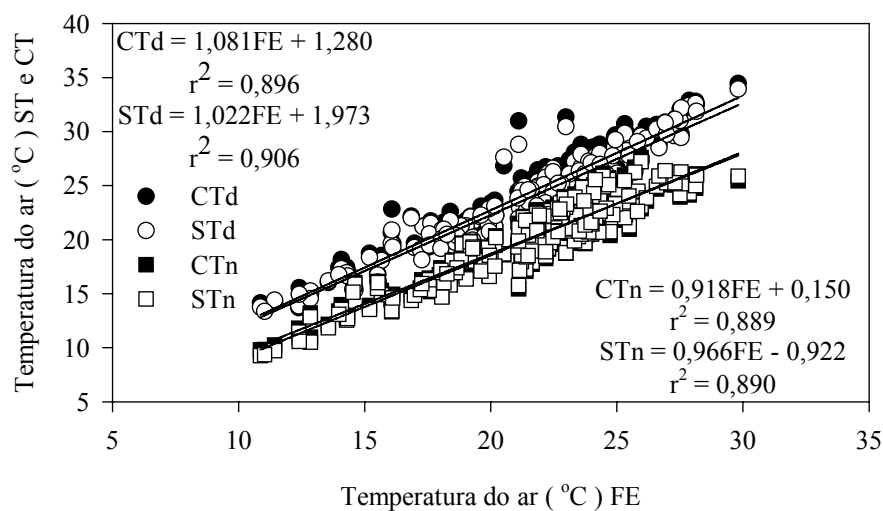


FIGURA 10- Relação entre a temperatura média do ar, nas estufas com tela anti-insetos (CT) e sem tela (ST) com a temperatura média do ar do ambiente externo (FE), a 1,40m acima do solo, nos períodos noturno e diurno Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

A pequena diferença entre as temperaturas médias dos três ambientes pode ser atribuída ao fato de que as temperaturas internas foram mais elevadas durante o período diurno invertendo as diferenças, em muitos casos, no período noturno (Figura 11). Esta inversão pode estar associada a noites com pouca nebulosidade e à estanqueidade do ambiente protegido pelo fechamento das cortinas laterais. Em dias ensolarados, com baixa nebulosidade, normalmente as temperaturas externas às estufas aumentaram, mas as temperaturas no interior das estufas foram ainda mais elevadas. Porém, durante à noite as temperaturas mínimas tenderam a ser mais baixas internamente, resultando em

temperaturas médias diárias semelhantes. Por outro lado, em dias com alta nebulosidade e chuvosos houve uma tendência dos ambientes apresentarem temperaturas semelhantes ao longo de todo dia.

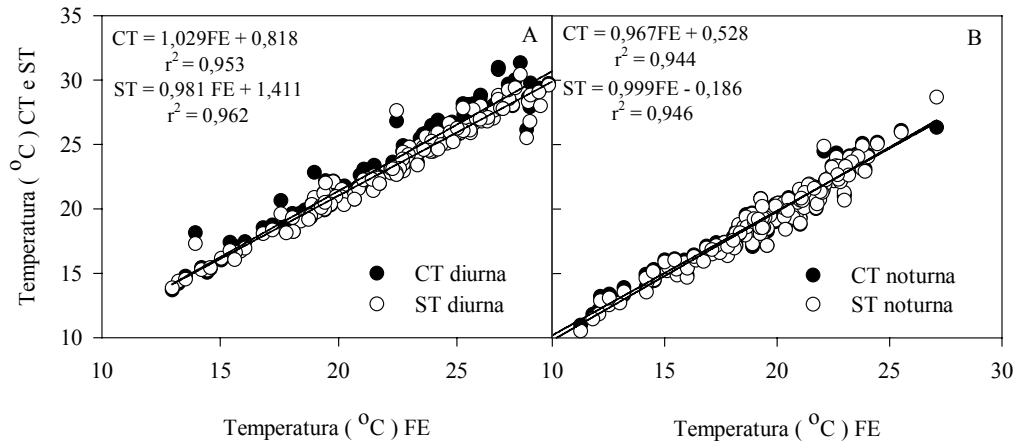


FIGURA 11 - Relação entre as temperaturas diurna (A) e noturna (B) dos ambientes com tela anti-insetos (CT) e sem tela (ST) com as temperaturas diurna e noturna do ambiente externo à estufa (FE). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

4.1.2.2. Temperatura máxima do ar

Em todo o período estudado, as temperaturas máximas variaram desde próximo a 15°C até acima dos 40°C nos três ambientes, com valores pouco superiores dentro das estufas (Figura 12A). A Figura 12B mostra que as temperaturas do ar das estufas com e sem tela foram semelhantes e as máximas no ambiente sem tela apresentaram aumento 4% menor do que no ambiente com tela. Esta tendência demonstra que a presença da tela proporcionou temperaturas máximas superiores somente em condições favoráveis à ocorrência de temperaturas elevadas externamente. Condições como estas, que podem prejudicar a cultura, não tiveram alta frequência durante o período experimental. Durante o período estudado somente ocorreram dez dias com temperaturas acima de 35°C, na primeira época.

Conforme verificado por Farias et al. (1993), a temperatura máxima é alterada pela estufa plástica devido ao menor volume de ar a ser aquecido e à redução da velocidade do

vento que atua no resfriamento do ambiente. Portanto, quanto mais reduzida for a ventilação e elevada a radiação em estufas, maior será sua temperatura máxima diária.

Para dias de baixa disponibilidade de radiação, com temperatura mais baixa, existe uma tendência das máximas se igualarem entre as estufas e o ambiente externo. O mesmo foi encontrado por Farias et al. (1994), que constatou, inclusive, temperaturas inferiores dentro da estufa em dias de chuva.

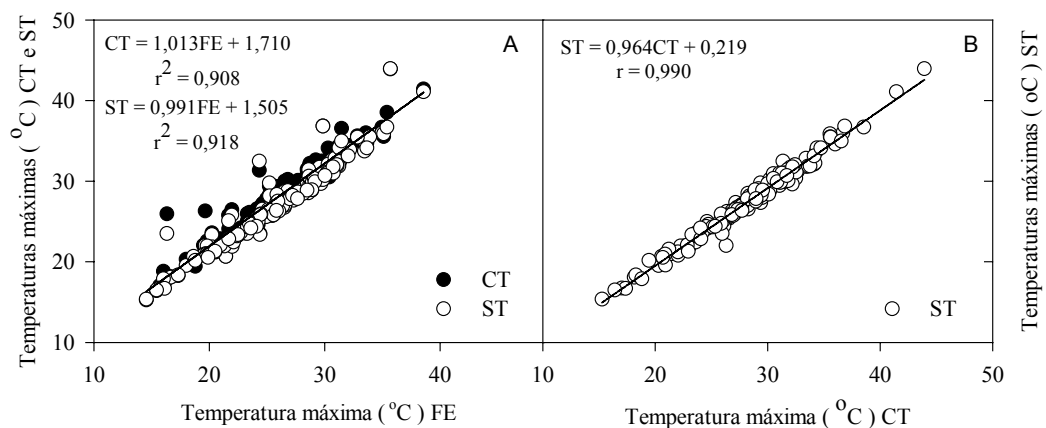


FIGURA 12 - Relação entre as temperaturas máximas do ar em ambientes de estufas com tela anti-insetos (CT) e sem tela (ST), com as do ambiente externo (FE) (A) e relação entre as temperaturas máximas do ar dos ambientes CT e ST (B).Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

A Figura 13 evidencia pequenas diferenças entre as temperaturas dos vários ambientes e mostra que as diferenças nas médias das máximas, entre as estufas e fora da estufa, foram em torno de 2°C, crescentes para a estufa com tela e decrescentes para a sem tela, com aumentos da temperatura média externa. Isto pode indicar que o uso de tela anti-insetos, na época do ano considerada, não determina grandes modificações nas temperaturas de estufas com as características e o manejo de cortinas laterais adotados. As maiores diferenças entre as temperaturas máximas dos ambientes, externo e da estufa com tela, chegaram próximo a 4°C para médias diárias em torno de 24°C, embora não diferindo

em alguns dias com temperaturas médias também próximas a 24°C fora da estufa (Figura 13).

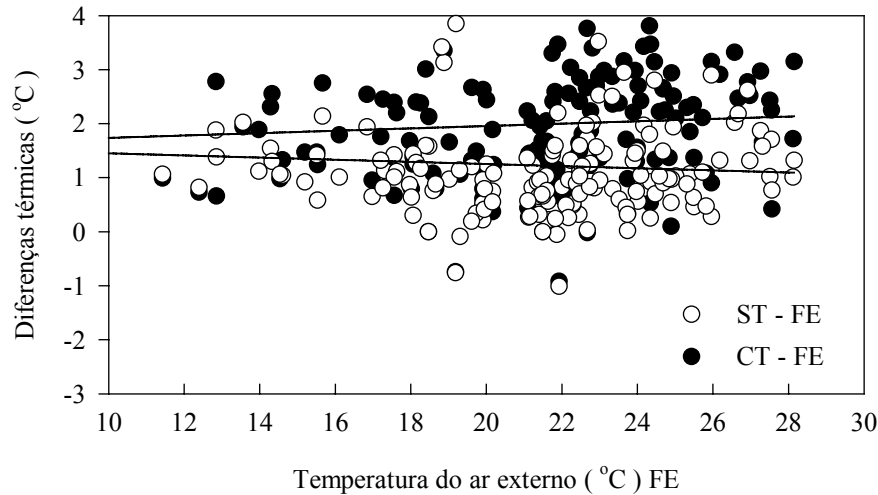


FIGURA 13 –Relação entre as diferenças de temperaturas máximas do ar em ambientes interno e externo à estufa com tela anti-insetos (CT) e sem tela (ST), com a temperatura média do ar externo à estufa (FE). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

Levando-se em conta os elementos que mais influenciam nas temperaturas máximas diárias, verifica-se que a radiação solar global incidente foi a principal causa de variação, responsável por mais de 40% das suas variações (Tabela 2). A temperatura mínima do dia ficou em segundo lugar, como responsável por mais de 18% das variações das temperaturas máximas. A velocidade do vento teve menor influência sendo responsável por menos de 2%, dentro da estufa. Fora das estufas o vento apresentou maior influência na variação das temperaturas máximas do ar.

TABELA 2 - Influência de alguns elementos meteorológicos, na variação das temperaturas máximas do ar em ambientes de estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e externo (FE), determinada por análise de regressão múltipla. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

	CT(%)	ST(%)	FE(%)
Radiação solar global	40,6	38,4	38,3
Temperatura mínima do ar	18,8	17,6	19,9
Velocidade do vento	1,1	2,7	4,0
Total	60,6	58,8	62,2

A pequena influência da velocidade do vento pode ser atribuída à pouca variação deste elemento nesta região, sobretudo no local do experimento, que é relativamente abrigado por árvores que servem de quebra-vento. Mesmo assim, verifica-se que quanto maior for a resistência do ambiente sobre a velocidade do vento, menor é a influência deste elemento sobre as temperaturas máximas do ar.

4.1.2.3. Temperatura mínima do ar

As temperaturas mínimas, de todo o período estudado, variaram desde próximo a 8°C até 25°C nos três ambientes, com valores pouco superiores dentro das estufas (Figura 14A). Na estufa, com e sem tela, os maiores acréscimos das temperaturas mínimas diárias, ocorreram quando as mínimas do ar externo estiveram próximo às temperaturas mais baixas. Houve tendência de aumento nas diferenças das temperaturas dos ambientes com e sem tela, à medida que a temperatura externa diminuiu. Esta tendência mostra que, para temperaturas mais baixas, existe maior benefício da estufa, na época estudada, o que também foi verificado por Buriol et al. (1993) e Pezzopane et al (1995). Por outro lado, estas diferenças tendem a desaparecer em temperaturas entre 20 e 21°C. A Figura 14B mostra que a temperatura mínima do ar dos ambientes de estufa (CT e ST), foram semelhantes, sendo o coeficiente angular da equação que as relaciona próximo a 1. O ponto de interseção no eixo das ordenadas mostra que as mínimas da estufa CT foram aproximadamente 0,5°C maiores do que na estufa ST.

A Figura 15 mostra as diferenças entre as temperaturas mínimas do ar nos ambientes de estufa e no ambiente externo, relacionadas com a mínima diária no ambiente externo. Pode-se observar que os desvios das mínimas na estufa com tela, estiveram próximos de 1°C, tendendo a desaparecer com o aumento da temperatura mínima. Por sua

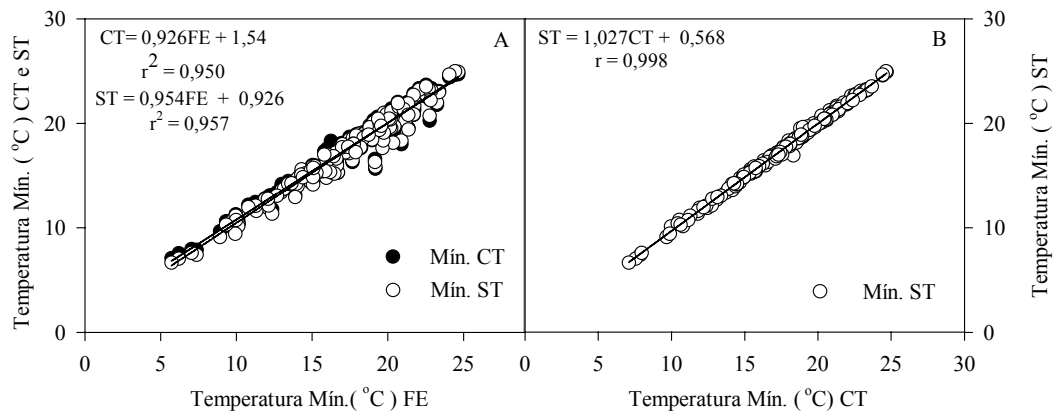


FIGURA 14 - Temperatura mínima do ar dos ambientes com tela anti-insetos (CT) e sem tela (ST), com relação as do ambiente fora da estufa (FE) (A) e a relação entre as temperaturas mínimas do ar de ST com a CT (B). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

vez, os acréscimos das mínimas na estufa sem tela foram muito pequenos e próximos a 0°C . Houve muitos dias em que ocorreu inversão de temperatura dentro das estufas, ou seja, com temperaturas mínimas do ar inferiores ao ambiente externo. Estas inversões de temperatura chegaram a mais de 3°C de diferença. A Figura 15 também mostra que as maiores inversões se deram em dias cuja temperatura mínima do ar fora da estufa esteve entre 20 e 24°C e que quanto mais baixa foi a temperatura mínima externa menor a ocorrência de inversão térmica nas estufas. A estufa com tela mostrou menor frequência de dias com inversão térmica do que a sem tela.

4.1.2.4. Amplitude diária de temperatura do ar

A Figura 16A mostra que as estufas apresentam maior amplitude térmica diária do que no ambiente externo. Na Figura 16B observa-se que a amplitude da temperatura do ar em todos os ambientes têm influência da radiação solar global incidente. Quanto maior a disponibilidade de energia maior a amplitude diária. Este comportamento é muito relacionado com a nebulosidade diária que quanto menor maior a disponibilidade de radiação durante o período diurno e maior as perdas de energia durante a noite. Nas

estufas, a redução na ventilação torna maior o efeito da radiação sobre a amplitude de temperatura, principalmente influenciando nas temperaturas máximas diárias.

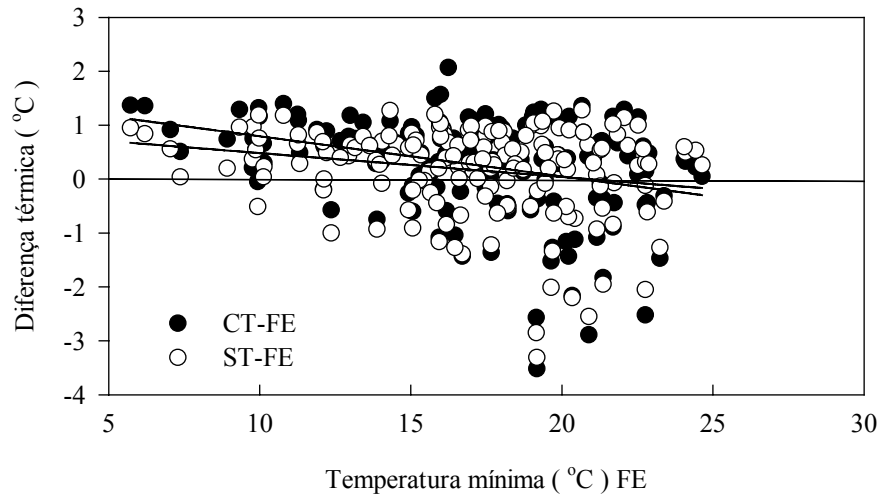


FIGURA 15- Diferença das temperaturas mínimas do ar dos ambientes de estufa com tela anti-insetos (CT) e sem tela (ST) com a temperatura mínima do ar do ambiente de fora da estufa (FE), relacionada com a temperatura mínima do ambiente externo. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

A grande dispersão dos dados de amplitude relaciona-se a variação de outros fatores importantes no balanço de energia como intensidade e direção do vento, desenvolvimento da cultura e manejo de cortinas.

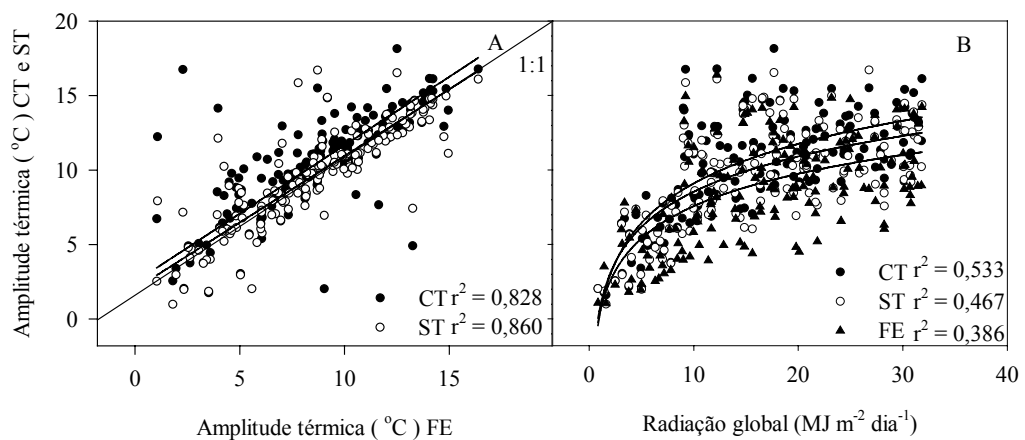


FIGURA 16 - Relação entre a amplitude térmica diária das estufas com tela anti-insetos (CT) e sem tela (ST) (A), e a amplitude térmica diária de fora da estufa (FE) e entre amplitude térmica dos ambientes FE, CT e ST com a radiação solar global incidente. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

4.1.2.5. Variação vertical da temperatura do ar

A variação vertical da temperatura do ar, nos ambientes estudados, teve padrão similar ao longo dos ciclos do tomateiro, sendo função principalmente da disponibilidade de radiação solar (Figura 17). Normalmente, as maiores variações, ao longo do dia, ocorreram durante os horários das temperaturas máxima e mínima, o que pode ser observado na Figura 22. Por este motivo foram apresentados apenas os valores de temperaturas observadas às 6 e 14h (Figura 17). Durante o período noturno ocorreram as menores variações verticais de temperatura, entre os quatro níveis de medição (35, 70, 140 e 280cm), cujos valores foram muito aproximados. Nos três ambientes, as maiores variações verticais de temperaturas noturnas tiveram valores próximos a 1°C. Na estufa com tela houve variação maior, cerca de 0,5°C acima dos outros ambientes.

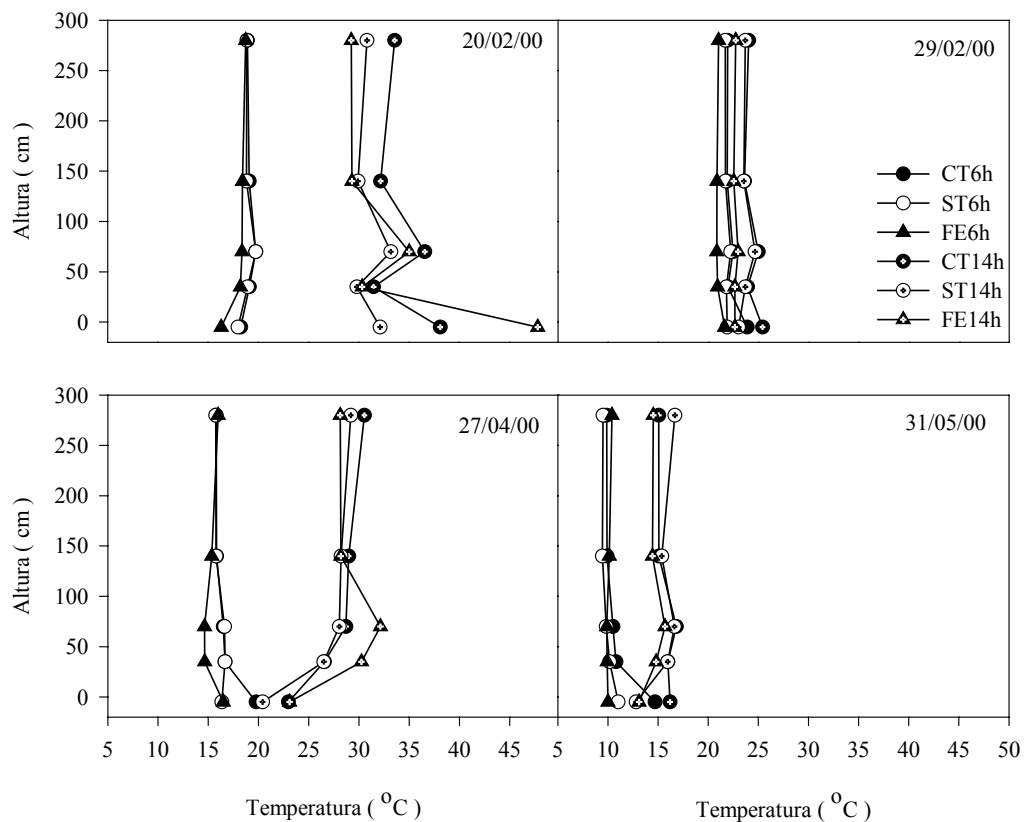


FIGURA 17 – Perfil vertical de temperatura, às 6 e 14h, nos ambientes de estufa com tela (CT) anti-insetos, sem tela (ST) e ambiente externo à estufa (FE), nos dias 20 e 29 de fevereiro, 27 de abril e 31 de maio de 2000. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

Dentro de estufas, o solo apresenta temperaturas noturnas superiores ao ar, sendo esta a principal fonte de energia para o aquecimento da atmosfera interna. No horário de mínima disponibilidade de energia próximo às 6h, normalmente a temperatura do ar do ambiente externo, a 2,80m, foi mais elevada ou igual àquela dos outros dois ambientes, com pequena redução em direção ao solo, principalmente a partir da altura de 1,40m (Figura 17). Dentro das estufas ocorreu um padrão diferente, em que a temperatura foi crescente em direção ao solo a partir de 1,40m, sendo que de 2,80m até 1,40m não houve variação. Para as 6h este perfil foi típico, devido a que a única fonte de energia é o solo. Este fenômeno também foi observado por Heldwein et al.(2001).

No período diurno, quando a temperatura é influenciada pela disponibilidade de radiação, ocorreram as maiores variações térmicas verticais. Estas foram mais nítidas no horário das 14h quando, normalmente, a temperatura do ar apresentou padrão semelhante nos diversos ambientes. Neste horário, a altura de 0,70m foi a que apresentou a maior temperatura, chegando até 5°C de diferença entre os pontos mais próximos. Esta foi a altura atingida pela cultura a partir de 50 dias após o transplante (DAT) nas estufas e 60 DAT no ambiente externo (Figura 17). Entretanto, mesmo no início de desenvolvimento da cultura, a altura de 0,70m sempre apresentou temperatura do ar superior às demais, apesar de ocorrerem diferenças menores, sendo tanto maiores as diferenças quanto maior a área foliar da cultura, sobretudo em dias com alta disponibilidade de radiação global. Assim as diferenças térmicas verticais foram tanto maiores quanto maior foi a disponibilidade de radiação solar incidente. Em dias de menor disponibilidade de radiação (5,53 e 8,38MJm⁻² dia⁻¹, nos dias 29/02 e 31/05, respectivamente) as diferenças de temperaturas noturnas e diurnas foram menores.

A temperatura do ar foi semelhante nas alturas de 2,80 e 1,40m acima do solo nos três ambientes. Porém, em algumas situações, ocorreu diferenças de mais de 2,5°C no ambiente com tela. Esta condição é esperada devido ao movimento ascendente do ar aquecido, por convecção. Como neste trabalho, Heldwein et al. (2001) também encontrou variação vertical desta ordem, em dias de alta disponibilidade de radiação solar.

As diferenças de temperatura entre os outros níveis não foram tão acentuadas, permanecendo próximas a 1°C.

No dia 27 de abril (Figura 17) observou-se que, com o final do 2º ciclo e coleta e retirada das plantas, no ambiente externo e com alta disponibilidade de radiação global, a temperatura do ar tornou-se mais elevada do que nos ambientes de estufa, na altura de 0,70m. Esta diferença pode ser atribuída à redução do fluxo de calor latente que alterou o balanço de energia na área externa. Este fenômeno foi observado em outros dias, com as mesmas características descritas.

Na maioria dos dias os ambientes de estufa apresentam temperaturas do ar superiores ao ambiente externo nos horários das 6 e 14h, em todos os quatro pontos de medição. Porém, os valores médios mensais, tiveram diferenças sempre próximas a 1°C. (Tabela 3).

TABELA 3 - Temperatura média mensal dos meses de março e abril de 2000, em três ambientes, estufa com tela anti-insetos(CT), sem tela (ST) e fora das estufas (FE) medidas em quatro alturas. Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

Mês	MARÇO				ABRIL				
	Alt./cm	35	70	140	280	35	70	140	280
CT		24,27	25,41	24,02	24,51	21,48	21,92	21,45	21,78
ST		23,86	24,92	23,68	24,81	21,33	21,71	21,20	22,02
FE		23,52	24,45	23,27	23,48	20,92	21,58	20,89	21,15

A Figura 18 mostra a variação vertical da temperatura do ar, no transcurso de um dia, representando os períodos de maior e menor variação térmica e os períodos de maior e menor temperatura, bem como sua localização. A configuração das isotermas, nos vários

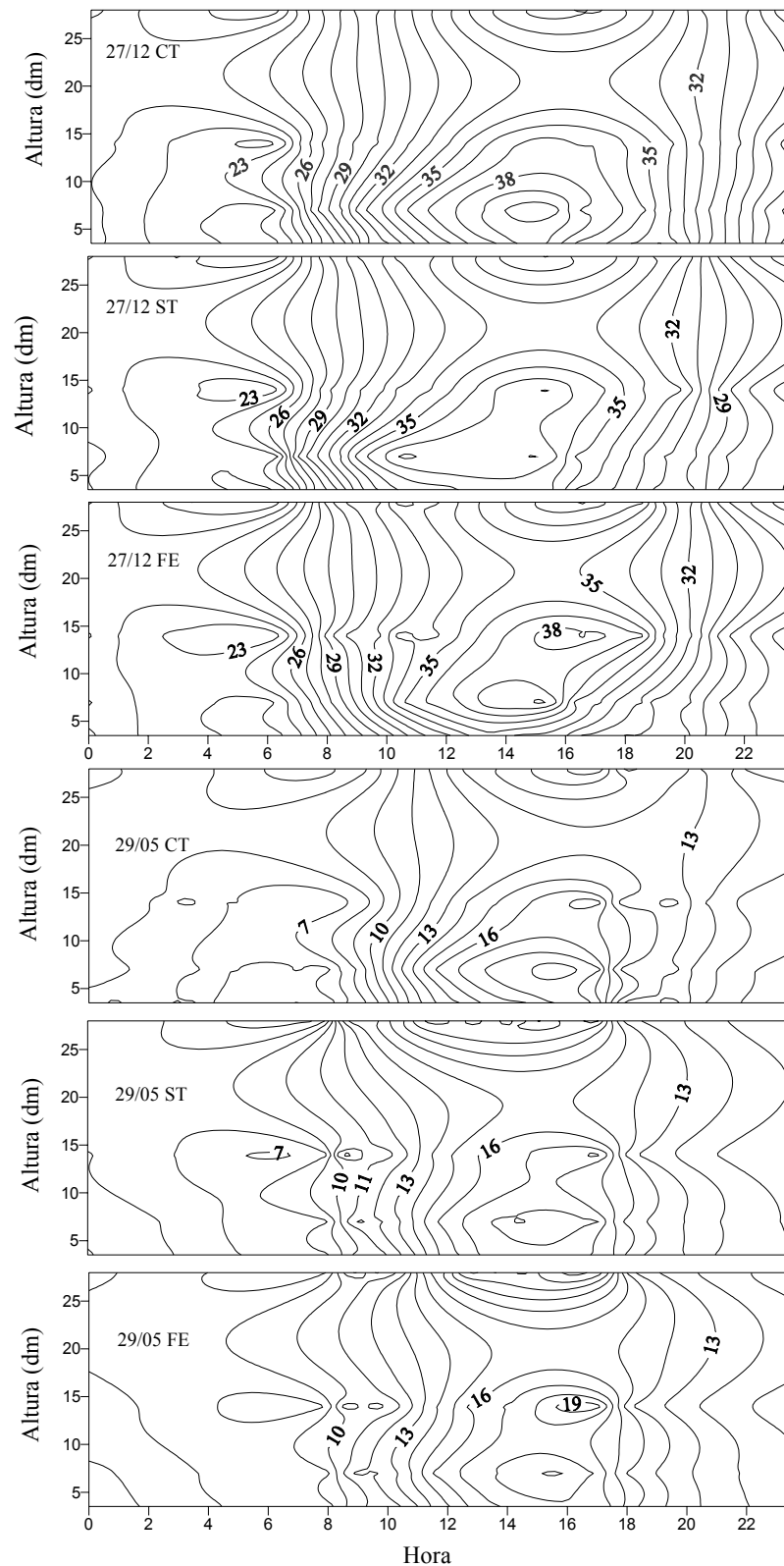


FIGURA 18 - Distribuição temporal das variações verticais de temperatura do ar nos ambientes de estufa com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora das estufas (FE), em 27 de dezembro de 1999 e 29 de maio de 2000, dias de ocorrência das temperaturas máxima e mínima nos dois ciclos do tomateiro. Fepagro. Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

ambientes e nos dias estudados, assim como em outros não apresentados, apresenta-se semelhante, com períodos de pequena variação, à noite, e grande variação durante o dia. Como era esperado, dias mais quentes apresentaram maior amplitude térmica, resultando em variações maiores ao longo do dia.

A Figura 18 mostra que o período que vai das 20 às 4h, em dias quentes, é aquele em que a variação vertical de temperatura é muito pequena, não atingindo 2°C ao longo do perfil, nos três ambientes. Das 10 às 16h houve maior variação vertical, quando o local mais quente foi junto ao solo, a variação mais intensa até 1,40m, e a partir da qual a variação térmica fica reduzida. Próximo à altura de 2,80m ocorreu um período de máxima temperatura, em torno das 14h, e outro de mínima próximo das 6h, sendo que estas temperaturas tiveram pequena defasagem em relação aos horários de máxima e mínima, junto ao solo.

Nos dias mais frios, como em 29/05, o período de pequena variação foi das 19 às 4h, e que no horário da mínima, ocorreu menor temperatura dentro do dossel (1,40m), nos ambientes de estufa, sendo 7°C nestes ambientes e igual 8°C no ambiente externo. Uma observação importante na Figura 17, é a redução da temperatura de 1,40m para o solo, no ambiente externo e aumento no ambiente com tela e/ou estabilização no ambiente sem tela.

4.1.2.6. Variação horizontal da temperatura do ar

A distribuição da temperatura do ar dentro da estufa nos ambientes com e sem tela anti-insetos, mostrados na Figura 19, apresentou características comuns ao longo das duas épocas de cultivo. Pode-se verificar que a variação da temperatura, dentro das estufas, é dependente da disponibilidade de radiação solar incidente sobre a mesma e que durante o dia a variação foi maior do que à noite, chegando, em alguns dias a ser mais de 3°C, mas raramente, atingindo 0,5°C no período noturno.

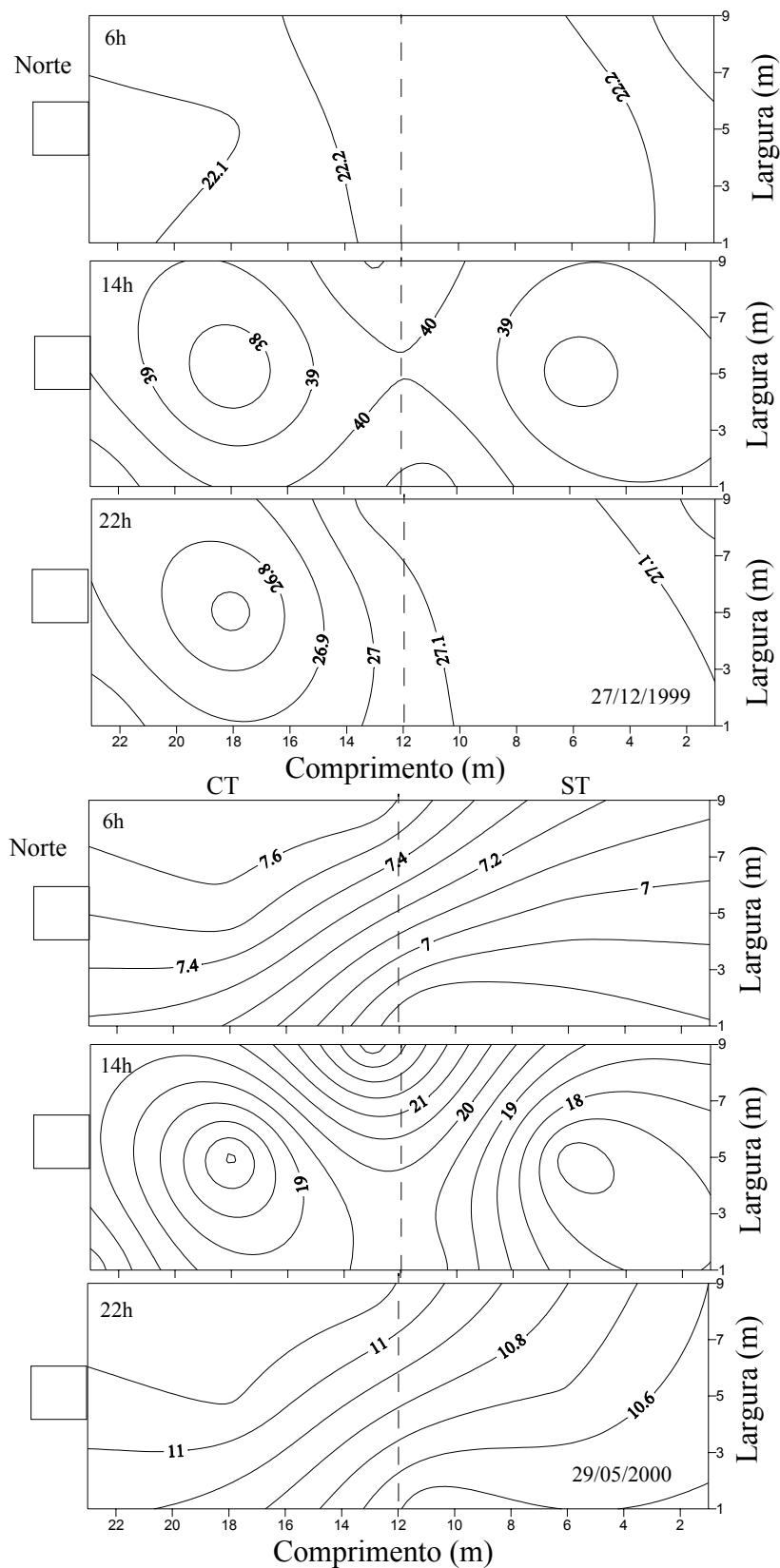


FIGURA 19 – Variação horizontal da temperatura do ar nos ambientes de estufa com (CT) e sem tela (ST) anti-insetos, às 6, 14 e 22h, do dia de ocorrência da menor temperatura do ar (29/05/2000) e do dia de maior temperatura do ar (27/12/1999), no fim do primeiro e segundo ciclo. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

O ambiente com tela, apesar de apresentar variação semelhante ao sem tela, normalmente se manteve mais quente e o local mais quente, normalmente, esteve junto ao norte das estufa nos dois ambientes, com tendência a se localizar no lado leste da estufa.

No horário das temperaturas máximas houve tendência do local mais frio se localizar no centro de cada ambiente, na posição em que se encontrava o sensor central.

Nos dias totalmente nublados, com radiação solar exclusivamente difusa, as diferenças de temperatura não passaram de $0,1^{\circ}\text{C}$ às 6h da manhã (mínima), $0,2^{\circ}\text{C}$ às 22h e 3°C às 14h, em qualquer dos dois ambientes.

O trabalho de Santos & Klar (2001) mostrou que a variação da evaporação dentro das estufas apresenta-se semelhante à variação da temperatura, pois esta foi em torno de 10% dentro deste ambiente, sendo que o local de menor evaporação foi o centro da estufa. A variação de temperatura do ar verificada neste trabalho também foi de 10%, no máximo, sendo que, no horário das 14h, o centro de cada ambiente foi o lugar de temperatura mais baixa.

4.1.3. Umidade Relativa do ar

A umidade relativa do ar medida no ambiente externo, a 1,40m acima do solo, apresentou valores médios mais baixos nos meses de temperatura mais elevada e aumentou à medida em que a temperatura externa às estufas diminuía (Figura 20).

No ambiente externo (FE), os valores médios diários de umidade relativa do ar, na altura de 1,40m, sempre foram mais baixos que dentro das estufas, sendo que o ambiente com tela (CT), teve médias mais elevadas conforme verificado também por Buriol et al. (2000). As curvas de variação da umidade relativa do ar, evidenciam tendências diferentes, demonstrando diferenças na influência das fontes de variação. Estas fontes, certamente, estão ligadas à alterações nos movimentos de transferência de vapor provocadas pela

presença dos elementos da estufa (plástico e tela), e à transpiração das plantas, que variava com o crescimento da área foliar e com as condições de demanda atmosférica. O filme plástico limitando os movimentos verticais de transferência de vapor, para acima de 3m (altura da estufa), devido à sua impermeabilidade aos gases e as plantas aumentando o fornecimento de vapor, através da evaporação, com o aumento da área foliar.

Outro fator a ser considerado é a modificação na ventilação lateral (advecção), responsável pela renovação das massas de ar internas à estufa. Esta advecção também é influenciada pelo tipo de material, tamanho, e manejo das aberturas que compõem cada modelo de estufa, pois modificam a resistência à passagem lateral de vento (Buriol et al., 2000).

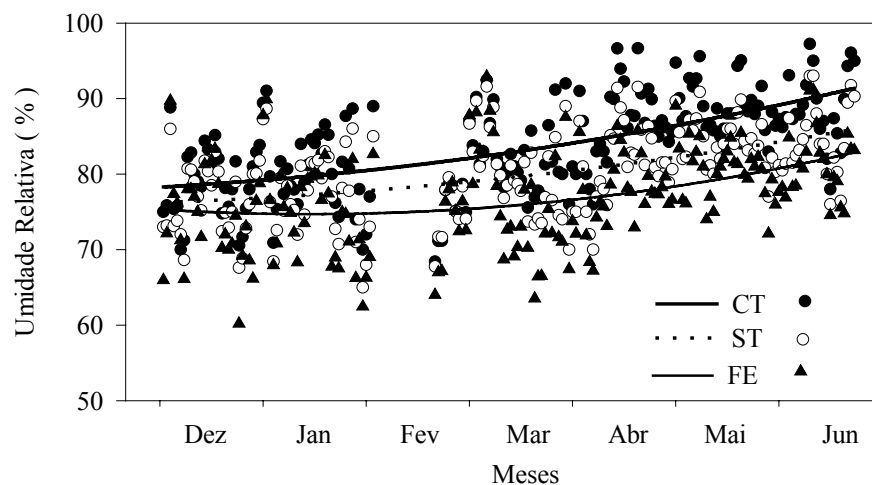


FIGURA 20 - Variação da umidade relativa do ar média diária, medida a 1,40m acima do solo cultivado com tomateiro, em estufa com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora das estufas (FE). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

Apesar da alteração das condições micrometeorológicas internas, pelos elementos componentes das estufas e presença de plantas, a umidade relativa do ar das estufas, medida à 1,40m acima do solo, mostrou-se relacionada com as condições externas deste elemento, medidas à mesma altura. Isto pode ser observado na Figura 21, cujos

coeficientes de determinação foram de 0,638 e 0,765 para os ambientes CT e ST, respectivamente.

Os valores noturnos de umidade relativa do ar não apresentam grandes diferenças entre os ambientes, permanecendo próximos a 100%, embora a transpiração das plantas fosse muito menor do que a transpiração diurna. Por isto as variações de umidade relativa do ar durante o dia são mais importantes em estudos de transpiração e demais relações hídricas das plantas cultivadas.

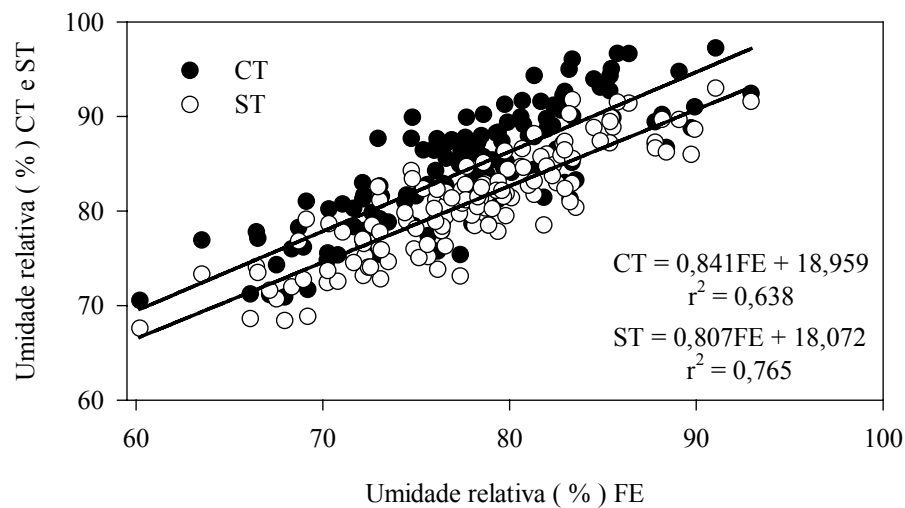


FIGURA 21 - Relação entre médias diárias de umidade relativa do ar, medidas a 1,40m acima do solo, em ambientes de estufas com (CT) e sem tela anti-insetos (ST) com o ambiente fora da estufa (FE), cultivados com tomateiro. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

Assim como a temperatura, a umidade relativa do ar também sofreu influência direta das condições externas à estufa, conforme pode ser observado pelo alto coeficiente de determinação entre seus valores horários (Figura 22).

A umidade relativa do ar foi medida a altura de 1,40m acima do solo, próxima à altura dos instrumentos dos abrigos meteorológicos normalmente usados para medições no ambiente externo. A partir desta localização é possível estimar as condições de umidade

dentro da estufa a partir de dados de fora da estufa devido aos elevados coeficientes de determinação verificados entre estes valores (Figura 22).

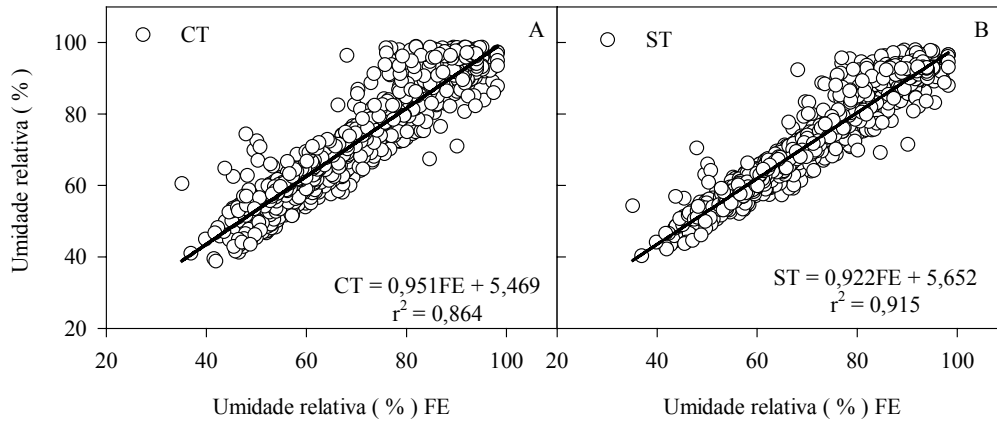


FIGURA 22 - Relação entre a umidade relativa do ar, medida a 1,40 m acima do solo, em ambiente da estufa com (CT) e sem tela anti-insetos (ST), com o ambiente fora da estufa (FE), cultivados com tomateiro. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

A Figura 23 mostra que também houve estreita relação entre os valores de umidade relativa do ar a 1,40m acima do solo com aquelas medidas a 0,35m e 2,80m, nos dois ambientes (CT e ST).

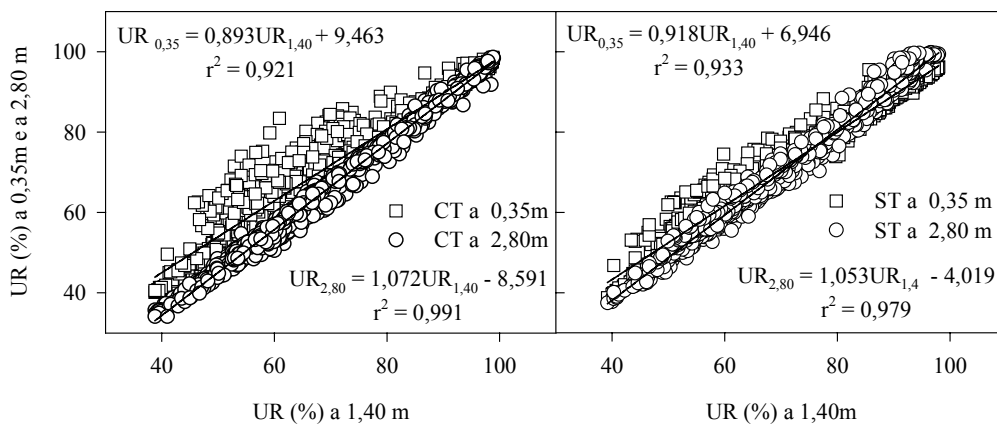


FIGURA 23 - Relação entre a umidade relativa do ar (UR) medida a 1,40m acima do solo com a UR medida a 0,35 e 2,80m, em ambientes de estufas com (CT) e sem tela anti-insetos (ST), cultivados com tomateiro. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

A influência do desenvolvimento da área foliar sobre a umidade relativa do ar também pode ser observada na Figura 24. Houve tendência semelhante àquela resultante da restrição na ventilação, em que a renovação do ar fica prejudicada, proporcionando maior umidade do ar nos ambientes com menor ventilação (CT). A Figura 24 mostra que houve maior diferença de umidade relativa entre os ambientes interno e externo no final dos ciclos do tomateiro, quando o mesmo apresentava maior área foliar. Verifica-se que, no início do segundo ciclo, a diferença entre as médias diárias de umidade relativa do ar foram menores, com tendência de aumentar com o desenvolvimento do IAF. Baille et al. (1994) também verificaram o efeito da maior área foliar sobre a umidade do ar em ambiente de estufas, onde plantas com menor área foliar, não propiciavam quantidades suficientes de vapor para resfriar a estufa, como os ambientes com plantas de maior área foliar.

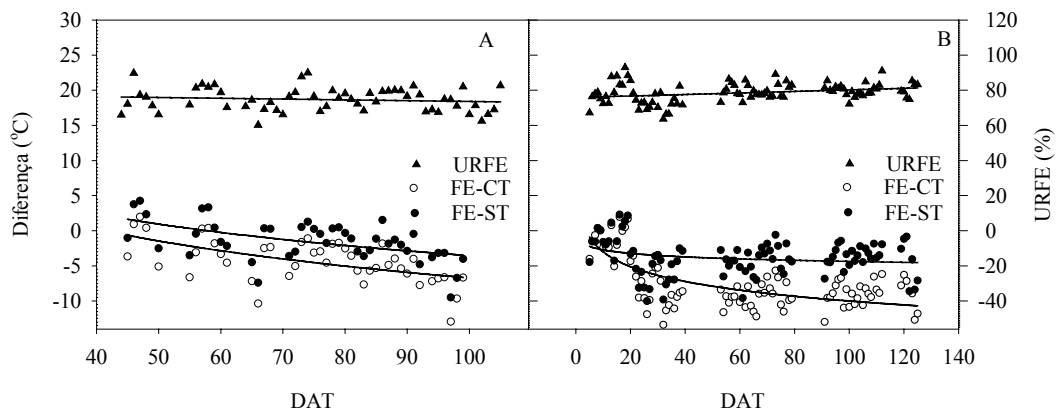


FIGURA 24 - Variação das médias diárias de umidade relativa do ar (UR) no ambiente externo as estufas (FE) e diferença entre as médias diárias de UR do ar do ambiente externo com os ambientes das estufas com (CT) e sem tela anti-insetos (ST), em duas épocas de cultivo do tomateiro: outubro a fevereiro (A) e fevereiro a junho (B). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

A Figura 25 também mostra que a diferença entre as médias mensais de umidade relativa do ar tendem a aumentar com o desenvolvimento do ciclo da cultura, evidenciado pela queda nas diferenças de umidade relativa do ar entre o fim do primeiro ciclo e o início

do segundo, na altura de 1,40m. Esta queda deve-se à retirada da cultura entre o fim da primeira época e o início da segunda.

Na altura de 2,80m, a influência do desenvolvimento da área foliar sobre a umidade relativa do ar é melhor caracterizada, pois mostra que, mesmo com o aumento da umidade relativa do ar fora das estufas, a diferença de umidade entre os ambientes foi crescente até atingir a área foliar máxima, em abril, a partir da qual esta diferença se tornou estável. Nesta mesma altura, o ambiente sem tela causou aumento da diferença entre a umidade relativa do ar e o ambiente externo, somente no início de desenvolvimento da cultura, na segunda época, com queda a partir de abril e mantendo-se constante a partir daí.

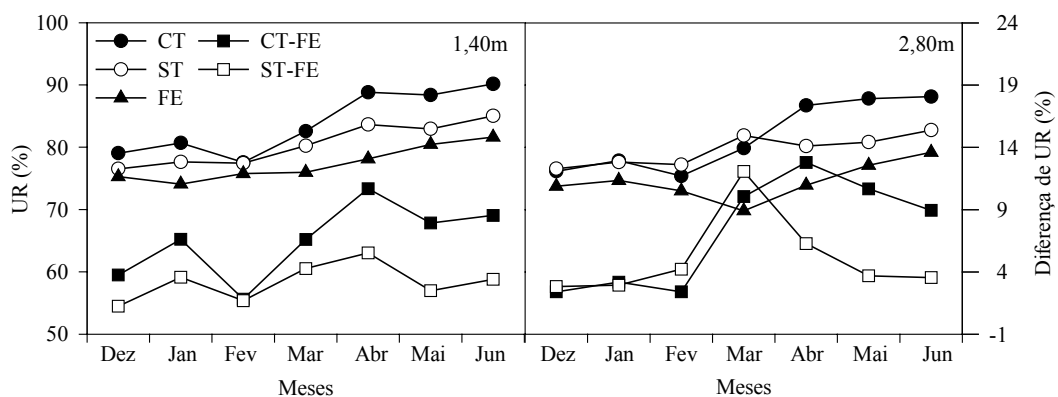


FIGURA 25 - Variação da média mensal de umidade relativa do ar (UR) e da diferença entre as médias dos ambientes de estufa com tela (CT) e sem tela anti-insetos (ST) com o ambiente externo à estufa (FE) a 1,40m (A) e 2,80m (B), em duas épocas de cultivo do tomateiro. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

Ao longo do dia a umidade relativa do ar apresentou variações relacionadas às condições externas da estufa. A análise de dias típicos apresentada na Figura 26, mostra os níveis desta variação. Pode ser observado que, a diferença de umidade relativa do ar entre os três ambientes não aparece no período inicial do ciclo, mas sim nos dias finais do ciclo da cultura, quando as plantas apresentavam grande área foliar. Os dias de céu claro apresentaram maior variação ao longo do dia, com a umidade relativa do ar alta durante a

noite e baixa durante o dia. Os dias nublados não tiveram o mesmo padrão, que dependeu da disponibilidade de radiação solar, enquanto que, os dias chuvosos, são os que apresentaram a menor variação. O ambiente de fora da estufa foi, normalmente, àquele de menor umidade relativa, salvo durante o início da manhã, quando as estufas apresentam aquecimento mais rápido do que fora delas (dias 22/05 e 28/04 da Figura 26).

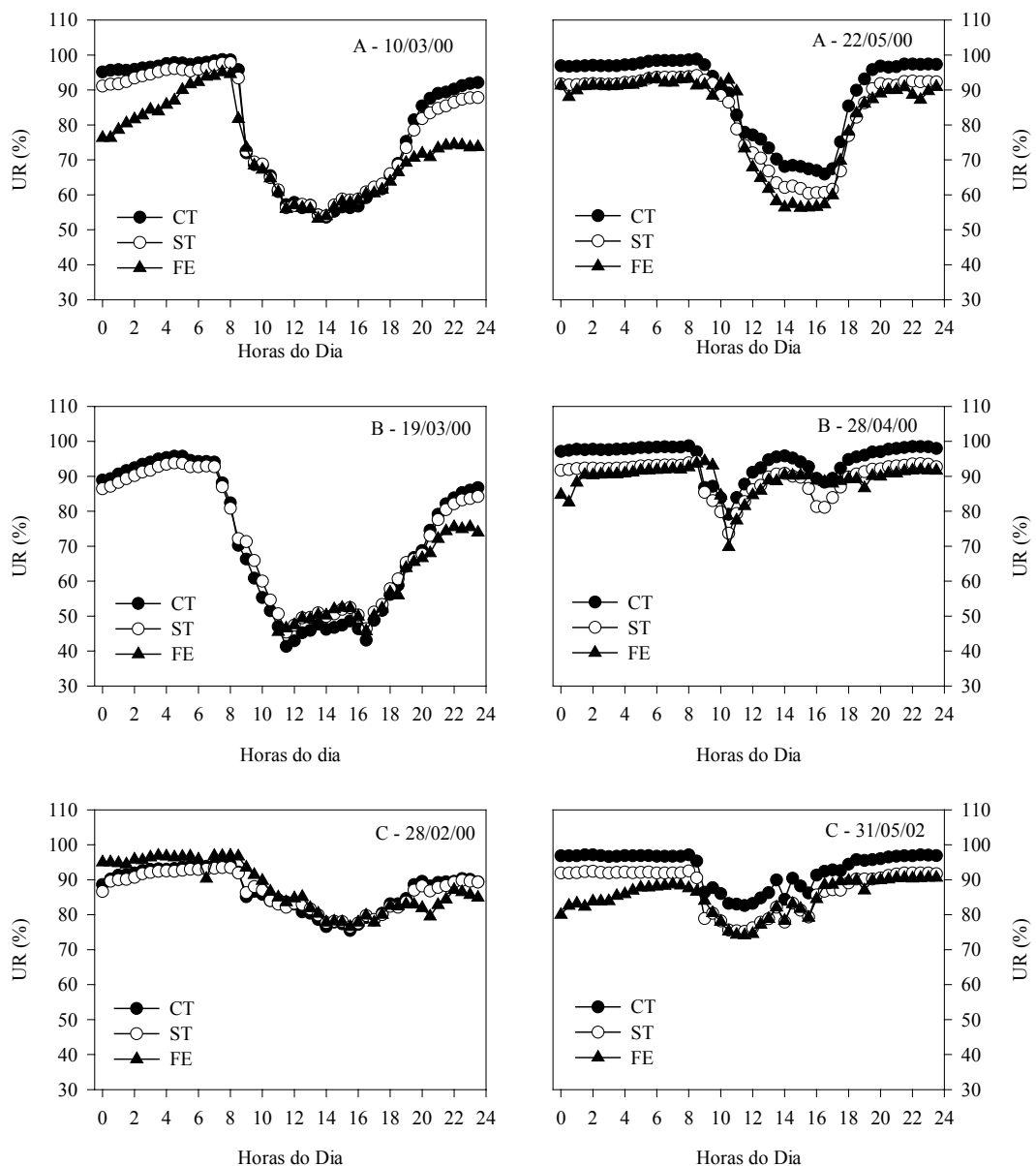


FIGURA 26 – Variação da umidade relativa do ar (UR) a 1,40m acima do solo, em ambientes fora da estufa (FE), dentro da estufa com (CT) e sem tela anti-insetos (ST), em dias típicos de céu claro (A), nublado B e chuvoso C, no início (esquerda) e no final (direita) de cada ciclo do tomateiro. Fepagro. Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

A Figura 27 mostra a variação vertical da umidade relativa do ar, ao longo do dia 20 de fevereiro de 2000, nos ambientes das estufas. Neste dia, a estufa com tela apresentou, durante a noite, uma hora a mais de umidade relativa acima de 90% junto ao plástico superior, do que a estufa sem tela. Este é o período mais propício à condensação de água no filme que pode determinar prejuízos devido ao gotejamento sobre as plantas e à redução de radiação pela manhã. A Figura 27 também mostra que o período de umidade relativa de 90%, próximo à superfície das plantas, foi duas horas maior na estufa com tela do que na sem tela o que pode proporcionar maior possibilidade de condensação de água nas plantas, já que existe uma relação entre o número de horas de água livre sobre as folhas com o número de horas com umidade relativa acima de 90% (Zhang et al., 1997). A Figura 27 mostra que durante o período mais quente do dia a umidade relativa do ar da estufa com tela foi maior do que na sem tela, mesmo sem plantas, embora a temperatura da estufa com tela fosse superior. Enquanto o ambiente com tela apresentou período de 7 horas com umidade relativa do ar igual ou inferior a 50%, a 1,40m acima do solo, a estufa sem tela apresentou 2 horas.

Pode-se observar na Figura 27 que foi pequena a variação de umidade relativa do ar com a altura, em dois horários: próximo às 8h e às 19h, nos dois ambientes.

4.1.4. Velocidade do vento

A análise da velocidade do vento de alguns dias permitiu estabelecer algumas relações para representar as variações deste elemento, bem como as resistências da cultura e da estrutura das estufas sobre o fluxo lateral do ar, no período de 29 DAT a 51 DAT, na primeira época.

A comparação entre as velocidades do vento a barlavento dentro dos ambientes de estufa em função da velocidade do vento fora das estufas, mostrou que a estufa sem tela

apresentou maior redução do que a estufa com tela. Esta diferença, não esperada, pode ser atribuída à posição de cada ambiente, em relação a obstáculos próximos às estufas, como outras estufas, árvores e construções. A posição de cada ambiente, em relação às outras estufas da estação experimental, determinou que o ambiente sem tela ficasse mais protegido e, assim, com maior redução do vento em relação à sua velocidade na estufa com tela.

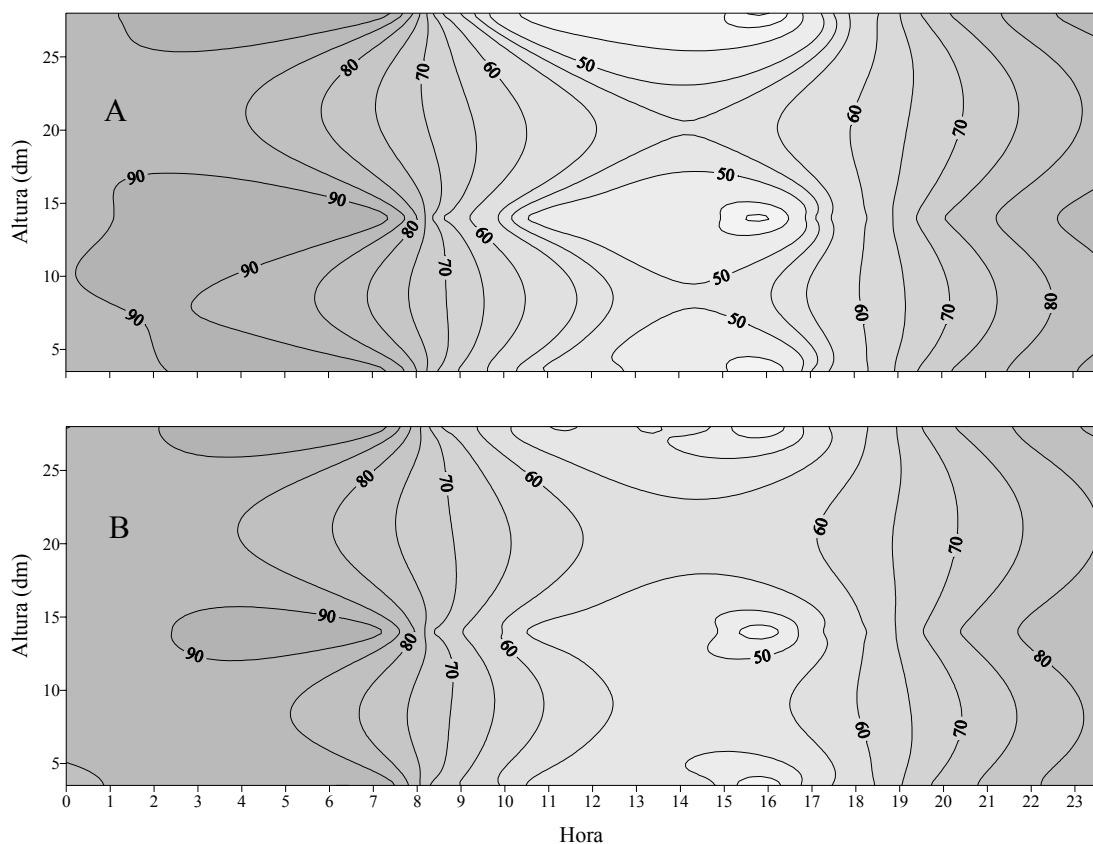


FIGURA 27 – Variação temporal da umidade relativa do ar (%) com a altura, na estufa (A) com tela anti-insetos (CT) e na (B) sem tela (ST), durante o dia 20 de fevereiro de 2000. Fepagro. Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

A Figura 28 mostra a maior redução do vento a barlavento na estufa sem tela, que se justifica pela presença de obstáculos, independentes deste modelo de estufa. A relação da velocidade do vento a barlavento e a sotavento, com a velocidade do vento externo às estufas, mostrou-se exponencial para a estufa com tela e linear para a sem tela. Wang et al

(1999) também encontraram relação linear entre a velocidade medida dentro e fora de estufa com ventilação zenital. O tipo de estufa usado por esses autores reduzia mais ainda a velocidade do vento no ambiente interno, já que a relação entre as velocidades do vento externo e interno variou entre 8 e 10 vezes. A determinação destas relações permitem verificar a redução de velocidade do vento dentro de cada ambiente.

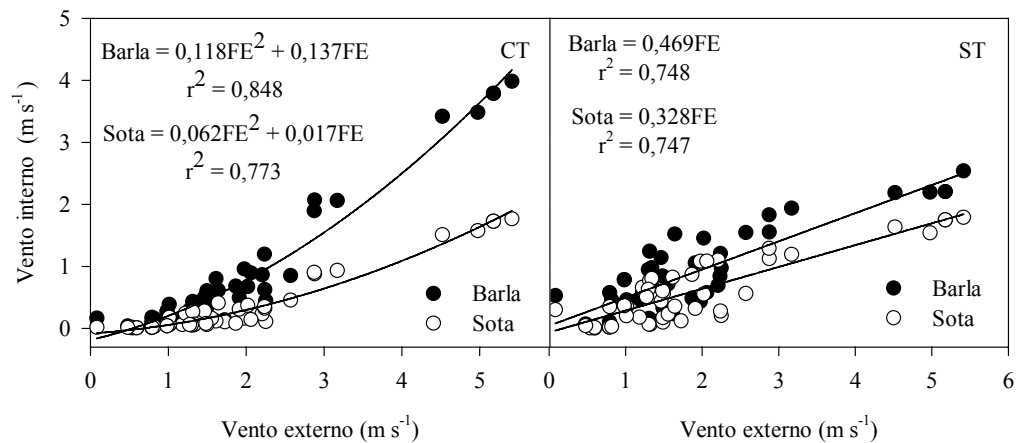


FIGURA 28 - Relação entre a velocidade do vento, medida a 2m acima do solo, a barlavento (Barla) e a sotavento (Sota) em estufas com (CT) e sem (ST) tela anti-insetos, com a velocidade do vento fora das estufas. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

A Figura 29 mostra que, em termos relativos, a redução do vento no ambiente com tela, é tanto maior quanto menor for a velocidade do vento. Desde calmaria até 5ms⁻¹, a redução é decrescente e exponencial, mas a partir deste valor, torna-se quase constante próxima a 2 vezes, ou seja, a velocidade do vento a barlavento é duas vezes maior do que a sotavento a partir de velocidades externas superiores a 5ms⁻¹. Na estufa sem tela a relação entre a entrada e a saída do vento foi constante e linear, ou seja, a velocidade do vento a barlavento foi 1,42 vezes maior do que a sotavento, independentemente da velocidade do vento. Estas relações mostram que a estufa usada no trabalho, com ventilação lateral, com e sem tela, e com largura de aproximadamente 10m, apresentou ventilação muito mais

eficiente do que àquelas somente com ventilação zenital, usadas no trabalho de Wang et al. (1999).

4.2. Elementos físicos ambientais derivados

4.2.1. Umidade absoluta do ar

Conforme Monteith & Unsworth (1990), a umidade absoluta (UA) ou densidade de vapor, que é expressa pela massa de vapor por unidade de volume do ar úmido, apresenta relação direta com a temperatura e possui a mesma variação da pressão de vapor. Este elemento físico permite avaliar a quantidade de vapor da atmosfera, independentemente de sua temperatura. Por este motivo, ele se torna útil para avaliar e comparar ambientes modificados expostos às mesmas condições atmosféricas, em determinado local.

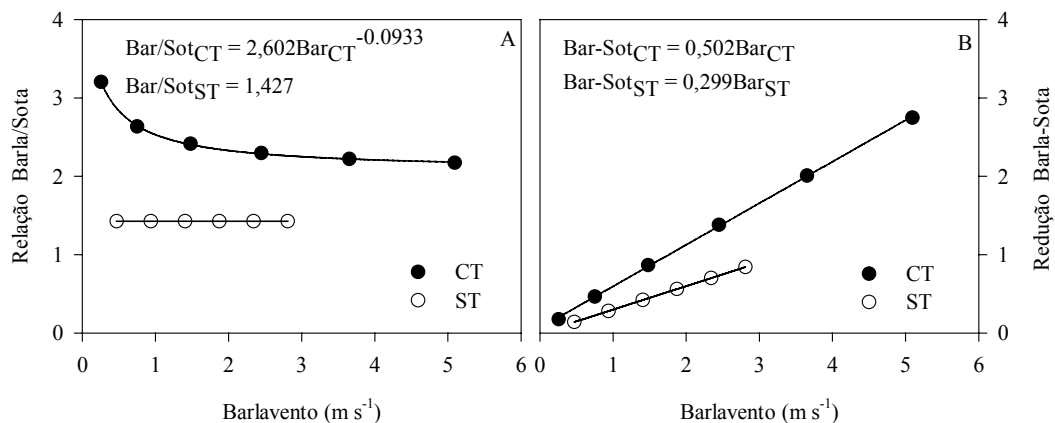


FIGURA 29 - Relação entre a redução da velocidade do vento, relativa (A) e absoluta (B) entre barlavento e sotavento, em função da velocidade do vento a barlavento, em estufas com (CT) e sem (ST) tela anti-insetos. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

Os resultados de UA mostram que nos períodos mais quentes a quantidade de vapor foi maior do que nos períodos mais frios. Assim, durante o verão houve UA mais elevada, a qual foi diminuindo à medida em que se aproximou o inverno (Figura 30). A variação deste elemento às 15h, em dias ensolarados, mostra que a quantidade de vapor variou desde próximo a 10 g m^{-3} , em dezembro, a 20 g m^{-3} em março, diminuindo para $8,5\text{ g m}^{-3}$ em

junho. Pela Figura 30 observa-se que a UA foi crescente ao longo da primeira época de cultivo do tomateiro e decrescente na segunda época, nos três ambientes, acompanhando as condições externas. Por sua vez, a diferença de UA entre os ambientes com tela e fora da estufa, nas duas épocas, foi crescente até atingir IAF máximo, próximo a 70 DAT, decrescendo a partir daí, acompanhando a redução de área foliar. A diferença entre os ambientes de estufa, com e sem tela, foi constante ao longo das duas épocas e variou entre 1 e 2 gm^{-3} a maior no ambiente com tela.

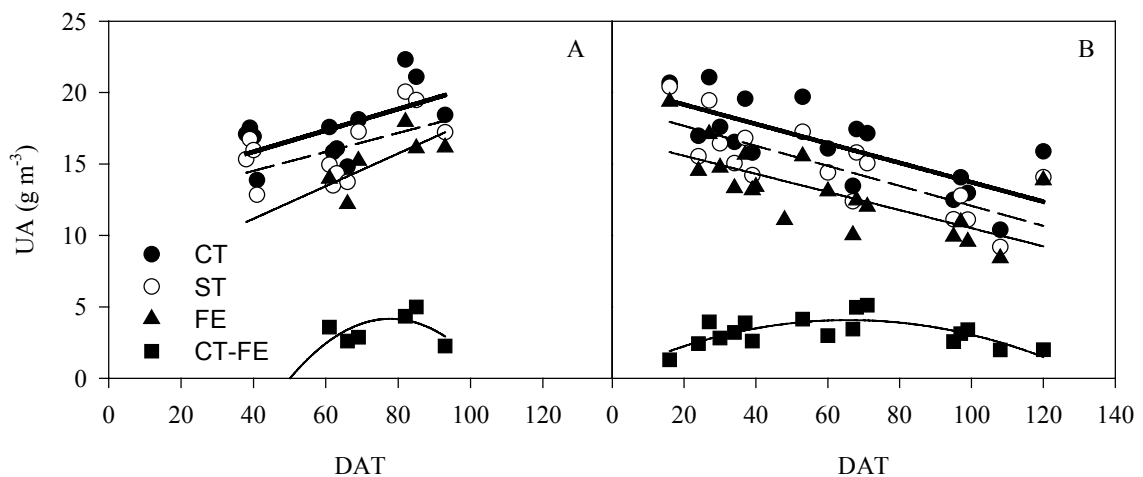


FIGURA 30 – Umidade absoluta (UA) média do ar em dias de alta insolação, ao longo da primeira (A) e da segunda (B) épocas de cultivo do tomateiro, nos ambientes de estufa com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (FE) e diferença de UA entre o ambiente (CT) e (FE), em função de dias após o transplante (DAT). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

Em geral foi durante a noite que ocorreram os maiores valores de umidade absoluta, que pode ser atribuído ao fechamento das cortinas, embora a variação diária não tenha sido grande. O mesmo foi verificado por Farias et al. (1994), com relação à pressão de vapor em estufas sem tela. Enquanto que em dias ensolarados, a amplitude foi de 10 a 20% do valor máximo diário, em dias de chuva, intercalada com períodos de sol, ocorreram as maiores variações, chegando a 30 % dos valores máximos (Figuras 31 e 32).

Comparando-se a umidade absoluta entre os três ambientes, verifica-se que o ambiente externo apresentou menor quantidade de vapor do que os ambientes de estufa, no período diurno. Esta característica pode ser observada em todas as alturas estudadas. A UA também foi maior junto às plantas (0,35m), o que pode ser atribuído ao fato das plantas e o solo serem a fonte de vapor, através da evapotranspiração (Figura 31).

Em alguns dias, houve a deposição de um filme de água nas plantas e no plástico. A evaporação desta água ocorreu na primeira hora do dia, mostrado na Figura 31, onde há um

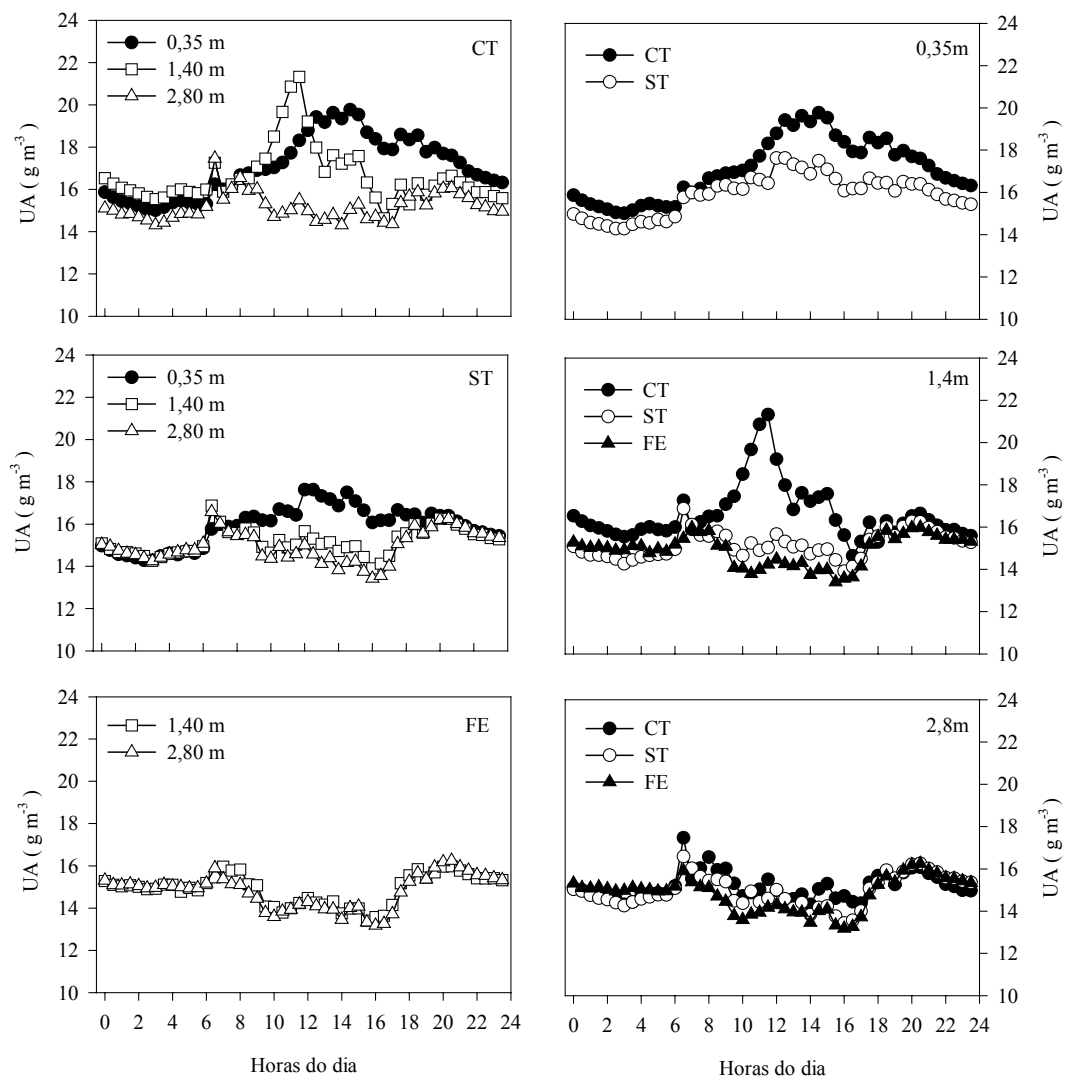


FIGURA 31 - Variação da umidade absoluta (UA), ao longo de um dia ensolarado (18/12/99), dia ensolarado medida a 1,40m acima do solo, nos ambientes de estufa com tela (CT) anti-insetos, sem tela (ST) e fora das estufas (FE) e variação diária da UA medida em três alturas (0,35, 1,40, 2,80m) nestes três ambientes. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

acréscimo súbito de UA, em torno das 6h. Este acréscimo ocorreu somente nas alturas de 1,40 e 2,80m acima do solo nos ambientes de estufa. Em alguns dias, este fenômeno também ocorreu fora das estufas junto à superfície das plantas (1,40m).

Em dias de baixa nebulosidade, a UA foi maior no ambiente com tela, no qual, a restrição da ventilação juntamente com a evapotranspiração interna, aumentou da pressão de vapor. Assim como nos dias nos nublados, foi comum que a variação de UA não fosse muito grande, principalmente nas alturas 0,35 e 2,80 (Figura 31).

Por outro lado, em dias parcialmente chuvosos, houve uma grande variação da UA devido aos períodos de sol intercalados com chuvas. Entre dois períodos de chuva, com a presença de radiação direta, imediatamente aumentou a UA até o momento de abertura das cortinas laterais. A Figura 32 mostra que, após a elevação da disponibilidade de radiação, ocorrida depois das 12h, houve queda da UA dentro dos ambientes protegidos para valores próximos ao ambiente externo.

Nos dias totalmente chuvosos e com alta nebulosidade, a variabilidade da umidade absoluta foi pequena, a não ser quando havia necessidade de fechamento das cortinas, que aumentava a quantidade de vapor dentro do ambiente de estufa, devido a este manejo das aberturas, o que elevou a UA.

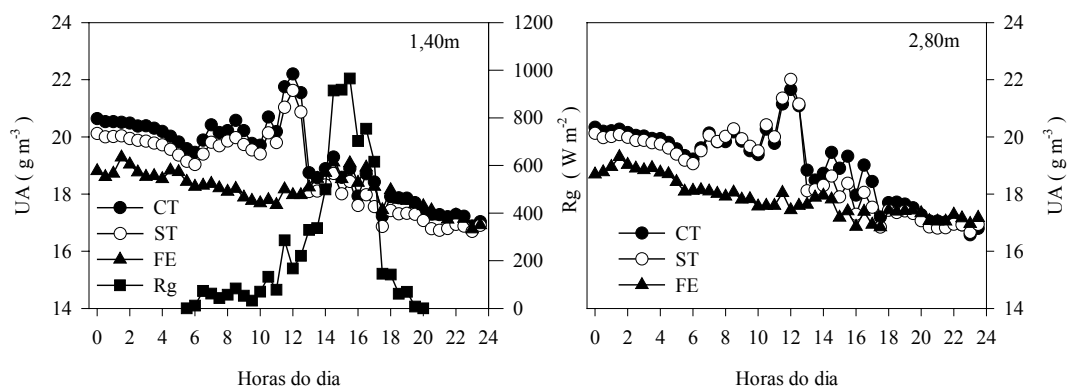


FIGURA 32 – Umidade absoluta (UA) do ar ao longo de um dia chuvoso (03/12/1999), nas alturas 1,40 (A) e 2,80m (B), nos ambiente fora da estufa (FE), na estufa com (CT) e na sem (ST) tela anti-insetos, e radiação solar global incidente (Rg). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

4.2.2. Déficit de saturação de vapor d'água

O déficit de pressão de vapor d'água ou, simplesmente déficit de saturação (DS) é uma variável que indica o poder de secagem do ar, e se relaciona com taxas de crescimento e transpiração das plantas (Monteith & Unsworth, 1990).

Grange & Hand (1987) citam que este parâmetro é, provavelmente, o mais útil em horticultura, pois ajuda na interpretação de como o vapor se movimenta no sistema. Assim, o vapor se desloca de altas pressões para as baixas, e as taxas de transferência são proporcionais às diferenças de pressão de vapor entre os pontos. Os autores citam, ainda, que a perda de água pelas plantas é governada pelo gradiente de pressão de vapor entre folha e o ar (DPV), que depende do déficit de saturação. Para Baille et al. (1994) existe uma relação entre o déficit de saturação e a transpiração das plantas submetidas a determinadas intensidades de radiação global dentro das estufas plásticas.

O déficit de saturação (DS), de maneira diferente da UA, apresenta grande variação ao longo do dia. Os valores próximos a zero, nos três ambientes, ocorreram durante a noite, enquanto que, durante o período diurno, com baixa nebulosidade, chegaram a atingir 3kPa, verificado também por Farias et al. (1994) e por Montero et al (2001). Porém o DS decresceu à medida em que a disponibilidade de radiação diária se reduziu, até valores próximos a 1kPa em dias chuvosos (Figura 33).

Este elemento físico também sofreu influência do aumento do IAF ao longo do ciclo devido ao conseqüente aumento da quantidade de vapor, gerado pela evapotranspiração dentro dos ambientes protegidos. No início do ciclo da cultura, o DS dos ambientes com e sem tela tendeu a ser maior do que fora. Mas, à medida em que avançou o ciclo da cultura, principalmente relacionado com maior área foliar, o DS tendeu a ser menor dentro dos ambientes protegidos. Este comportamento pode ser observado, principalmente, nos dois níveis mais baixos (Figura 33).

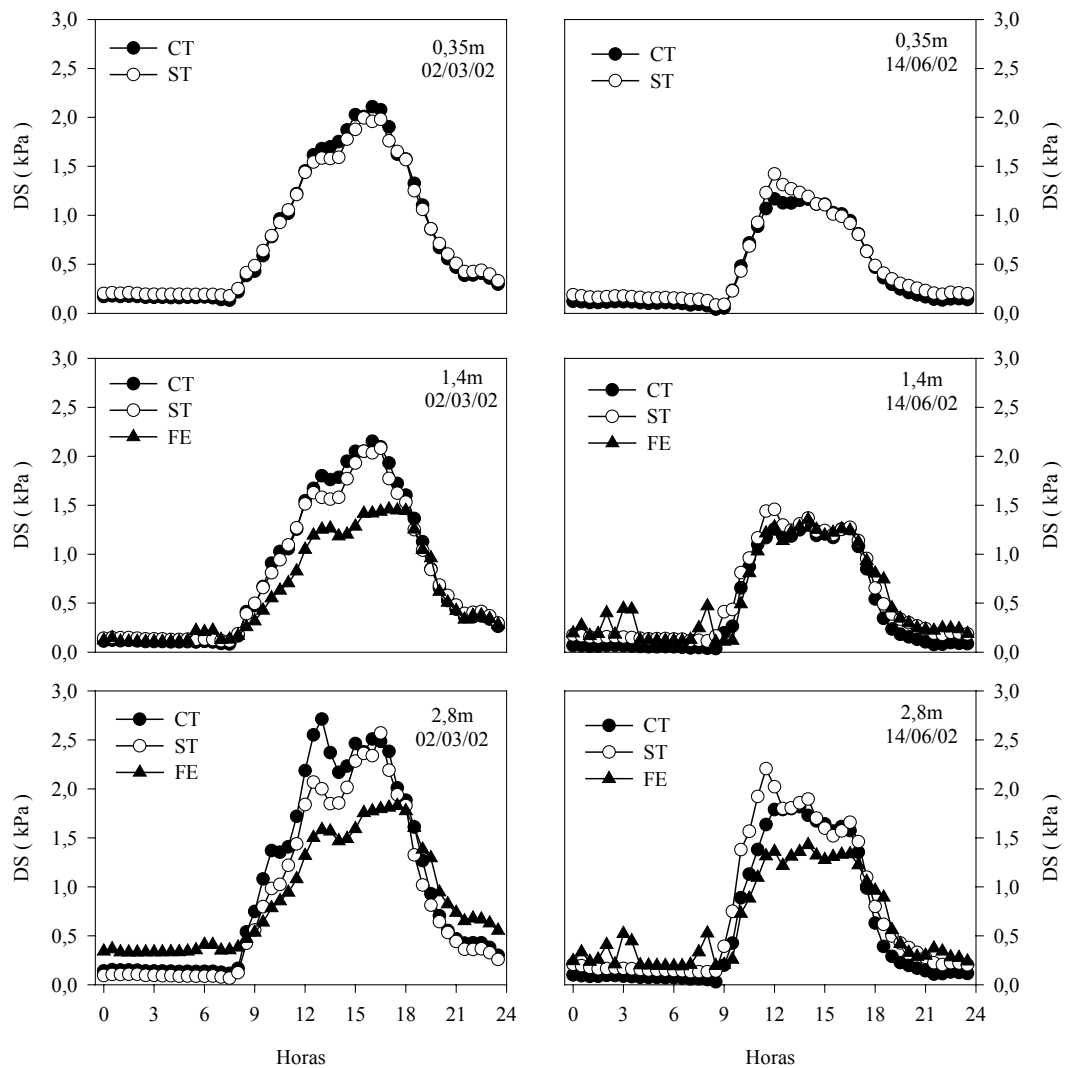


FIGURA 33 - Variação do déficit de saturação (DS) ao longo de dois dias ensolarados, no início (02/03/02) e no fim (14/06/02) da segunda época de cultivo do tomateiro, nos ambientes de estufa com tela (CT) anti-insetos, sem tela (ST) e fora da estufa (FE) e em três alturas (0,35, 1,40 e 2,80m). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

Nos dias de alta disponibilidade de radiação, e durante o período diurno, ocorreram as maiores diferenças de déficit de saturação entre os ambientes e entre as diferentes alturas. No início do ciclo, os maiores déficits ocorrem a 2,80m, sendo mais baixos e semelhantes nas outras duas alturas. Entre os ambientes, o déficit esteve associado ao desenvolvimento da área foliar. Os valores abaixo de 0,5kPa, no período noturno, não mostram relação com o desenvolvimento das plantas. O aumento da UA produz efeito sobre o DS, numa relação inversa entre estes dois elementos. Os valores ocorridos no

início do ciclo, acima de 1,5 kPa, são críticos para a resistência estomática, segundo Baille et al. (1994), aumentando-a de forma significativa.

Em dias nublados os valores do DS foram baixos, na segunda época, com valores máximos próximos a 0,80 Kpa, na altura de 1,40m acima do solo, e sem diferenças entre os ambientes. Porém, foram mais elevados no primeiro ciclo, com valores máximos próximos a 1 KPa (Figura 34). Isto pode ser atribuído à maior temperatura existente neste período, causando menor umidade relativa e déficits de saturação mais elevados.

Durante noites de chuva, houve maiores valores de DS fora das estufas, o que pode ser devido, principalmente, ao fechamento das cortinas e à conseqüente elevação da concentração de umidade. Ao amanhecer, os valores de DS dos vários ambientes tenderam a se igualar, com abertura das cortinas (Figura 34).

Para Baille et al.(1994) a limitação de transpiração das plantas provoca redução na umidade do ar dentro das estufas, por ser a principal fonte de vapor d'água para as estufas. Os autores recomendam que em períodos muito secos a única maneira de aumentar e manter um nível conveniente de umidade no ar é a utilização de uma fonte adicional, como vaporização do ambiente.

4.2.3. Potencial da água na atmosfera

Como o potencial da água na atmosfera (Ψ_{atm}) é função da temperatura e da umidade relativa do ar, sua variação é semelhante ao DS, porém inversa já que os valores de potencial da água na atmosfera são sempre negativos.

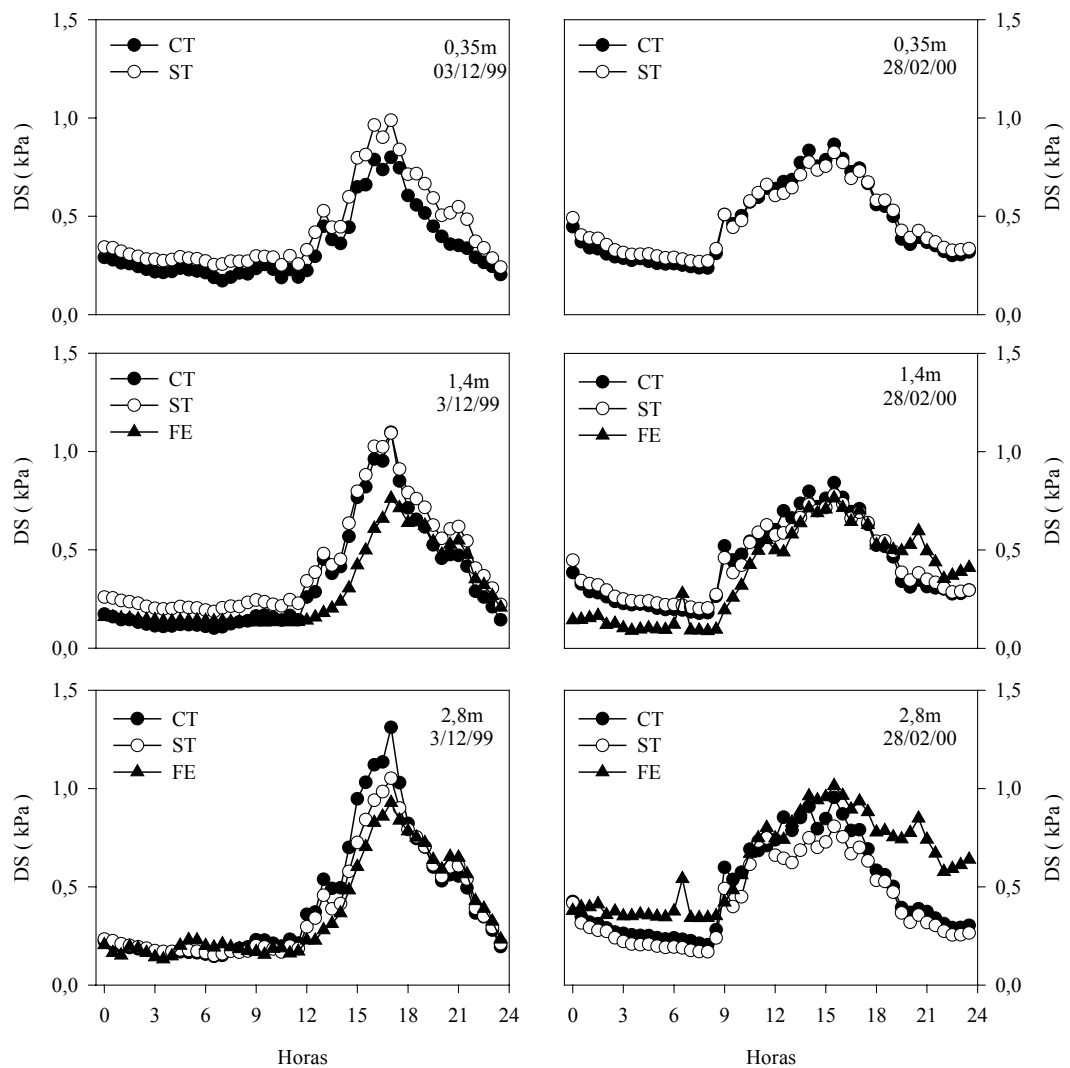


FIGURA 34 - Déficit de saturação do ar (DS) em estufas ao longo de dois dias de chuva (03/12/1999 e 28/12/2000), nas três alturas (0,35, 1,40 e 2,80m) e em ambientes de estufa com tela (CT) anti-insetos, sem tela (ST) e fora da estufa (FE). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

Junto ao dossel vegetativo os potenciais foram mais elevados em quaisquer condições de tempo, sendo sempre maiores no ambiente com tela do que sem tela. Nesta mesma altura (0,35m) durante o período noturno, foi onde ocorreram os maiores potenciais, próximos a -1MPa, nos ambientes de estufas. Na mesma posição, porém no período diurno, as diferenças de potencial acompanharam o desenvolvimento da área foliar, sendo que o ambiente com tela teve potenciais mais elevados do que o ambiente sem tela. Os valores diários, que chegaram a -11MPa na estufa sem tela, não atingem à -8MPa

na estufa com tela, no início do ciclo cultural. Com área foliar maior, as diferenças de potencial da água na atmosfera dos dois ambientes, desapareceram, o qual ficou próximo a -4MPa , naquela época mais fria e úmida.

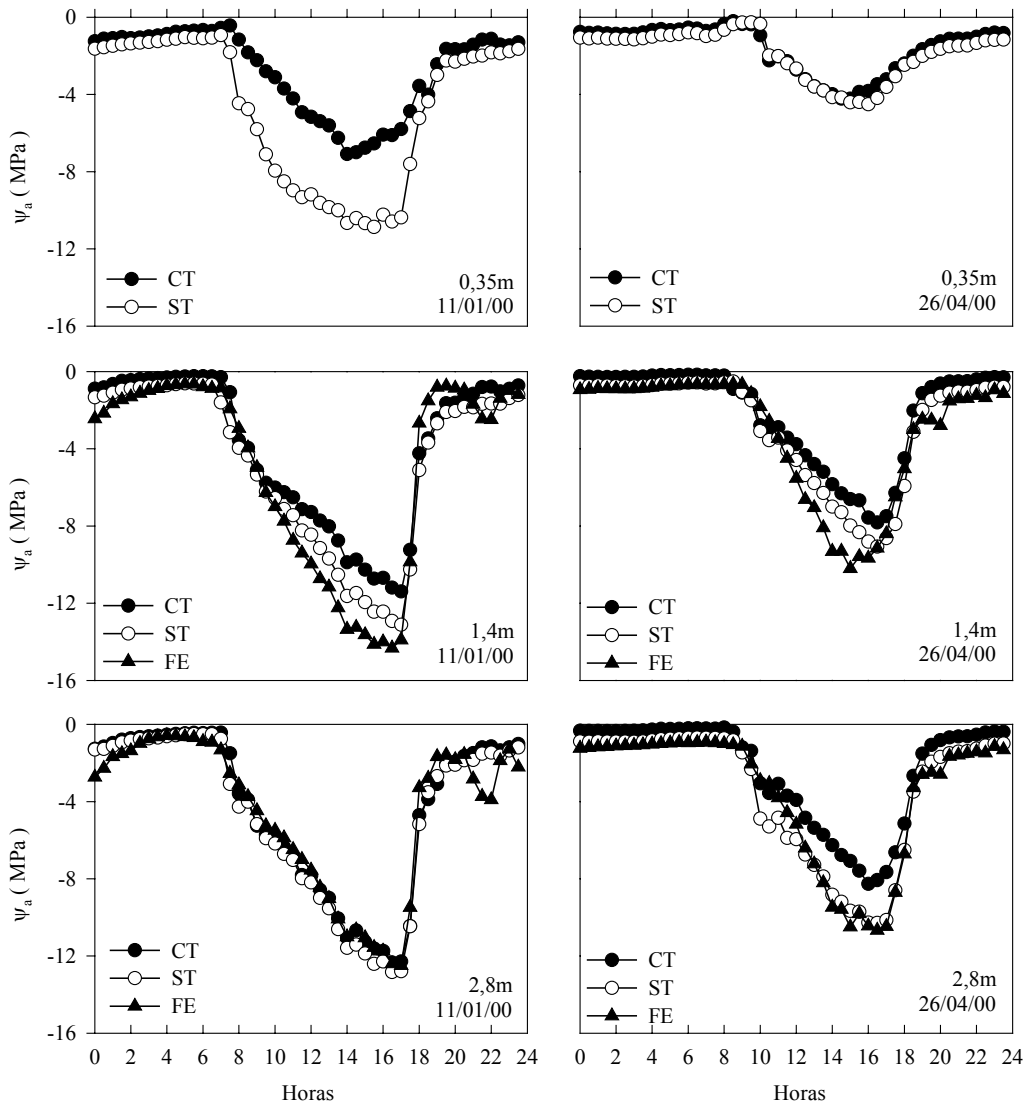


FIGURA 35– Potencial da água na atmosfera em três alturas (0,35, 1,40, 2,80m), nos ambientes de estufa plástica com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora das estufas (FE) ao longo de dias ensolarados, no início (11/01/2000) e no fim (26/04/2000) do ciclo do tomateiro. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

No início do ciclo da cultura, observa-se que o potencial da água na atmosfera diminui (torna-se mais negativo) e as diferenças de potencial entre os três ambientes

tendem a desaparecer, a medida que o ponto de medida se afasta do solo. Mesmo sem a forte influência da área foliar, o ambiente com tela apresenta os maiores potenciais até o nível de 1,40m. Com a presença de grande área foliar, o nível de 0,35m não apresenta diferença de potencial entre os ambientes de estufa, porém acima deste nível se observa a influência da tela no potencial da água na atmosfera até junto ao plástico de cobertura (Figura 35).

No segundo ciclo, que foi um período mais frio, os potenciais, a partir da altura 0,35m, iniciaram a se diferenciar às 11h e se mantiveram assim até próximo às 17h, porém com valores mínimos maiores do que na outra época (-8,-9,-10 MPa nos ambientes, com e sem tela e fora da estufa, respectivamente)(Figura 35). Em dias nublados e chuvosos, os valores de Ψ_{atm} foram altos, sendo determinados pela disponibilidade de radiação. Nos períodos chuvosos de verão houve muita variabilidade horária, dependendo da radiação e do manejo das cortinas. Em dias nublados, também a variação de Ψ_{atm} dependeu da quantidade de radiação incidente, chegando a potenciais de até -10MPa.

Normalmente na altura de 2,80m acima do solo, nos ambientes sem tela, o potencial é mais baixo do que nas demais alturas, chegando a ser 0,5MPa mais baixo, o que mostra a existência de uma variação de potencial decrescente desde o dossel de plantas até os níveis mais altos. Nesta altura, o potencial do ambiente fora da estufa tende a ser igual ou inferior aos ambientes protegidos, no período em que as plantas apresentaram grande área foliar.

4.3. Respostas das plantas às modificações do ambiente

Vários são os determinações que permitem o acompanhamento do crescimento e desenvolvimento das plantas. Hunt (1978) cita que mudanças de forma, tamanho e número são fortemente relacionados com crescimento, embora seja porém é difícil sua definição precisa porque qualquer destes termos pode ser aplicado a estudos quantitativos da

performance das plantas. Segundo Salisbury & Ross (1994), o critério fundamental de crescimento é o aumento em tamanho.

4.3.1. Altura da planta

O crescimento das plantas, em altura, nos três ambientes, esta representado na Figura 36.

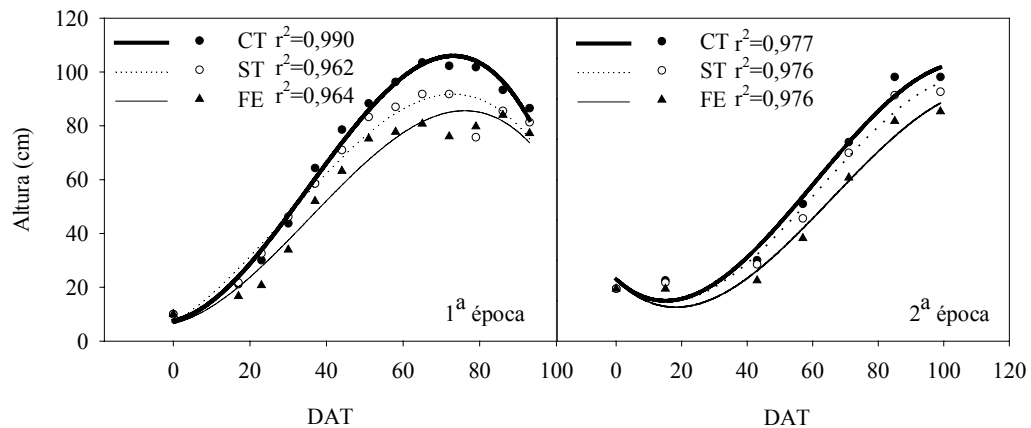


FIGURA 36 - Altura de plantas de tomateiro durante duas épocas de cultivo, em função de dias após o transplante (DAT) nos ambientes de estufa plástica com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (FE). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

O crescimento das plantas se ajusta, nas duas épocas, a uma função sigmóide. Este comportamento apresentado pela cultura foi o mesmo nos três ambientes e nas duas épocas. Porém, a altura máxima foi diferente entre os ambientes dentro de cada época, e foi atingida em diferentes etapas do ciclo, nas duas épocas de cultivo. Na comparação de épocas de cultivo as plantas do segundo ciclo se apresentaram um pouco mais altas, provavelmente devido à menor carga de frutos e à redução de radiação global do período, mesmo sem atingirem o crescimento máximo. A redução da temperatura, da metade para o fim do ciclo, pode ter sido a causa da redução do crescimento de frutos e de fecundação de

novas flores, fazendo com que o ciclo se encerrasse antes do seu potencial de produção. A baixa disponibilidade de radiação também é citada por Mastalerz (1977), ao afirmar que, plantas cultivadas em alta disponibilidade de radiação solar apresentam altura menor do que as cultivadas em ambientes de radiação reduzida.

Francescangeli et al. (1994) verificaram que a redução de 20% da radiação global incidente sobre a cultura, em estufas plásticas, promoveu aumento da altura da planta, do número de folhas, de ráculos florais e do número de flores, mas com pequena redução de produtividade.

Um dos motivos de redução da altura verificado por Saha & Hara (1998), é o estresse hídrico, sendo que, um pequeno estresse hídrico é suficiente para determinar reduções significativas na altura da planta de tomateiro. Neumann et al. (1988) afirmam que reduções de apenas $-0,1\text{MPa}$ no potencial da água na planta provoca redução do crescimento celular. Nonami et al. (1997) reforçam a posição dos autores anteriores, afirmando que a queda de potencial da água nos tecidos das plantas, tem como causa imediata a inibição de crescimento que pode ocorrer minutos após a redução do potencial da água no substrato onde se encontram as raízes.

Pela variação da altura verifica-se que, sob condições adequadas, a cultura apresentou a taxa máxima de crescimento mais próxima ao dia do transplante. Assim, na primeira época as plantas apresentaram taxa máxima de variação, em altura, entre 25 e 50 dias após o transplante (DAT), enquanto que na segunda época elas apresentaram taxas máximas entre 50 DAT e 75 DAT (Figura 37).

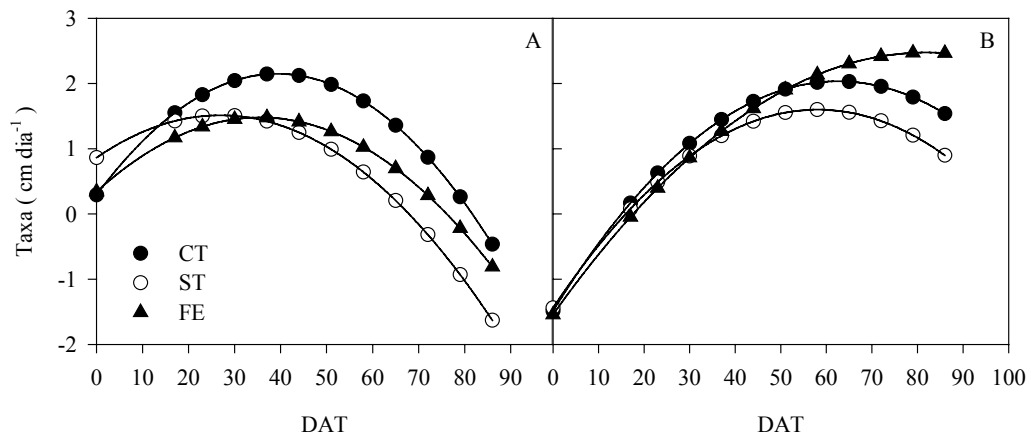


FIGURA 37 - Taxa de variação da altura em tomateiro, em função de dias após o transplante (DAT), em estufa com tela anti-insetos (CT) sem tela (ST) e fora das estufas (FE), na primeira (A) e segunda (B) época de cultivo. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

Na primeira época de cultivo (Figura 37) as curvas das taxas de variação da altura apresentaram a mesma tendência, mostrando que as plantas se desenvolveram de maneira similar, variando somente seus valores absolutos, demonstrando que aquelas em ambiente com tela tiveram taxas maiores do que as dos outros ambientes. As taxas máximas de variação da altura ocorreram antes no ambiente sem tela, o que pode ser atribuído a problemas de polinização de flores no ambiente com tela, retardando a produção de frutos e, por conseqüência, aumentando o período de crescimento, devido à menor quantidade de drenos fortes de fotossintatos, que são os frutos. Isto pode ter causado desequilíbrio na planta, incentivando o crescimento.

Na segunda época (Figura 37), a variação da altura das plantas do ambiente fora da estufa apresentou curva com formato diferente das demais, associado à queda de folhas ocasionada, principalmente, pelo aparecimento de moléstias foliares. Houve redução drástica da área foliar, seguida de aumento na taxa de crescimento no fim do ciclo. Conforme Percy et al. (1987), o desfolhamento pode causar aumento na atividade fotossintética das folhas remanescentes, o que parece estar de acordo com os valores da

taxa assimilatória líquida obtidos ao fim dos ciclos das plantas de fora da estufa, mostrado na Figura 57.

4.3.2. Desenvolvimento foliar

4.3.2.1. Área foliar por planta

A evolução da área foliar, nos diversos ambientes e nas duas épocas de cultivo, apresentou padrão semelhante (Figura 38). As plantas cultivadas no ambiente com tela sempre tiveram maior área foliar, a partir de 15 DAT. As plantas do ambiente sem tela sempre apresentaram área foliar intermediária, enquanto que àquelas do ambiente fora da estufa tiveram a menor área foliar (Figura 38).

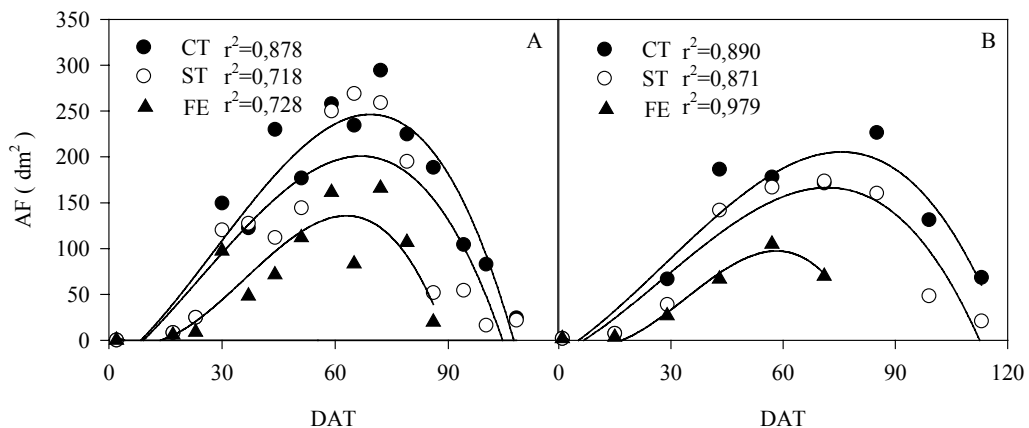


FIGURA 38 - Área foliar por planta de tomateiro, cultivado na primeira (A) e segunda (B) épocas de cultivo, em estufa com tela (CT) sem tela (ST) e fora da estufa (FE), em função de dias após o transplante (DAT). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

Considerando como máxima a área foliar do ambiente com tela, na primeira época, a redução foi de aproximadamente 20% no tratamento sem tela e de 45% no ambiente fora da estufa e na segunda foi de 17 e 42% respectivamente. A redução de área foliar da segunda para a primeira época foi de 18, 15 e 24% para os ambientes com tela, sem tela exterior, respectivamente. Mastalerz (1977) cita que plantas cultivadas em alta disponibilidade de radiação solar apresentam como característica, folhas mais grossas e

área foliar menor do que as sombreadas, o que concordam Lambers et al. (1998). Cockshull et al. (1992) também verificaram que reduções de radiação incidente de 6 e 24% promoveram acréscimos de 22 e 48% na área foliar das plantas cultivadas em estufas.

A redução de área foliar da primeira para a segunda época deveu-se não a aumento de radiação, visto que houve redução, mas sim a menores taxas de variação da área foliar, mostradas na Figura 43, provavelmente determinadas por menores temperaturas ocorridas próximo aos 30 DAT.

Plantas sob estresse também apresentam, como característica, a redução de sua área foliar. Costa et al. (1997a), mostram que plantas de *Vicia faba L.* sem irrigação reduziram seu índice área de foliar em 67%.

A maior área foliar na primeira época de cultivo se refletiu na diferença de taxa de variação da área foliar das plantas dos vários ambientes (Figura 39). As taxas de variação nos ambientes com e sem tela, sempre foram maiores do que o ambiente externo, apesar das diferenças se reduzirem durante 15 e 60 DAT, nas duas épocas de cultivo. O ambiente com tela apresentou taxas negativas maiores (mais negativas), do que sem tela, somente no fim da primeira época. Estas taxas negativas significam que a redução de área foliar no ambiente com tela era mais rápida do que sem tela, porém sempre menores que a redução ocorrida nas plantas de fora da estufa. Segundo Reich et al. (1991) a longevidade das folhas de plantas tolerantes à sombra tende a ser maior, com o objetivo de aumentar o seu potencial fotossintético.

As plantas do ambiente fora da estufa sempre apresentaram taxa de variação menor do que os outros ambientes, com diferenças crescentes ao longo de todo o ciclo e nas duas épocas de cultivo (Figura 39).

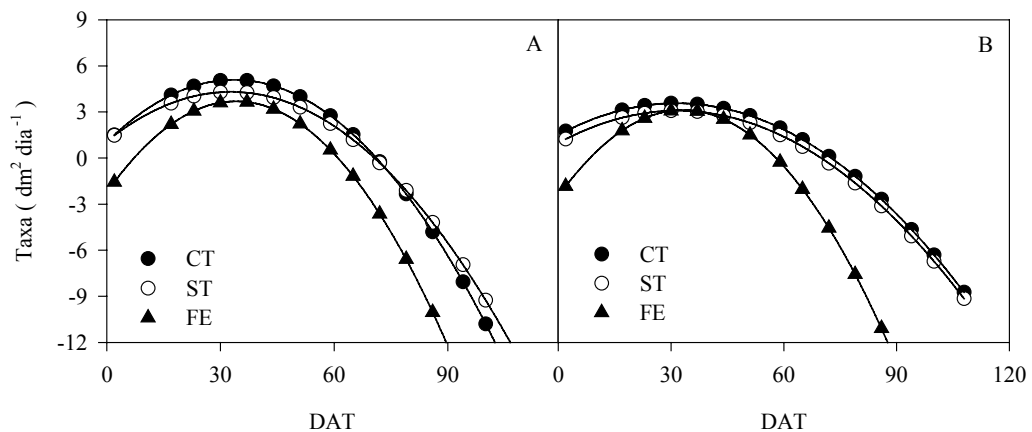


FIGURA 39 - Taxas de variação da área foliar do tomateiro, na primeira (A) e na segunda (B) épocas de cultivo, em estufa com tela (CT), sem tela (ST) e fora das estufas (FE), em função de dias após o transplante (DAT). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

As taxas máximas de variação da área foliar, nos três ambientes e nas duas épocas de cultivos, sempre aconteceram próximo aos 40 DAT, que correspondem ao início da colheita de frutos. Por outro lado, a redução da área foliar (taxas negativas) iniciaram quando houve aumento na colheita de frutos, próximo aos 70 DAT nas estufas e aos 60 DAT fora delas.

Comparando as duas épocas dentro de cada tratamento, observa-se que as taxas de variação da área foliar foram semelhantes. No ambiente fora da estufa, as plantas tiveram taxas semelhantes nos dois ciclos, mostrado pela coincidência das duas curvas (Figura 39). Nos outros dois ambientes, o primeiro ciclo apresentou taxas maiores desde o transplante até 70 DAT, quando tiveram inversão, passando as do primeiro ciclo a apresentarem taxas mais negativas do que as do segundo. Aparentemente, as tendências se devem às temperaturas de cada período que, sendo maiores no fim do primeiro do que no fim do segundo ciclo, proporcionaram crescimento mais rápido da área foliar e antecipação na maturação dos frutos, fazendo com que as plantas entrassem mais rapidamente em senescência, além da mudança da disponibilidade de radiação do período.

O aumento da área foliar é característica de plantas sombreadas, que com mudanças morfológicas, como aumento da área foliar específica, tornam-se mais adaptadas a nova condição ambiental, visando não reduzir em muito a produção de biomassa ocasionada pela redução da radiação.

Outra justificativa para o maior desenvolvimento de área foliar das plantas da estufa é o efeito da proteção do vento, pois a redução exercida pelo filme plástico ou pela tela, deve provocar modificações morfológicas na planta pois, o efeito da redução dos danos exercidos pelo vento, vibrações e chuva, chamado tigmomorfogênese, modifica a fisiologia e a morfologia das plantas. Lambers et al. (1998), citam que pastagens expostas ao vento de 8 m s^{-1} , quando comparadas com outras expostas a ventos de 1 m s^{-1} , reduziram a taxa de crescimento das folhas em 25%. Os autores, ainda dizem que plantas expostas ao vento são menos folhosas e possuem folhas menores, ou seja menor área foliar.

4.3.2.2. Índice de área foliar

Os IAF máximos, na primeira época, foram 5,2, 5,4 e 3,2 e de 4,5, 3,5 e 2,1 na segunda época, para os ambientes com tela, sem tela e fora da estufa, respectivamente. Ressalta-se que, para cálculo deste índice, considerou-se que a área ocupada por cada planta foi de $0,5\text{ m}^2$.

4.3.2.3. Área foliar específica

A área foliar específica (AFE) do tomateiro teve dois padrões de variação diferentes conforme a época de cultivo, o que pode ser observado na Figura 40. Na primeira, dentro dos ambientes de estufa, os valores foram decrescentes desde o início do ciclo até o final. Fora da estufa os valores de AFE se comportaram da mesma maneira, porém com valores menores ao longo de todo o ciclo. Os valores da AFE, que no início do ciclo foram

próximos a $300\text{cm}^2\text{ g}^{-1}$ para as plantas da estufa e $200\text{cm}^2\text{ g}^{-1}$ para as de fora, no fim do ciclo foram $20\text{cm}^2\text{ g}^{-1}$ nos três ambientes.

Na segunda época, os valores de AFE das plantas da estufa foram $300\text{cm}^2\text{ g}^{-1}$ no início do ciclo e, a partir de 40 DAT, estabilizaram em torno de $200\text{cm}^2\text{ g}^{-1}$ até o fim do ciclo. As plantas de fora apresentaram uma redução do valor da AFE até 40 DAT (de 300 para $120\text{cm}^2\text{ g}^{-1}$) e, a partir daí mantiveram valores semelhantes aos das plantas dos outros ambientes até o fim do ciclo (Figura 40).

A menor AFE pode ser devida a uma condição de estresse apresentada pelas plantas de fora da estufa durante a primeira época e até 40 DAT na segunda, quando a demanda hídrica da atmosfera era maior. Conforme Pereira (1995), o déficit hídrico aumenta a matéria seca da planta por unidade de área foliar, reduzindo a área foliar específica. Li & Stanghellini (2001) também verificaram esta ocorrência de redução da AFE em plantas cultivadas em solução hidropônica com alta condutividade elétrica, ou seja, com potencial da água mais baixo.

A disponibilidade de radiação também provoca modificações na AFE, o que foi observado por Bergamaschi (1988), que verificou redução deste parâmetro com aumento de radiação. Boardmann (1977) também cita que a maior disponibilidade de radiação solar provoca aumento na espessura da folha, o que influi na AFE.

A queda dos valores de AFE do início até o fim do ciclo pode ser explicada pelo envelhecimento das folhas (Charles-Edwards et al., 1986), que acumulam material estrutural e amido nos cloroplastos com o avanço do ciclo cultural. O comportamento diferente durante o ciclo da cultura pode ser explicado pela variação na demanda total de assimilados. Conforme Bertin & Gary (1998), a redução no número de drenos (no caso os frutos) provoca alterações na AFE das folhas do tomateiro, em consequência da variação dos níveis de amido e hexose nas folhas (Hommond et al., 1984). A primeira mudança no

balanço de assimilados ocorre quando aparecem os primeiros frutos que, sendo prioritários como drenos, modificam a morfologia das folhas. A segunda seria quando não ocorre fecundação de novas flores, cessando a produção de novos frutos, causada por condições exógenas à planta, como temperaturas desfavoráveis ou falta de agentes polinizadores, assim como endógenas, como excesso de flores e frutos. Estas duas mudanças delimitam a parte central do ciclo, quando a planta mantém sua AFE constante.

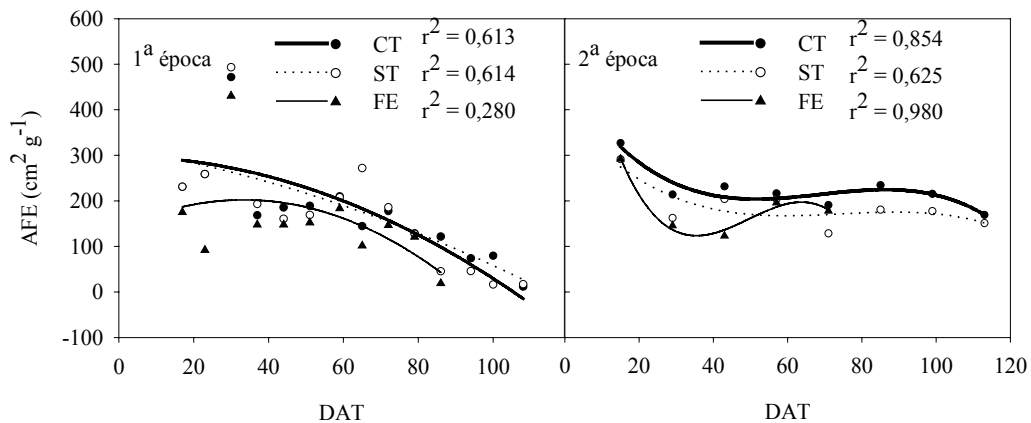


FIGURA 40 - Variação da área foliar específica ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) de tomateiro cultivado em estufa com tela anti-insetos (CT) sem tela (ST) e fora das estufas (FE), em função de dias após o transplante (DAT), em duas épocas de cultivo. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

4.3.3. Acúmulo de matéria seca

4.3.3.1. Raízes

A biomassa da parte principal do sistema radicular apresentou padrão de variação semelhante nos três ambientes e nas duas épocas de cultivo (Figura 41). Houve tendência das plantas do ambiente com tela apresentarem massa de raízes maior do que àquelas dos outros ambientes. As plantas do ambiente fora da estufa foram as que apresentaram a menor massa de raízes, principalmente na primeira época, a partir de 40 DAT.

Na segunda época, a massa de raízes das plantas dos ambientes sem tela e fora da estufa não se diferenciaram nitidamente até 60 DAT, enquanto que aquela das plantas do

ambiente com tela apresentou maior biomassa e maiores diferenças das plantas do que na primeira época (Figura 41).

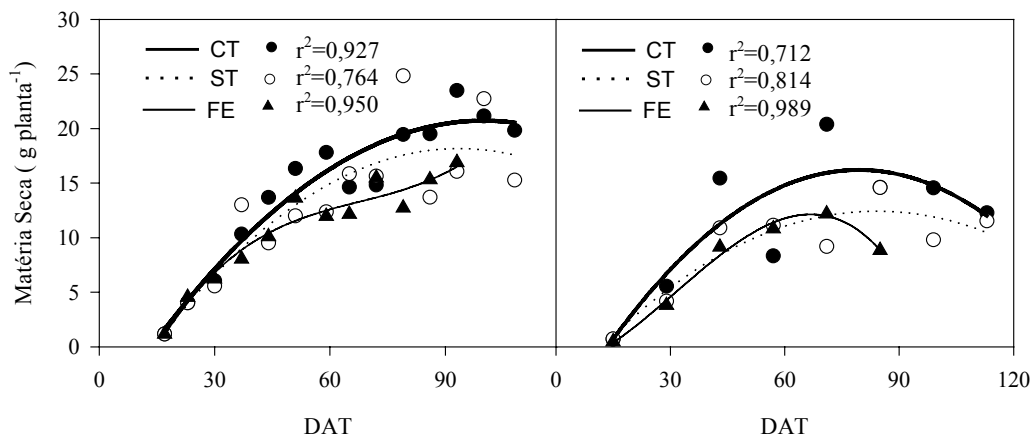


FIGURA 41 - Variação da massa de matéria seca de raízes de tomateiro cultivado em ambiente de estufa com tela anti-insetos (CT) sem tela (ST) e fora das estufas, em função de dias após o transplante (DAT). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

A massa do sistema radicular das plantas foi maior na primeira época do que na segunda, nos três ambientes. A menor massa de raízes, observada na segunda época, foi proporcional menor produção de massa da planta nesta época. Esta proporcionalidade que pode ser observada na razão raiz/parte aérea apresentada pelas plantas (Figura 42), é chamada de balanço dinâmico por Larcher (2000) e é consequência de um sistema regulatório morfogenético que assegura o suprimento de substâncias minerais e um balanço hídrico favorável, efetivado pelos sinais hormonais provenientes das raízes. O equilíbrio desta relação deu-se aos 60 DAT e é igual a 0,025. No início do ciclo este valor foi maior, mostrando que a planta investiu mais na aquisição de água e nutrientes neste período.

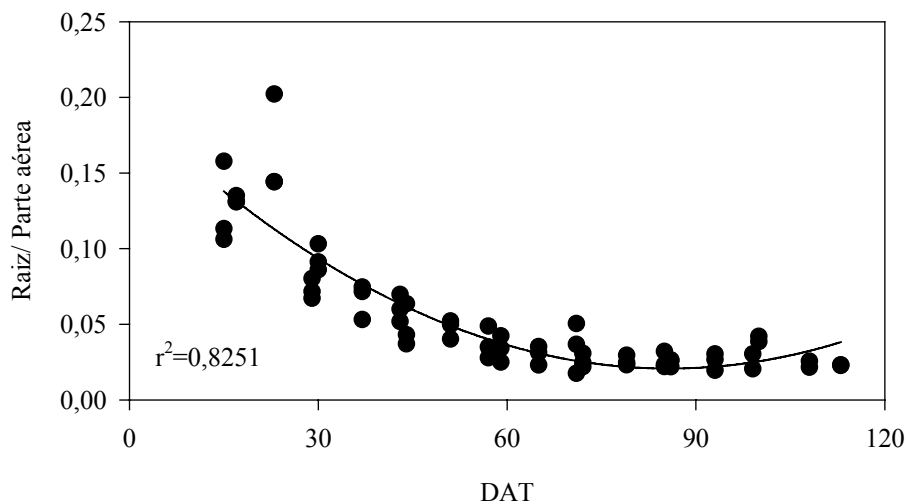


FIGURA 42 - Variação da razão entre a biomassa de raízes e da parte aérea de tomateiro cultivado em ambiente de estufa com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora das estufas, em função de dias após o transplante (DAT). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

4.3.3.2. Caules

A evolução da massa de matéria seca do caule, nos três ambientes, apresentou padrão diferente nas duas épocas de cultivo (Figura 43). O crescimento do caule nos ambientes com e sem tela teve uma redução da primeira para a segunda época de cultivo, de forma semelhante ao crescimento da área foliar, mas diferente da altura de planta, já que houve altura maior na segunda época, mesmo com área foliar menor. Por outro lado, as plantas do ambiente de fora da estufa mantiveram a mesma massa de caules nas duas épocas. Portanto, se for mantido o mesmo número de ramificações e folhas e a mesma densidade dos seus tecidos, os caules das plantas das estufas, na segunda época, se apresentaram mais finos do que os da primeira época. Isto se deve a redução de radiação ocorrida na segunda época pois, de acordo com Mastalerz, (1977), plantas cultivadas em baixa radiação solar apresentam caules mais finos, como uma de suas características.

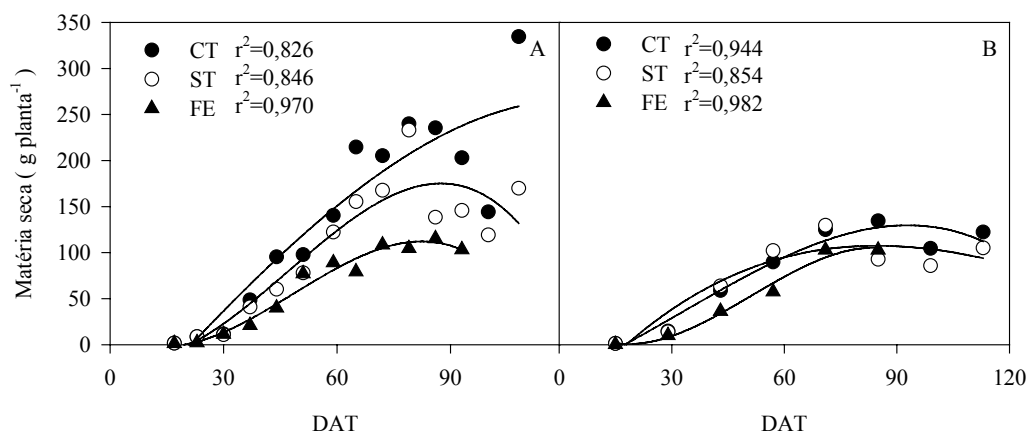


FIGURA 43 - Variação da massa de matéria seca de caules de tomateiro cultivado em ambientes de estufa com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora das estufas, em função dos dias após o transplante (DAT). Fepagro. Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

4.3.3.3. Folhas

A Figura 44 mostra que a evolução da massa de matéria seca de folhas de tomateiro, nas duas épocas e nos três ambientes, apresentou padrão semelhante, porém, pequenas diferenças entre tratamentos. Na primeira época, há diferenças entre os três ambientes, mostrando que a biomassa de folhas do ambiente com tela sempre foi superior aos demais e que a do ambiente fora da estufa foi inferior. Houve diferença de cerca de 50g, no período de valor máximo desta variável, entre os ambientes com e sem tela e entre sem tela e fora da estufa. Isto corresponde a reduções em torno de 20% de sem tela para com tela e de 25% de fora da estufa para sem tela.

Na segunda época de cultivo houve redução de biomassa foliar nos três ambientes, da ordem de 33, 20 e 25% nos ambientes com tela, sem tela e fora da estufa, respectivamente, em relação à primeira época de cultivo. Entre os ambientes houve diferença somente entre aqueles do interior da estufa com o ambiente externo. Esta diferença representa uma redução de 25% dos ambientes de estufa para fora delas. De

acordo com Mastalerz (1977), plantas expostas diretamente ao sol apresentam folhas mais grossas e menor área foliar.

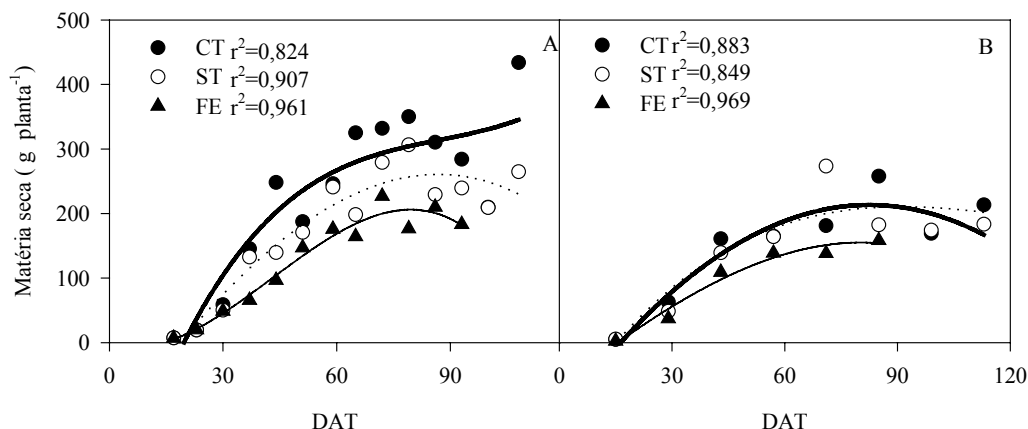


FIGURA 44 - Variação da massa de matéria seca de folhas de tomateiro cultivado em ambiente de estufa com tela anti-insetos (CT) sem tela (ST) e fora das estufas, em função dos dias após o transplante (DAT), na primeira (A) e segunda épocas de cultivo (B). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

4.3.3.4. Frutos

A variação da massa de matéria seca de frutos do tomateiro apresentou dois padrões distintos, nas duas épocas de cultivo.

Na primeira época, as plantas do ambiente com tela tiveram produção menor do que nos outros dois ambientes, sendo que fora da estufa não foi atingida a estabilização de rendimento, devido à interrupção de seu ciclo atribuída a problemas fitossanitários. Na primeira época, a produção de matéria seca estabilizou-se em 300g m^{-2} no ambiente sem tela e fora da estufa, e em 220g m^{-2} no ambiente com tela. (Figura 45). É possível que o rendimento de frutos tenha sido limitado por problemas de polinização no ambiente com tela, devido à ausência de insetos polinizadores, com o uso da tela anti-insetos. Na segunda época, com a colocação de abelhas dentro deste ambiente, o “pegamento” de flores pode ter sido igual àquele do ambiente sem tela por este motivo. O peso médio da matéria fresca

destes frutos, que é relacionado com o número de sementes, foi de 112,6, 214,5 e 229,0g fruto⁻¹ para os ambientes CT, ST e FE, respectivamente, na primeira época e 150,3, 143,6 e 109,7g na segunda.

Na segunda época, o ambiente de menor rendimento de matéria seca de frutos foi o externo, que reduziu sua produção em torno de 50g m⁻² em relação aos ambientes de estufa. Esta redução pode ser atribuída ao comprometimento da área foliar, devido à alta incidência de moléstia foliares, que interrompeu o ciclo da cultura em mais de 40 dias, antes das plantas cultivadas nos ambientes internos à estufa.

Li et al. (2000), verificaram que o aumento do potencial da água nas raízes, sob alta demanda hídrica, reduziu a matéria fresca de frutos mas não o número de frutos e sua matéria seca. Os mesmos autores verificaram que a redução do potencial nas raízes teve mais influência na produção de frutos frescos do que a demanda atmosférica, sendo que este resultado está relacionado com o sinergismo entre as duas variáveis que definem o estado hídrico da planta.

Li & Stanghellini (2001) chegaram à conclusão que, em condições de alta condutividade elétrica da solução nutritiva, os órgãos da planta retiram menos água da seiva e isto não afeta a produção de matéria seca das plantas.

A biomassa da segunda época de cultivo, quando comparada com a produção da primeira época, reduziu-se no ambiente sem tela. Porém, não se diferenciou do ambiente com tela, permanecendo em torno de 200g m⁻² (Figura 45). Esta queda talvez esteja ligada a redução de radiação, pois a produção da segunda época foi menor em dois ambientes, e só não sofreu redução no ambiente com tela devido a problemas de fecundação. A disponibilidade de radiação incidente influi na produção de matéria seca e também de frutos pois conforme, Cockshull et al. (1992), reduções de 6 e 24% na radiação solar reduziram em 17 e 20% na produção de matéria seca de frutos.

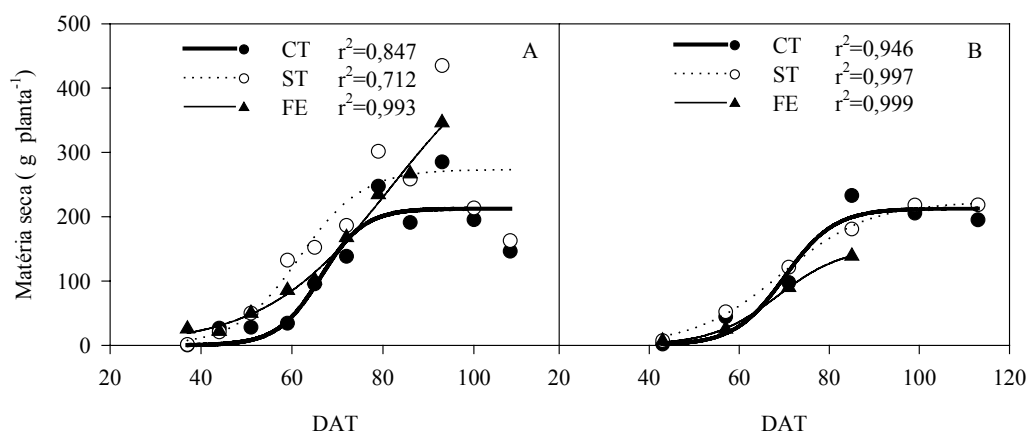


FIGURA 45 - Variação da massa de matéria seca de frutos de tomateiro cultivados em ambiente de estufa com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora das estufas em função dos dias após o transplante (DAT), na primeira (A) e segunda (B) épocas. Fepagro. Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

4.3.3.5. Biomassa total da planta

Seguindo a tendência dos vários componentes das plantas, a maior produção de biomassa pela cultura do tomateiro ocorreu na primeira época de cultivo. Na segunda época o acúmulo de matéria seca foi menor (Figura 46), o que pode ser atribuído à redução na disponibilidade de radiação global do período, às menores temperaturas do ar e à maior nebulosidade associadas à maior pluviosidade da segunda época (Figuras 3, 4 e 8). A menor disponibilidade de radiação solar reduziu o potencial produtivo da cultura, enquanto que a redução de temperatura do ar retardou o final do ciclo, afetando a produção de biomassa e o rendimento de frutos. Além disso, a maior ocorrência de precipitação pluvial, na segunda época de cultivo, determinou o aparecimento de moléstias foliares nas plantas do ambiente externo à estufa, o que reduziu a duração da área foliar.

O modelo sigmoidal, verificado no acúmulo de matéria seca total da planta (Figura 50) representa o crescimento da matéria seca em todos os ambientes. Um modelo sigmoidal de crescimento é esperado para plantas de crescimento anual, ou mesmo perenes de ciclo vegetativo anual, pois estas plantas apresentam uma etapa inicial de crescimento

lento, uma intermediária com maiores taxas de produção e outro período final, em que as plantas entram em senescência e morte, após a produção de frutos (Figura 46). Este tipo de curva se dá pela variação na distribuição da biomassa. Durante a etapa vegetativa o acúmulo de biomassa é exponencial. Quando se inicia a período reprodutivo, a parte vegetativa é fixada e a produção de nova biomassa é conduzida às estruturas reprodutivas. Isto dá início a uma etapa de crescimento e reprodução, que é linear, a uma taxa de crescimento proporcional a dois termos: a disponibilidade de biomassa acumulada durante a fase vegetativo e a biomassa acumulada durante o período reprodutivo. Este acúmulo de biomassa é determinado pelo grau de limitação de recursos em cada período (Chiarello & Gulmon, 1991).

A produção máxima de matéria seca total dos ambientes com tela, sem tela e fora da estufa, mostrada na Tabela 4, apresentou acréscimos de 18 e 4%, na primeira e de 33 e 21% na segunda época, nos ambientes com e sem tela, respectivamente, em relação ao ambiente fora da estufa. Cockshull et al. (1992) verificaram que a redução da radiação incidente diminui a produção de matéria seca de frutos de plantas cultivadas no mesmo ambiente. A maior produção de matéria seca nas estufas evidencia que a eficiência de uso da radiação foi mais importante do que a disponibilidade de radiação incidente sobre a cultura na produção de biomassa. McCree (1972) e Varlet-Grancher et al. (1989) citam que a disponibilidade de radiação solar que é absorvida pelas culturas é determinante da produção final de matéria seca. Entre as duas épocas de cultivo houve uma redução média dos três ambientes de 31,7%, que pode ser atribuída à redução de 37% da radiação solar entre as duas épocas de cultivo.

A absorção de radiação está intimamente ligada com a eficiência do uso de radiação, que também é relacionada com o auto-sombreamento, determinado pelo tipo de radiação. Folhas saturadas de radiação, segundo Sinclair & Horie (1989), existentes nos

extratos superiores da planta, que recebem radiação direta, são menos eficientes do que àquelas que estão sombreadas.

TABELA 4 Produção total de matéria seca de tomateiro (g planta^{-1}) cultivados em ambiente de estufa plástica com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (FE), em duas épocas de cultivo. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

Ambiente	1ª época Produção	2ª época Produção	Diferença (%)
CT	802	560	30,2
ST	704	510	27,6
FE	677	421	37,8
Média	728	497	31,7

A maior eficiência de uso de radiação fotossinteticamente ativa dos ambientes de estufa verificada por Radin (2002), deveu-se ao menor coeficiente de extinção da radiação dentro do dossel devido à maior disponibilidade de radiação difusa, visto que a eficiência de interceptação de radiação fotossinteticamente ativa do tomateiro foi semelhante nos três ambientes, representada pela equação $\epsilon_{\text{int}}=0,875991(1-e^{-1,0112IAF})$ com coeficiente de determinação $r^2=0,78$.

As plantas cultivadas nos ambientes com e sem tela apresentaram maiores taxas de produção de matéria seca do que as de fora da estufa. Além disso, as plantas do ambiente externo não atingiram a estabilização de acúmulo de matéria seca no fim do ciclo, mostrando que, por algum motivo, não expressaram o seu potencial de produção. Normalmente, o motivo é a perda da capacidade fotossintética das folhas, que secam devido à grande incidência de moléstias foliares, o que foi observado nas duas épocas de cultivo. Grange & Hand (1987) citam que a maioria dos fungos germinam com alta umidade relativa do ar e água livre. Em períodos chuvosos, plantas desabrigadas aumentam a chance de desenvolvimento destas doenças.

Entre os ambientes com e sem tela as diferenças de produção final de matéria seca apareceram na primeira época, o que não foi evidenciado na segunda, mesmo apresentando diferenças de produção entre as várias partes da planta. Na primeira época, as plantas do ambiente com tela produziram menos matéria seca de frutos, mas esta redução foi compensada pela maior produção de MS de caules e folhas.

As plantas dos ambientes de estufa apresentaram taxas máximas de produção de matéria seca equivalentes a uma vez e meia àquelas apresentadas no ambiente externo. As plantas nos três ambientes apresentaram taxas máximas no mesmo período, que ocorreu próximo aos 50 DAT, 10 dias após o início da floração. Isto mostra que as plantas não modificam seu desenvolvimento em estufas, mas sim com alterações de clima, como ocorreu na segunda época de cultivo, mostrado pela fenologia da planta no sub-ítem 4.3.5 (Figura 51).

Os valores das taxas de produção de matéria seca estiveram entre 17 e 19g dia⁻¹, dos 45 aos 55 DAT na primeira época, e entre 10 e 13g dia⁻¹ dos 40 aos 55 DAT, na segunda época nos ambientes com e sem tela, respectivamente. No ambiente externo as taxas foram de 10g dia⁻¹ dos 46 aos 71 DAT, na primeira época, e de 7g dia⁻¹ dos 46 aos 59 DAT, na segunda época de cultivo.

A produção total de matéria seca está intimamente ligada ao maior crescimento da área foliar das plantas que, devido à maior captação de radiação, consegue maior produção total, mesmo com folhas mais finas (maior área foliar específica). Grange & Hand (1987) citam que a influência de alguns fatores somente irão afetar a assimilação de carbono, quando cada um deles influir na taxa de expansão das folhas ou no crescimento da área foliar.

4.3.4. Produção de frutos

4.3.4.1. Rendimento total

A produção de frutos frescos, nos vários ambientes, mostrou comportamentos distintos entre as duas épocas de cultivo. Na primeira época, as produções nos três ambientes não apresentaram diferenças tão marcantes como na segunda. A média do rendimento de frutos frescos da primeira época de cultivo, mostrado na Tabela 5, mostra que as plantas da estufa apresentaram redução de 11,3 e 21,5% em relação ao ambiente externo. Esta produção maior no ambiente externo pode ser devido à redução de radiação existente nos ambientes protegidos e às condições adequadas ocorridas durante este período, desfavoráveis ao desenvolvimento de patógenos.

TABELA 5 Produção de frutos de tomateiro (Kg planta⁻¹) cultivados em ambiente de estufa plástica com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (FE), em duas épocas de cultivo. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

Ambiente	Produção 1ª época	Diferença (%)	Produção 2ª época	Diferença (%)	Média (2 épocas)	Diferença (%)
CT	5,97	(-11,3)	4,32	(170,0)	5,15	(23,5)
ST	5,28	(-21,5)	3,13	(95,6)	4,21	(1,0)
FE	6,73		1,60		4,17	
Média	5,99		3,02	(-49,6)		

Na segunda época, houve uma inversão na produção das plantas, pois as do ambiente externo foram as que apresentaram os menores rendimento. A Tabela 5 mostra que os ambientes protegidos com estufa aumentaram em 170% e 95,6% em relação às plantas do ambiente externo.

Considerando as duas épocas de cultivo, desde a semeadura até o fim da colheita, verifica-se que o rendimento dos 11 meses de produção foi de 205,8, 168,2 e 166,6 t ha⁻¹ nos ambientes CT, ST e FE, respectivamente.

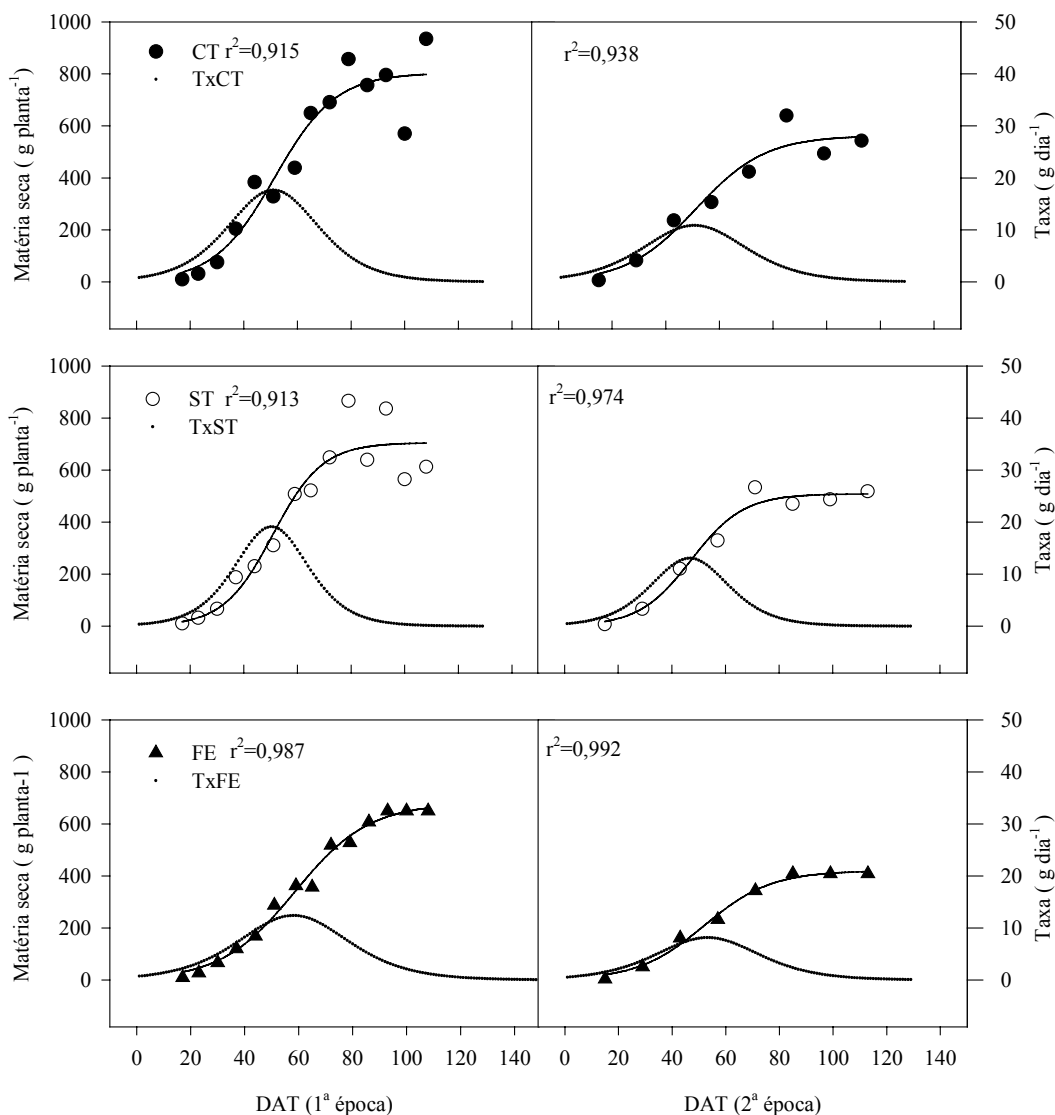


FIGURA 46 - Variação da massa de matéria seca total e taxa de produção de matéria seca (TPMS) das plantas de tomateiro, em ambiente de estufa com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora das estufas, em função dos dias após o transplante (DAT), em duas épocas de cultivo. Fepagro. Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

A Figura 47 mostra a evolução das produção de frutos acumulada e por colheita, em função de dias após o transplante (DAT), nas duas épocas de cultivo, com as respectivas curvas de ajuste.

Nas primeiras colheitas, a menor massa de frutos frescos, obtida no ambiente com tela, leva a supor que as diferenças de produção de frutos deste ambiente, com relação aos outros foram também devidas às limitações ao processo de polinização neste período. Problemas de polinização de flores de tomateiro podem reduzir o número de frutos, reduzir

o tamanho de frutos ou aumentar o porcentagem de frutos com defeitos de formação. A falta de insetos polinizadores, como abelhas, e restrição da ventilação dentro do ambiente CT, durante o período de abertura das flores, podem ser os fatores que determinaram este problema na primeira época. Como não houveram diferenças no número de frutos, (43, 37 e 38 frutos por planta nos ambientes CT, ST e FE, respectivamente) entre as plantas dos ambientes, acredita-se que o valor médio da massa fresca de frutos (139, 144 e 173 g fruto⁻¹ nos ambientes CT, ST e FE, respectivamente), que é relacionado com o tamanho, é que manteve a produção dos vários ambientes no mesmo patamar.

A repartição de matéria seca das plantas de tomateiro também mostra um padrão atípico dos frutos do ambiente com tela na primeira época (Figura 50). Estes frutos mostram uma menor relação da matéria seca em relação à toda a planta, onde esta relação apresenta-se diferente do padrão normal do tomateiro cultivado nas duas épocas, nos outros ambientes. Na segunda época a relação foi normal, mostrada pelo ajuste dos dados coletados.

Na segunda época, devido à colocação de uma colméia dentro do ambiente com tela, não se verificou o problema da primeira época. Os frutos, no início da colheita apresentaram massa semelhante até próximo a 90 DAT (Figura 47A) e, a partir daí, no ambiente com tela apresentaram massa superior aos demais ambientes, média de 116,7g fruto⁻¹ em todo ciclo, enquanto que nos dos ambientes sem tela e fora da estufa apresentaram 96,1 e 70,9g fruto⁻¹, respectivamente. Esta diferença no massa foi responsável pelo maior rendimento do ambiente com tela, nesta época, já que o número de frutos (36 frutos) não se diferenciou do ambiente ST (33 frutos).

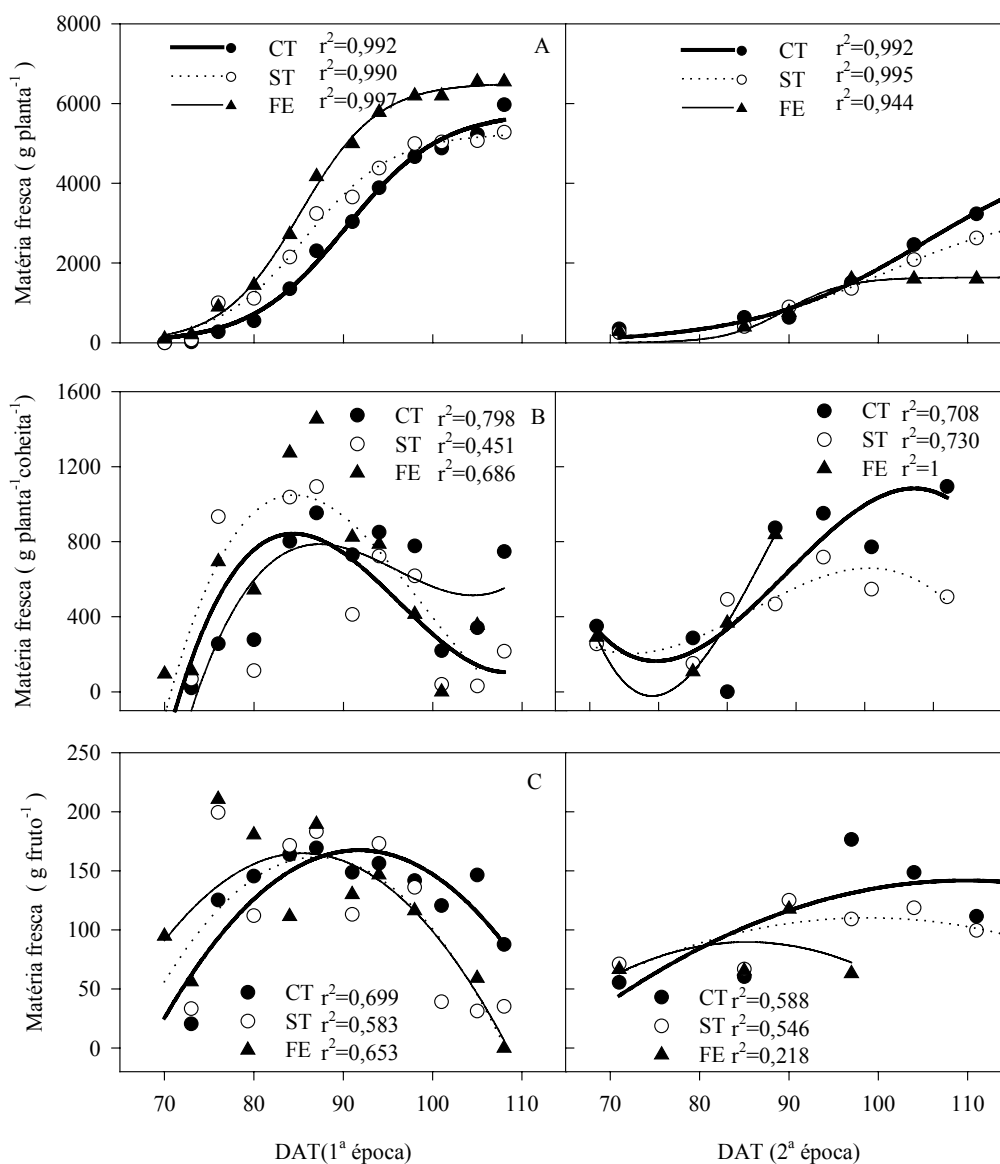


FIGURA 47 - Variação da massa da matéria fresca de frutos por planta, massa de frutos por colheita e peso médio de frutos por colheita em ambiente de estufa com tela anti-inseto (CT), sem tela (ST) e fora das estufas, em função de dias após o transplante (DAT), em duas épocas de cultivo. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

Na segunda época de cultivo a produção de frutos se diferenciou entre as plantas de dentro das estufas para as de fora delas, o que pode ser atribuído, principalmente, à elevada precipitação pluvial (556,3mm) e ao número de horas de chuva (112,2h), resultando em maior desenvolvimento de moléstias foliares. O ciclo destas plantas foi interrompido aos 97 DAT, enquanto o das plantas da estufa foi de 122 DAT. Esta redução de ciclo interrompeu a produção de frutos e reduziu seu rendimento final. Até a interrupção

do ciclo, as plantas do ambiente externo apresentavam produção acumulada de frutos semelhante às das dos outros ambientes (Figura 47).

4.3.4.2. Crescimento dos frutos

A curva de ajuste para o crescimento médio dos frutos do primeiro rácimo do tomateiro mostra que, em dois dos três ambientes (CT e FE), na primeira época de cultivo, o tamanho médio foi semelhante até a colheita destes frutos. No ambiente sem tela, o tamanho máximo de cada fruto foi cerca de 10% menor (Figura 48). Este resultado mostrou-se contraditório a outras análises de crescimento de frutos, nas quais o ambiente com tela sempre se diferenciou dos demais, o que foi atribuído a problemas de polinização. O número de frutos do primeiro rácimo parece não ter influenciado este resultado já que, na primeira época, o número médio foi de 7,5, 5,5 e 5,5 frutos por rácimo, nos ambientes com e sem tela e fora da estufa, respectivamente.

Na segunda época, os frutos produzidos pelo primeiro rácimo floral no ambiente com tela é que apresentaram tamanho menor, até 80 DAT, embora atingindo um tamanho final semelhante aos frutos dos demais ambientes. Os frutos do ambiente externo, apresentaram queda acentuada no seu tamanho, nas duas últimas semanas, o que pode ser devido à redução antecipada da área foliar, ocasionada por moléstias foliares, mostrado na Figura 38, provocando a interrupção do ciclo antes que os tomates atingissem o tamanho normal esperado. No cultivo desta época, os frutos que apresentaram menor crescimento foram os das plantas com maior número de tomates por rácimo (6,7, 3,7 e 2,2 frutos por rácimo, nos ambientes CT, ST e FE, respectivamente). A relação do crescimento de frutos com o número de frutos é esperada, já que velocidade de crescimento real pode ser entendida como força de dreno (Andriolo, 1999).

A taxa média de crescimento dos frutos do primeiro rácimo mostra que, nos três ambientes e nas duas épocas de cultivo, o padrão desta variável foi semelhante, sendo que a curva de ajuste, para todo o conjunto de dados, apresenta um coeficiente de determinação de 0,835, o que é significativo a 1% de probabilidade, para 29 pontos amostrados (Figura 48).

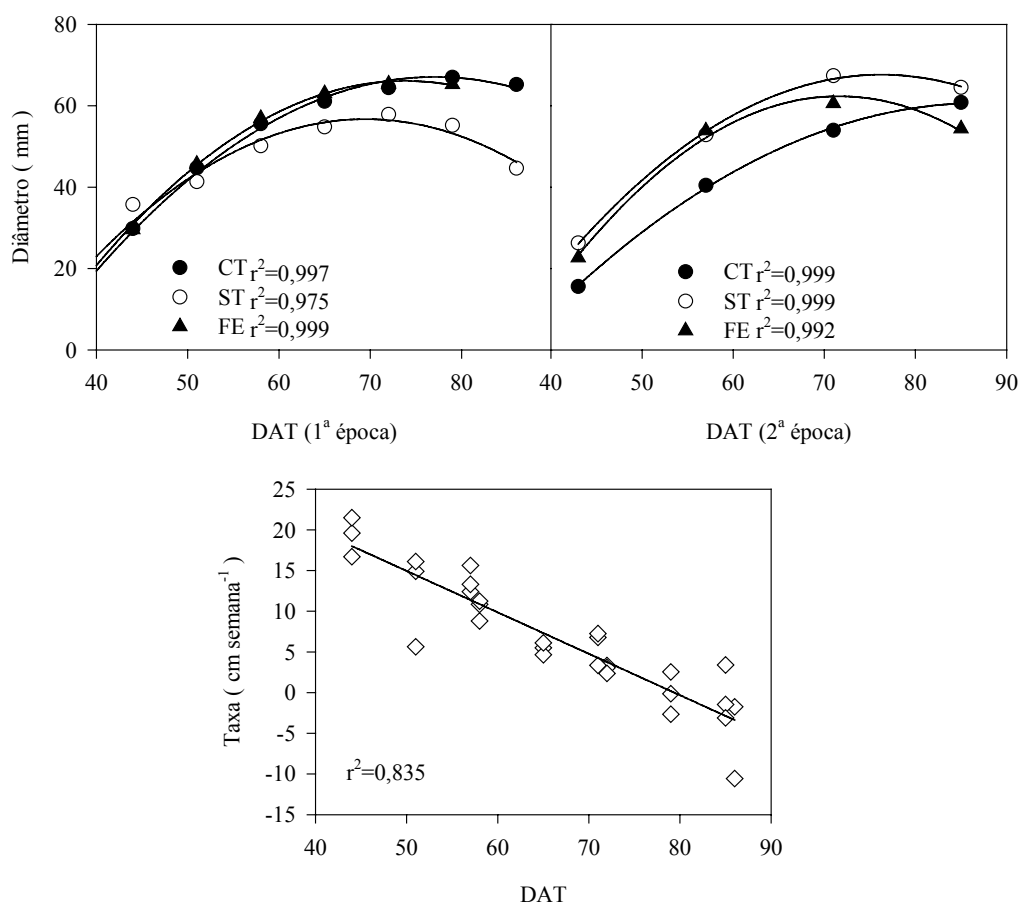


FIGURA 48 – Evolução do diâmetro médio e da taxa de crescimento dos frutos do primeiro rácimo, de tomateiro em estufa com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora delas (FE), em duas épocas de cultivo. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

4.3.4.3. Razão entre a matéria seca e matéria fresca de frutos

A quantidade relativa de matéria seca dos frutos do tomateiro mostrou diferença somente entre as épocas de cultivo, não havendo diferenças nítidas entre os ambientes. Entre as épocas, os frutos se diferenciaram pela maior quantidade relativa de matéria seca dos primeiros frutos, acima de 6%, na primeira época, e abaixo de 5% na segunda época. A

relação próximo à maturação, estabilizou-se em aproximadamente 2%, na primeira época, e 3% na segunda época (Figura 49). Uma semelhança entre as duas épocas é que, a partir de 60 DAT, a razão torna-se praticamente constante até a colheita.

O maior déficit de saturação da primeira época de cultivo pode ter sido o motivo desta modificação pois, conforme Leonardi et al. (2000), plantas cultivadas em ambientes com maiores déficits de pressão de vapor apresentam frutos com menor quantidade de matéria seca. Assim, a modificação da quantidade de matéria seca deve ser atribuída à variação de demanda atmosférica. Segundo Gianquinto et al. (1990), diferenças de disponibilidade de água no solo, provocadas por diferentes manejos, não provocaram diferenças entre os frutos cuja porcentagem de matéria seca na colheita, foi de aproximadamente 5,3%.

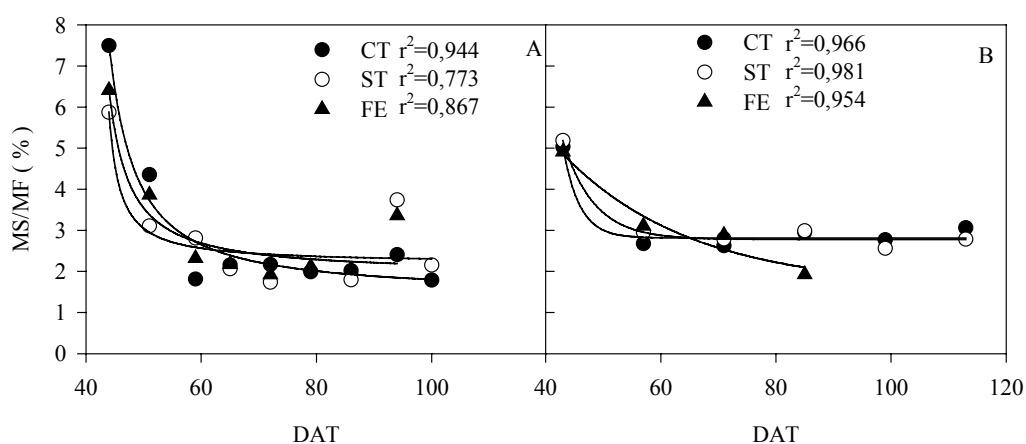


FIGURA 49 - Razão entre matéria seca (MS) e a matéria fresca (MF) de frutos de tomateiro (%) em ambiente de estufa plástica com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora das estufas (FE), em função de dias após o transplante (DAT), na primeira (A) e segunda (B) épocas de cultivo. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

4.3.4.4. Fração da matéria seca de frutos na biomassa total da planta

A repartição da matéria seca das plantas, para produção de frutos, mostrou-se independente do ambiente e da época de cultivo, pois a curva de ajuste para todo o conjunto de dados apresentou tendência consistente, com coeficiente $r^2=0,808$. Esta curva mostra que a evolução da participação da biomassa de frutos seguiu uma função linear e

que os frutos desta cultivar, com o manejo dado, atinge pouco menos de 50% da biomassa total, independente da época e do ambiente, desde que haja polinização eficiente (Figura 50C). Heuvelink (1995) e Hewitt & Marrush (1986) encontraram valores acima de 55% para plantas de tomateiro, porém com hábitos de crescimento diferentes.

Na primeira época de cultivo as plantas do ambiente com tela se diferenciaram na repartição da biomassa. Apesar da equação também ter sido linear, com coeficiente angular semelhante ao das outras plantas e coeficiente de $r^2 = 0,941$, a fração de matéria seca de frutos na biomassa total da planta, se reduziu em aproximadamente 10%, ao longo de todo o ciclo. Problemas de polinização, principalmente relacionados com a redução de insetos polinizadores, neste ambiente, podem explicar esta diferença (Figura 50C).

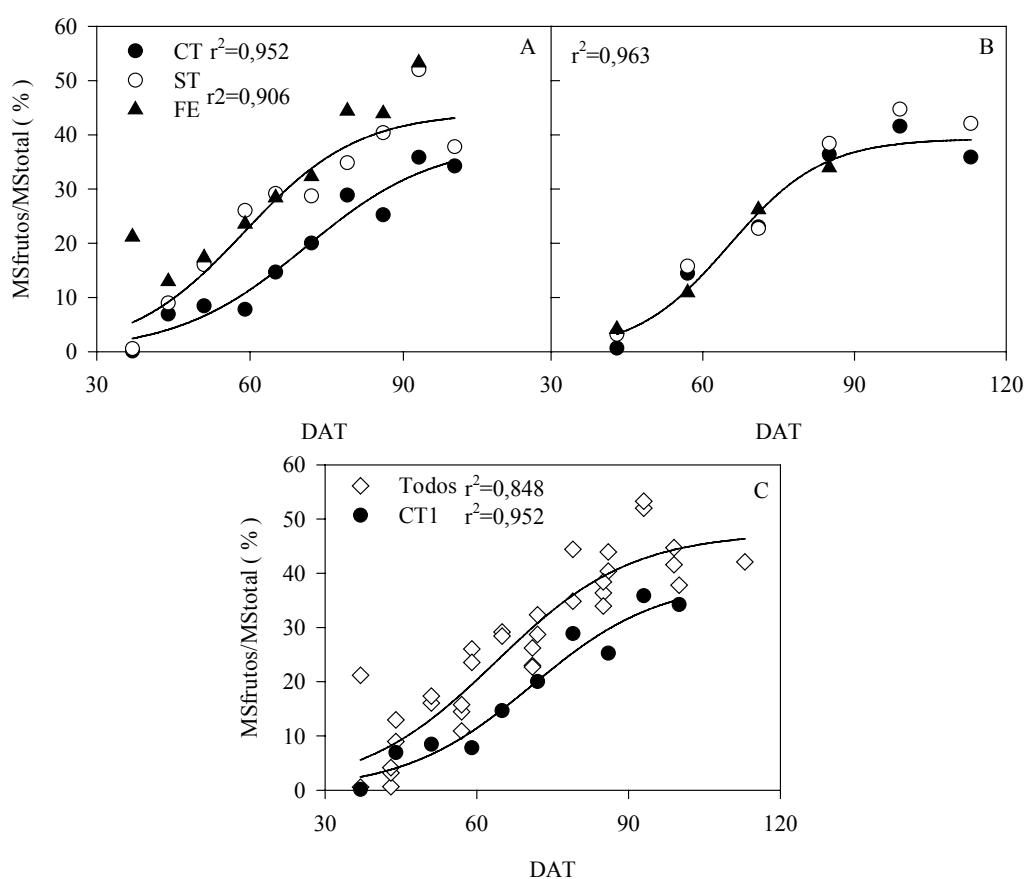


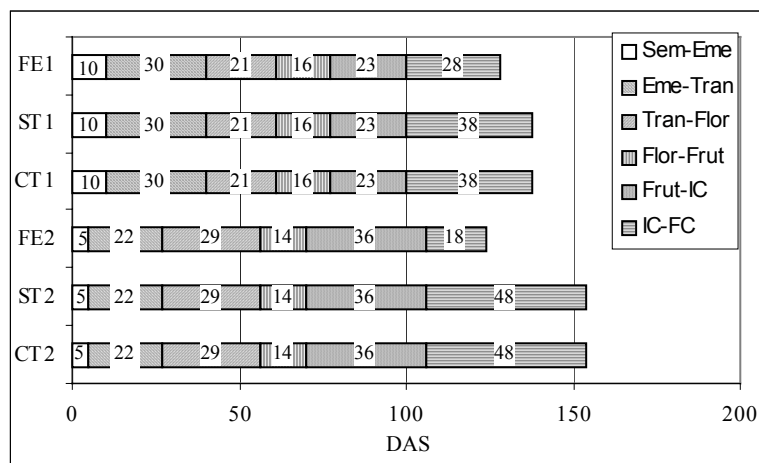
FIGURA 50 – Fração da matéria seca (MS) de frutos na biomassa total da planta de tomateiro, em estufa plástica com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora das estufas (FE), na primeira (A) e segunda (B) épocas de cultivo. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

Na Figura 50C foram eliminados os dados das duas últimas colheitas da primeira época, nos ambientes com e sem tela, já que a retirada dos frutos, nas colheitas anteriores, provocou rebrote nas plantas, modificando sua morfogênese (Figura 50A e 50B). Deve-se considerar portanto que, ao fim do ciclo do tomateiro de crescimento determinado, é esperada uma redução da quantidade relativa de matéria seca dos frutos.

4.3.5. Fenologia

As alterações físicas provocadas pelos ambientes e épocas de cultivo determinaram variações no desenvolvimento da cultura do tomateiro. A ocorrência das diversas fases fenológicas foi influenciada pela época de cultivo, mas não pela localização da cultura nos respectivos ambientes. A duração dos subperíodos fenológicos foi modificada, principalmente, pelas condições térmicas ocorridas. A primeira época de cultivo iniciou com temperaturas do ar mais baixas, aquecendo ao longo do ciclo, enquanto que a segunda iniciou com temperaturas mais elevadas, diminuindo ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura. Esta variação térmica pode ser observada na Figura 8. O período entre a semeadura e o início da frutificação foi maior na primeira época de cultivo do que na segunda, enquanto que o período entre a frutificação e a colheita foi maior na segunda época (Figura 51). Abreu et al. (1994) também verificaram redução na velocidade de crescimento do tomateiro quando este foi cultivado em ambientes com menor temperatura.

A mudança de ambiente, em cada época, determinou somente um maior período de colheita (Figura 51), demonstrando que a proteção sobre a cultura, exercida pela cobertura de plástico, proporcionou maior duração da área foliar, permitindo o enchimento total dos frutos da planta.



* Sem-semeadura; Eme-emergência; Tran-transplante; Flor-floração; Frut-frutificação; IC-início da colheita; FC-fim da colheita

FIGURA 51 - Fenologia do tomateiro em ambientes de estufa plástica com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (FE), em duas épocas de cultivo (1 e 2), em função de dias após a semeadura (DAS). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

4.3.6. Fotossíntese

4.3.6.1. Taxa fotossintética

Medições feitas nos diferentes ambientes não detectaram diferenças nas taxas fotossintéticas, nas primeira e segunda épocas, com os valores médios ficando entre 17 e 22 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Figura 52). A diferença de potencial da água na planta, existente entre plantas de diferentes ambientes, não foi suficiente para provocar diferenças entre as taxas fotossintéticas. Conforme Potter & Boyer (1973), o potencial químico da água afeta a fotossíntese somente em valores muito baixos. É evidente que o metabolismo da planta não responde diretamente ao potencial da água em si, mas às variações de outros fatores ligados a ele, como o potencial de pressão da célula.

Na segunda época, nos ambientes sem tela e externo, houve redução significativa entre as taxas fotossintéticas feitas em cada data. Isto justifica-se, provavelmente, devido à adaptação das plantas aos menores níveis de radiação, redução de aproximadamente 20% (de 23 para 18 $\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$) entre as datas que foram feitas as determinações. Segundo

Boardman (1977), plantas que crescem sob menor disponibilidade de radiação, devido a adaptações, apresentam redução do seu ponto de compensação por luz. O mesmo autor cita que o fluxo luminoso necessário para saturação aumenta com maior disponibilidade de luz no ambiente em que a planta se desenvolveu. Estas características determinam capacidades fotossintéticas mais elevadas nas folhas de plantas desenvolvidas em alta disponibilidade de luz. Sorrentino et al. (1997) também verificaram que reduções de 20% na radiação fotossinteticamente ativa não modificaram a taxa fotossintética das plantas.

Apesar de não ter-se evidenciado diferença, devido à variabilidade dos dados, verifica-se que existe uma tendência de redução da taxa fotossintética entre as determinações de cada data, em todos os ambientes. Esta pequena tendência pode ser explicada devido à também diferença de umidade relativa do ar existente entre as medições, causada pelo aumento da área foliar da cultura. Grange & Hand (1987) citam que o aumento da fotossíntese, em ambientes com maior umidade, pode estar relacionado à redução de estresse da folha causado pelo excesso de perda de água e a conseqüente restrição ao dióxido de carbono com o fechamento estomático.

Aparentemente a idade da planta mostra importância na variação média das taxas fotossintéticas, pois as plantas sempre apresentam uma tendência de redução, com o avanço de ciclo cultural. Isto vai de acordo com Sassenrath-Cole et al. (1996) os quais citam que a idade da folha influencia nas taxas fotossintéticas. Este fator pode estar se confundindo com o efeito do natural aumento da área foliar e conseqüente acréscimo da umidade no ar, citado anteriormente.

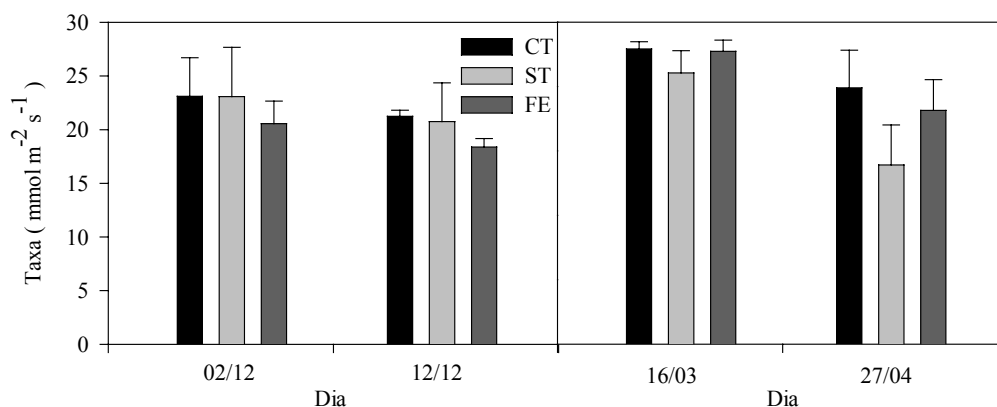


FIGURA 52 - Taxa fotossintética em plantas de tomateiro cultivado em estufa com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora das estufas (FE), na média de três níveis do dossel, com os respectivos desvios padrão, indicados pela extremidade da linha vertical. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

4.3.6.2. Taxa assimilatória líquida (TAL)

Apesar de medir a produção de matéria seca média durante um espaço de tempo, a taxa assimilatória líquida do tomateiro teve tendência semelhante às taxas fotossintéticas medidas, em analisador de gás ao infra-vermelho, que fazem medidas pontuais de produção de matéria seca, no meio do ciclo (45 e 55 DAT da primeira época e 29 e 61 DAT da segunda época), como mostra a Figura 53. Entretanto, o mesmo não pode ser dito para outras etapas do ciclo, quando o ambiente externo evidenciou taxas assimilatórias líquidas mais elevadas. Estas taxas mais elevadas ocorreram em períodos de menor IAF, no início do ciclo, quando as plantas de fora da estufa, apresentavam a mesma produção de biomassa por unidade de área foliar, embora com menor área foliar. Por sua vez, as plantas cultivadas em ambiente protegido, e submetidas a menor disponibilidade de radiação, investiram mais em interceptação de luz, através de expansão foliar, o que pode ser verificado também pela maior área específica. Isto está de acordo com Boardmann (1977), que verificou que plantas sombreadas investem maior parte de sua capacidade de síntese na manutenção de captação de luz, comparadas a plantas cultivadas sob alta insolação.

Entretanto, alguns valores mais elevados da TAL, no início do ciclo, podem não refletir a realidade, pois foram determinados a partir da curva ajustada da área foliar, quando valores muito baixos de área foliar correspondem a valores não proporcionais de matéria seca.

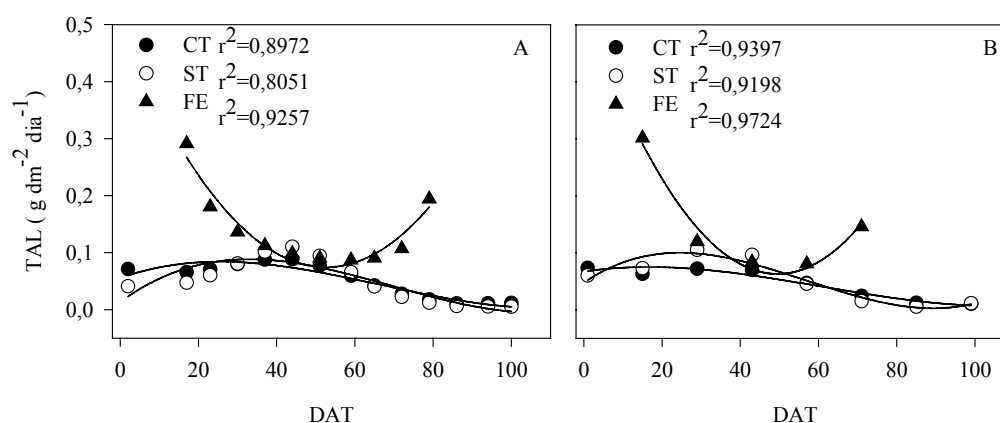


FIGURA 53 - Taxa assimilatória líquida (TAL) de tomateiros em estufa com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (FE), na primeira (A) e na segunda (B) épocas de cultivo. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

No fim do ciclo, a TAL em plantas do ambiente externo também foi elevada, o que pode ser atribuído à redução precoce da área foliar, causada por moléstias foliares. A continuidade na produção de biomassa com baixa área foliar, no final do ciclo, pode ser explicada pela maior contribuição relativa de outras partes verdes da planta. Portanto, esta elevação se deu mais por redução de área foliar do que por produção de matéria seca. Boardmann (1977) cita que o desfoliamento parcial de algumas espécies pode causar um aumento nas taxas fotossintéticas das folhas remanescentes.

4.3.7. Condutância foliar

A condutância foliar, medida semanalmente durante a primeira época, apesar da grande variabilidade de comportamento, teve como característica geral a redução ao longo do dia (Figura 54). Este mesmo padrão foi observado por Abril & Hanano (1998), com 3

espécies diferentes, em que as plantas apresentaram a menor condutância ao final da tarde. Os mesmos autores verificaram que as plantas não irrigadas apresentaram valores muito mais baixos de condutância ao longo de todo o dia, apesar do mesmo padrão de variação no tempo.

No dia 01/12/99, houve redução de condutância foliar, do meio-dia ao fim da tarde, padrão diferente dos outros dias. No dia 8 de dezembro a condutância foi crescente até as 13h mas não foi possível observar o padrão ao longo do dia, devido à interrupção das leituras. Nota-se que os maiores valores de condutância foliar ocorrem próximo ao meio-dia, nos três ambientes (Figura 54). Grantz & Meintzer (1991) também observaram este comportamento em cana-de-açúcar, quando houve relação entre condutância, radiação fotossinteticamente ativa e radiação global.

A Figura 54 mostra, também, que, além do padrão de variação semelhante ao longo do dia, a condutância foliar à tarde foi maior ou igual aos demais ambientes, no ambiente de estufa com tela. Isto pode ser explicado pela menor transpiração diária das plantas do ambiente com tela, porque plantas com menor transpiração mantêm melhor nível de hidratação ao longo do dia, do que as que transpiram mais quando submetidas a mesma condição hídrica do solo. Conforme Schulze (1986), em locais com ar mais seco o potencial da água na folha é reduzido proporcionalmente à perda de água e à sua resistência hidráulica. Assim, com ocorrência conjunta de modificações na condutância, no potencial da água na folha e no conteúdo relativo de água se torna impossível determinar, com segurança, qual a causa primária ou secundária. O mesmo autor cita, ainda, que o estado hídrico da folha pode não ser o controlador do fechamento estomático em plantas intactas. Abril & Hanano (1998) citam que o ácido abscísico é a variável que melhor explica a condutância estomática.

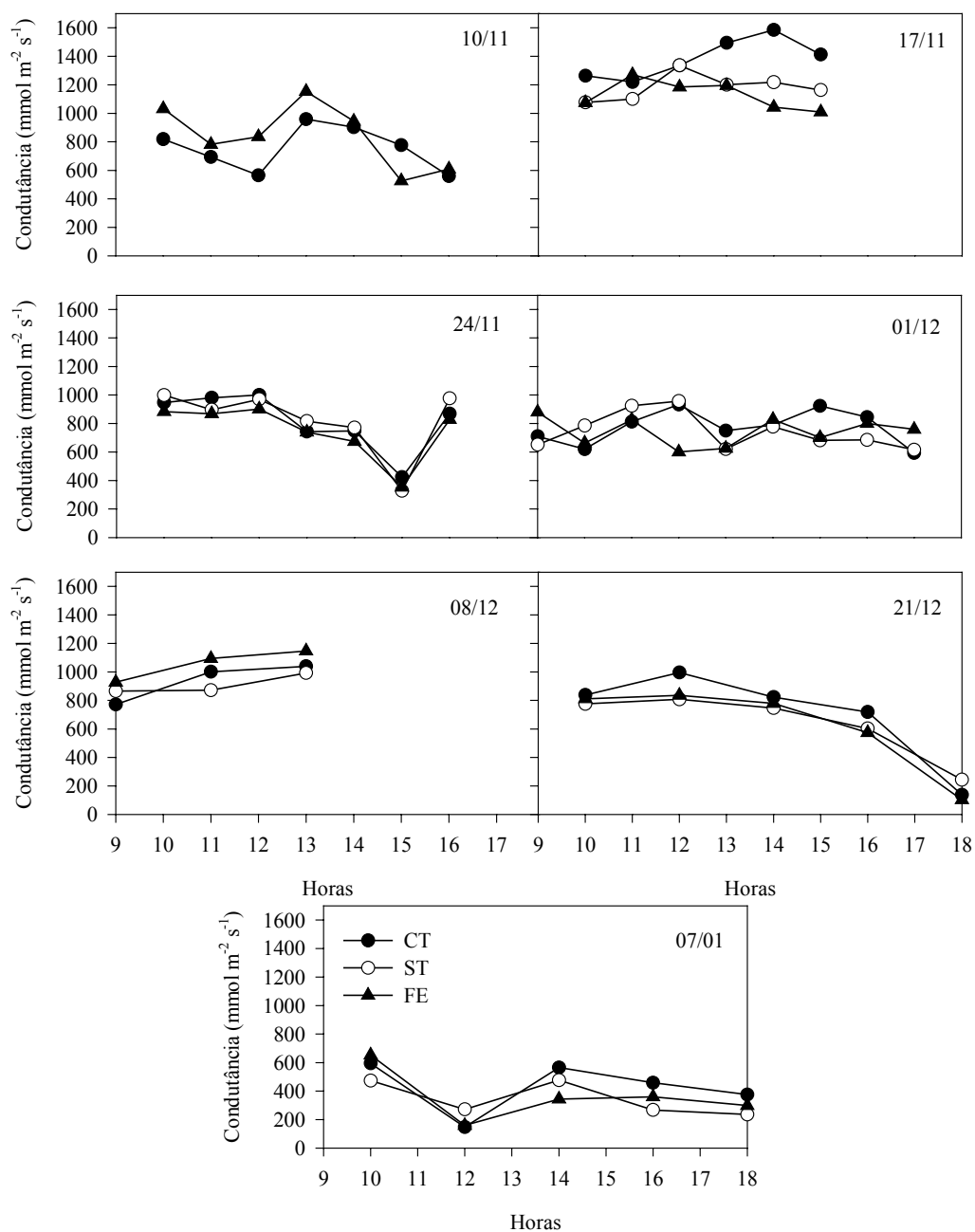


FIGURA 54 - Condutância foliar média de tomateiro ao longo de vários dias, em estufa plástica com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (FE). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

A Figura 55 mostra que, nos três ambientes, a condutância diminuiu com o envelhecimento da cultura, ou seja, no início do ciclo os valores são maiores, independentemente de outros fatores. Nesta figura pode-se observar que a diferença entre valores médios de condutância, entre os ambientes, somente ocorreu no início do ciclo e

com valores de radiação global acima de 1500Wm^{-2} . A condutância média diurna do dia 25 de abril de 2000 (Figura 56), medida na segunda época (70 DAT), também se comportou conforme a curva de ajuste, mesmo para um nível de radiação mais baixo (1076Wm^{-2}) (Figura 55). Isto vai ao encontro de observações feitas por Meinzer et al. (1993) que identificaram a idade da folha como um fator adicional na variação da condutância ao longo do ciclo.

A variação da condutância média diurna (Figura 55) apresentou padrão semelhante ao longo do ciclo, ou seja, em qualquer ambiente as plantas apresentaram queda em sua condutância com avanço do ciclo cultural.

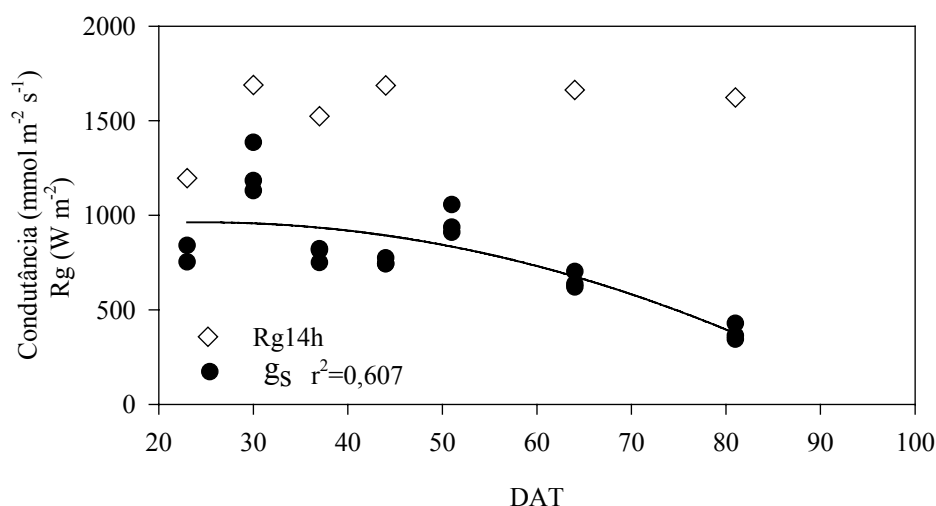


FIGURA 55 - Condutância foliar média diurna de tomateiro cultivado em estufa plástica com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (FE) e radiação global incidente fora das estufas às 14 h (Rg14h), em função de dias após o transplante (DAT), durante o cultivo de novembro a fevereiro. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

Medições feitas no dia 25/04/2000 mostram que a condutância foliar teve diferença, ao longo do dia, entre as plantas da estufa para as de fora dela (Figura 56). No mesmo dia, a evolução da condutância das plantas de tomateiro evidenciou uma curva de histerese, quando foi relacionada à radiação solar incidente fora da estufa. Como as plantas apresentaram melhor estado de hidratação pela manhã, para os mesmos níveis de radiação,

aparecem dois valores de condutância: um pela manhã, mais alto, e outro à tarde, mais baixo (Figura 56B). Esta condição também foi encontrada por Takagi et al. (1998), para três espécies estudadas.

Takagi et al. (1998) também verificaram a ocorrência de histerese diária de condutância foliar em três espécies, em função do déficit de pressão de vapor entre o ar e a folha. Este trabalho mostrou alta relação entre a disponibilidade de radiação e o déficit de pressão de vapor entre o ar e a folha. Os autores citam que o efeito de histerese da condutância diária é fortemente atribuído ao potencial da água na folha.

Outro caso de histerese foi encontrado por Ieperen (1996), formada entre a transpiração de plantas de tomateiro e o déficit de água na planta, relacionado a seu conteúdo de água total. O mesmo autor também cita que, para taxas similares de transpiração, o déficit hídrico é maior na parte da tarde do que durante a manhã. Como o autor achou uma relação direta entre transpiração e a radiação global, para um mesmo valor de transpiração, a planta apresentou duas condições de déficit hídrico: um pela manhã outro à tarde.

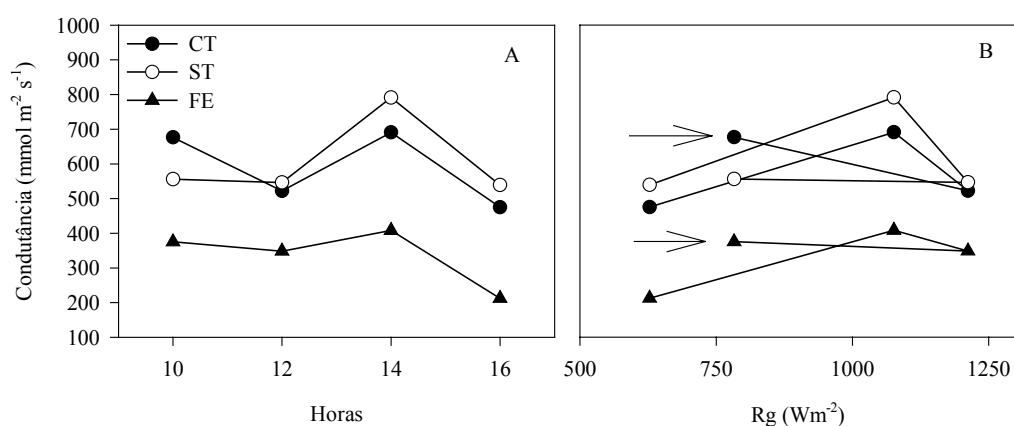


FIGURA 56 - Condutância foliar (mmol m⁻²s⁻¹)de tomateiro ao longo do dia (A), e em função da disponibilidade de radiação solar (B), em estufa plástica com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora das estufas (FE), no dia 25/04/2000. Fepagro. Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

A ocorrência de histerese entre o potencial da água na folha e o conteúdo relativo de água, ocorrido ao longo do dia, também foi observado por Jordan & Ritchie (1971) com plantas de algodão, associada a diferenças de resistência ao fluxo de água, ao longo do dia, que promovem um desbalanço entre a absorção e a transpiração da planta. Os autores ainda observaram a semelhança do padrão de variação diária do potencial da água na folha, do conteúdo relativo de água, da variação do diâmetro do caule e da resistência estomática.

4.3.8. Potencial da água na folha

A variação do potencial da água na folha, ao longo do dia, se mostrou similar em todos os dias estudados, sendo que os potenciais mínimos sempre estiveram próximos a $-0,8\text{MPa}$ (Figura 57). O potencial da água foi semelhante nas plantas cultivadas nos três ambientes diferenciando-se somente no dia 15 de dezembro, próximo ao meio-dia, e nos dias 25 de abril e 29 de março pela manhã. A Figura 57 mostra que os potenciais da água na folha atingiram seus valores mínimos próximo ao meio-dia, retornando a potenciais mais altos ao final da tarde. O mesmo padrão foi apresentado pelas plantas irrigadas de três espécies estudadas por Abril & Hanano (1998), em que valores menores de potencial da água na folha ocorriam próximos ao meio dia. Em plantas não irrigadas, além dos valores serem mais baixos, o potencial da água na folha foi decrescente até o fim da tarde, em duas das três espécies. Bergonci et al. (2000) verificaram com milho, em dias sem restrição de água no solo, o mesmo padrão de variação do potencial da água na folha em que os valores mínimos ocorriam entre às 12 e 15h, caracterizando o chamado comportamento anisohídrico.

Bergonci et al (2000) verificaram, ainda, que o potencial da água na folha ao entardecer não apresentou diferença entre tratamentos, quando as plantas estavam bem supridas de água no solo. Outro autor a encontrar o mesmo comportamento foi Batta

(1989), com plantas de tomateiro cultivado em hidroponia, em que o potencial mínimo ocorreu nos mesmos horários observados pelos autores anteriores, com valores próximos a -1MPa .

A diferença de potencial da água na folha entre os três ambientes, observada próximo ao meio-dia, em 15 de dezembro, foi causada possivelmente, pela ocorrência de vento que, neste dia, apresentou a maior velocidade, já que os níveis de radiação se mantiveram semelhantes, nos dias de determinação, variando de $12,6$ a $15,9\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ no ambiente externo. Isto leva a crer que as diferenças no potencial da água na folha somente ocorrem quando existe uma conjugação dos fatores determinantes de alta demanda evaporativa, que são radiação solar, vento e temperatura elevados e umidade relativa do ar baixa.

As pequenas diferenças dos outros dias pode ser devida à aclimação das plantas, quando permaneceram em um mesmo tipo de ambiente, o que foi observado por Montero et al. (2001). Estes verificaram que plantas cultivadas em ambientes com alta demanda evaporativa, desde o início do ciclo cultural, não apresentaram variações de condutância estomática, medida com o porômetro, mesmo em ambientes com temperatura acima de 36°C e déficit de saturação variando entre $1,4$ a $3,4\text{ kPa}$.

Nos dias em que os potenciais de base (medidos na primeira hora da manhã) foram mais elevados nas plantas de fora da estufa, estes foram precedidos por dias com elevada precipitação pluvial. Ao contrário, dias com potenciais semelhantes, não foram precedidos pela ocorrência de chuvas próximas, quando, então, o fornecimento de água às plantas era feito somente por irrigação, nos três ambientes. A distribuição de água no solo pela chuva, que ocorreu fora da estufa, se diferencia daquela propiciada pela irrigação por gotejamento, feita nas estufas. Enquanto o movimento da água da chuva no solo é unidirecional (vertical), o da irrigação por gotejamento é multidirecional (radial). Esta diferença pode

causar variações de potencial da água próximo às raízes, explicando as diferenças observadas nos potenciais de base. Este resultado está de acordo com observações de Katerji et al. (1988), de que este é um parâmetro indicador do estado hídrico da planta relacionado somente com o solo, sendo independente das condições micrometeorológicas observadas ao longo do dia. Itier et al. (1990) também mostraram a relação estreita entre o potencial de base do tomateiro e o déficit de água no solo.

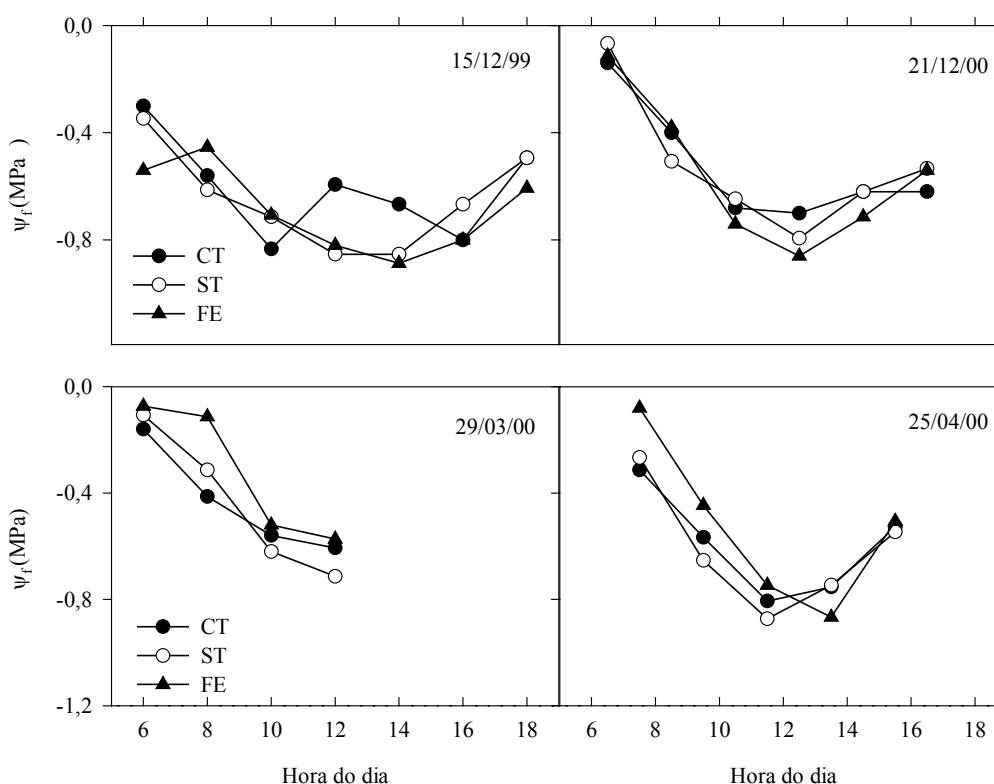


FIGURA 57 - Potencial da água na folha (ψ_f) em plantas de tomateiro cultivado em estufas plásticas com tela anti-inseto (CT), sem tela (ST) e fora das estufas (FE), nos dias 15/12 e 21/12/1999 e 29/03 e 25/04/2000. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

Takagi et al. (1998) verificaram que, em condições de potencial da água no solo próximo a zero, e com umidade do ar próxima à saturação durante à noite, não ocorreram diferenças no potencial de base, em três espécies estudadas.

4.3.9. Transpiração

Os dados coletados no experimento conduzido na sede da Embrapa/Clima Temperado, em Pelotas, no período de 20 de novembro de 2000 a 26 de janeiro de 2001, mostraram que a transpiração das plantas aumentou do início do ciclo, até 38 dias após o transplante (DAT), com o aumento da área foliar. A partir daí, a transpiração diminuiu, o que pode ser atribuído ao fato de que, neste período, foi grande a ocorrência de dias nublados e chuvosos, além da restrição no crescimento das raízes pelo pequeno volume do vaso (Figura 58). A Figura 58 mostra valores de transpiração nos ambientes de estufa com tela e fora da estufa, medidos em plantas sem restrição hídrica no solo. Estes valores podem ser considerados como sendo a transpiração potencial da cultura, já que a umidade do solo foi sempre mantida próximo à capacidade de campo. A Figura 58 mostra que houve redução na transpiração média diária, nos dois ambientes, em função da restrição na disponibilidade de água no solo. Li et al. (2001) confirmaram a hipótese de que a transpiração potencial nos ambientes protegidos é sempre menor do que fora deles. Verifica-se que, a redução da umidade no solo afetou a transpiração nos dois ambientes, porém a diferença entre ambos tendeu a desaparecer (Figura 58).

Os resultados permitem inferir que o efeito da demanda evaporativa atmosférica sobre a transpiração do tomateiro ocorre somente se não houver limitação de suprimento hídrico. Em outras palavras, à medida que é reduzida a disponibilidade hídrica no solo, a demanda evaporativa passa a ter menor influência, diante da limitação na absorção de água pelas raízes, o que leva a planta à condição de déficit hídrico. Li et al. (2001) mostraram que a combinação de alta demanda e baixo potencial da água nas raízes promovem redução da matéria fresca de frutos e que a redução da demanda evaporativa pode modificar esta redução de produção. Os autores também verificaram que os dois fatores, demanda atmosférica e potencial da água nas raízes, é que determinam o estado hídrico da planta.

Quando combinados, baixo potencial e alta demanda, determinam um estado hídrico desfavorável e influem negativamente na produção das plantas.

A Figura 59 mostra que a razão entre a transpiração máxima das plantas cultivadas nos dois ambientes, dentro e fora da estufa, é crescente ao longo do ciclo. Portanto, o total diário da transpiração das plantas da estufa se aproxima daquele das plantas de fora da estufa ao longo do ciclo, o que pode ser atribuído ao maior crescimento da área foliar dentro da estufa ou à redução da demanda evaporativa ocorrida no período. Este aumento de área foliar tendeu a modificar esta relação entre plantas isoladas. A ocorrência de valores maiores do que um, que significam transpiração maior dentro da estufa, se deu em dias com baixa radiação, o que também foi observado por Buriol et al. (2001).

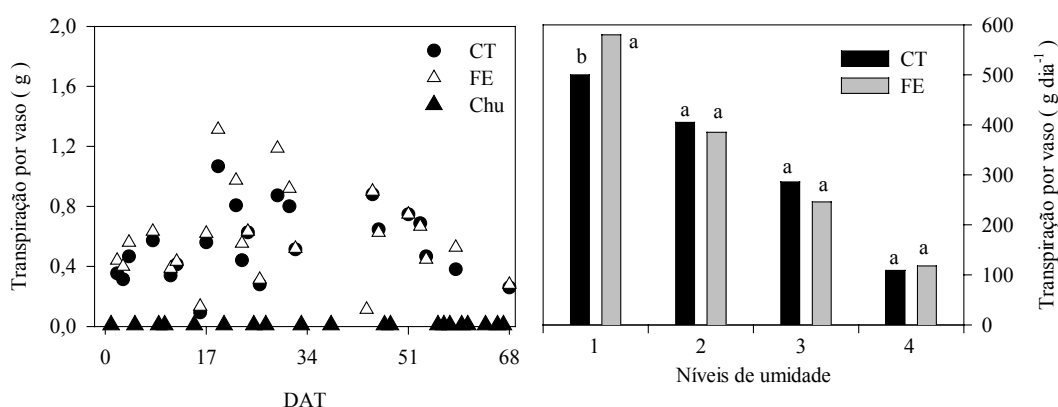


FIGURA 58 - Transpiração de tomateiro cultivado em estufa com tela (CT) e fora da estufa (FE), dias de chuva (Chu) e média diária da transpiração para quatro níveis de umidade do solo, nos ambientes CT e FE. Embrapa/Clima Temperado, Pelotas, 2000-2001. Para cada umidade, colunas com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Duncan ao NS=5%.

Com restrição de água no solo, a razão entre a transpiração das plantas de dentro da estufa e as de fora, para cada nível de umidade, tendeu a aumentar com a restrição de água, até o nível de umidade 3, caindo para 0,92 quando o solo apresentava o nível de umidade 4.

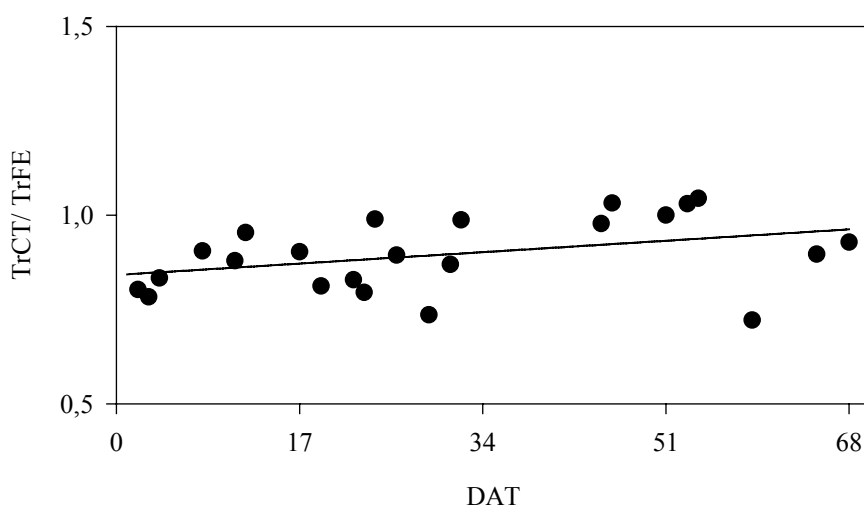


FIGURA 59 – Relação entre a transpiração potencial de plantas de tomateiro cultivadas dentro de uma estufa com tela anti-insetos (CT) e fora da estufa (FE) em função dos dias após o transplante (DAT). Embrapa/Clima Temperado, Pelotas-RS, 2000-2001.

Com redução de nível de umidade do solo de 25%, a relação da transpiração entre os ambientes aumentou em 14% (de 0,90 para 1,06). Com a queda de 50% na umidade do solo a relação aumentou 28,4% (de 0,90 para 1,16) (Figura 60). Este aumento relativo da transpiração das plantas de dentro da estufa para as de fora, mostra que o controle estomático da planta foi maior nas plantas com demanda atmosférica maior no ambiente

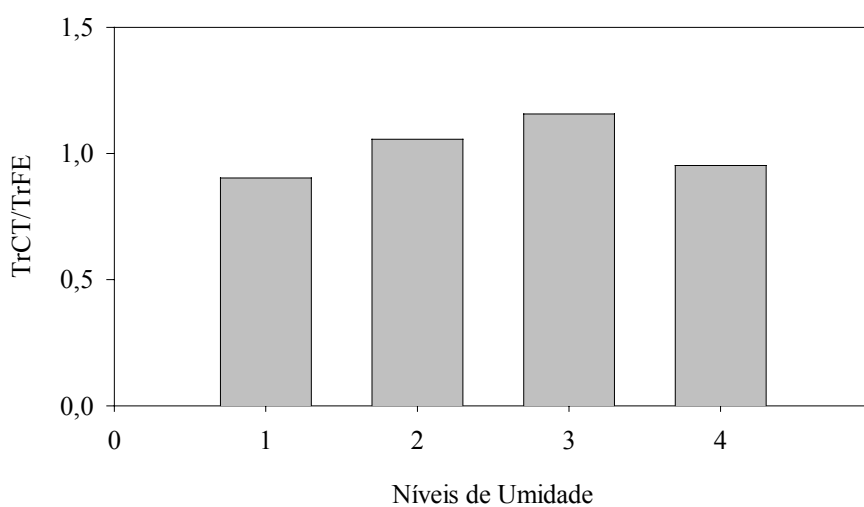


FIGURA 60 – Razão da transpiração entre os ambientes de estufa com tela anti-insetos (TrCT) e fora da estufa (TrFE), em quatro níveis de umidade do solo. Embrapa/Clima Temperado, Pelotas-RS, 2000-2001.

externo. A razão foi equivalente em plantas bem irrigadas (Tr_{CT1}/Tr_{FE1}) e naquelas com alta restrição de água (Tr_{CT4}/Tr_{FE4}), o que demonstra que as plantas tiveram controle estomático para cada nível de umidade semelhante. Assim, para ótima condição hídrica o controle estomático é pequeno ou nulo, enquanto que para alta restrição hídrica o controle é elevado, ou seja, existe fechamento dos estômatos quase que total.

A transpiração relativa das plantas, nos níveis de umidade do solo 2 e 3, mostra valores mais altos naquelas cultivadas dentro do ambiente protegido (estufa) do que naquelas cultivadas fora da estufa (Figura 61). Esta determinação evidencia que as plantas sem a proteção da estufa apresentam maior resistência à transferência de água para a atmosfera. Esta resistência é relacionada com o estresse da planta, pois plantas com menor estresse apresentam maior transpiração relativa. A redução de água no solo mostrou que, a partir de determinada umidade (nível 4) do solo, as plantas dos dois ambientes tendem a apresentar a mesma redução da transpiração, com a conseqüente redução de transpiração relativa. Segundo Larcher (2000), sob forte estresse hídrico os estômatos permanecem fechados, não mais respondendo aos fatores externos. Estas reduções elevadas mostram um grande fechamento estomático de todas as plantas. Itier et al. (1990), citam que a água disponível no solo pode ser um bom indicador da evapotranspiração relativa, mas que os resultados não podem ser usados em outros lugares, enquanto que indicadores de estresse hídrico podem ser usados generalizadamente, porque as características do solo são diretamente integradas com as respostas da planta. Neste mesmo trabalho, os autores mostram a relação direta do índice de estresse hídrico da planta (CWSI), com a evapotranspiração relativa do tomateiro.

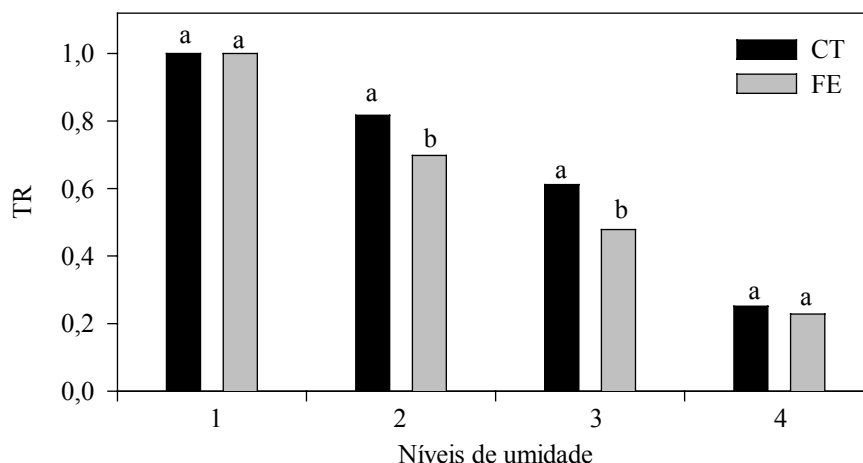


FIGURA 61 - Transpiração relativa do tomateiro (TR) cultivado em estufa plástica com tela anti-insetos (CT) e fora da estufa (FE), para quatro níveis de umidade (tensão de água) no solo. Embrapa/Clima Temperado, Pelotas-RS, 2000-2001. Para cada nível de umidade, colunas com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Duncan ao NS=5%.

4.3.10. Anatomia foliar

Das observações feitas com microscópio ótico nas folhas de tomateiro, verificou-se que houve diferenças mais nítidas entre as plantas dos dois ambientes da estufa do que destas com as plantas cultivadas em ambiente de fora da estufa. A Tabela 6 mostra resultado de análises realizadas, com médias e seus desvios. A anatomia interna das folhas de plantas cultivadas nos ambientes com e sem tela se diferenciaram em todas as análises, menos no número de células contidas na amostra. Por outro lado, as folhas das plantas cultivadas fora da estufa nunca se diferenciaram daquelas dos outros dois ambientes, sendo sempre semelhantes, em anatomia, às características das folhas de algum deles.

A espessura da folha das plantas cultivadas dentro das estufas foi maior no ambiente com tela do que as do sem tela. A espessura das folhas do ambiente de fora da estufa, apesar de apresentar a maior média, também teve maior variabilidade, o que não permitiu diferenciá-las dos demais ambientes. Esta variabilidade de dados pode sinalizar a possibilidade de existência de diferença entre as plantas, já que as menores espessuras de

folha do ambiente sem tela são muito menores do que as maiores espessuras de folhas de fora da estufa. As folhas do ambiente com tela não apresentaram grande variação, o que pode representar a espessura média das plantas (Figura 62).

Plantas cultivadas em diferentes ambientes, quanto à disponibilidade de luz, alteram suas características morfológicas, sendo uma delas a espessura da folha. Boardmann (1977) cita que plantas cultivadas sob maior disponibilidade de radiação solar, têm maior desenvolvimento dos parênquimas paliçádico e lacunoso, proporcionando folhas mais espessas. Além disso, as células são menores e com maior densidade dentro das folhas. Salisbury & Ross (1994) também citam que as folhas de plantas de sombra são mais finas do que as de sol, devido à menor espessura do parênquima paliçádico.

TABELA 6 - Média e desvio padrão das determinações morfológicas feitas em folhas de tomateiro cultivado em estufa plástica com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (FE). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

	Com Tela		Sem Tela		Fora da Estufa	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Área do paliçádico (mm ²)	0,0669	0,0046	0,0469	0,0135	0,0678	0,0176
Área do esponjoso (mm ²)	0,0698	0,0040	0,0570	0,0088	0,0840	0,0137
Área do mesófilo (mm ²)	0,1365	0,0044	0,1039	0,0188	0,1518	0,0310
NºCélulas paliçádico	20,25	0,96	21,00	4,54	20,25	0,96
NºCélulas esponjoso	62,5	3,1	60,5	6,7	59,0	18,1
NºCélulas total	82,75	2,87	81,50	9,15	79,25	17,27
Densidade celular do paliçádico(cel/mm ²)	303,80	27,31	458,09	83,24	309,95	59,35
Densidade celular do esponjoso(cel/mm ²)	895,58	20,75	1069,26	109,84	728,06	304,45
Densidade celular do mesófilo(cel/mm ²)	605,28	17,36	796,93	115,70	542,53	182,04
Espessura da folha (entre as epidermes) (µm)	269,96	9,12	206,83	36,62	299,21	67,23
Porcentagem (%)do paliçádico no mesófilo	49,00	0,03	45,00	0,06	44,00	0,03

Também, devido à maior variabilidade dos dados, a média da densidade total de células de uma amostra de folha, das plantas cultivadas fora da estufa, apesar de ser menor, não se diferenciou dos outros dois ambientes, os quais apresentaram diferenças entre si. As folhas das plantas da estufa sem tela tiveram médias de densidade celular maiores do que as da estufa com tela. Se os espaços intercelulares da folha forem semelhantes, menor densidade pode representar tamanho celular maior.

As observações em microscopia eletrônica também não conseguiram indicar tendência clara de diferenças nas densidades de estômatos e tricomas, devido à alta variabilidade das medidas. Mostraram, porém, que a densidade de estômatos das folhas do ambiente com tela apresentaram uma média maior. Este resultado vai contra os de Boardman (1977) que diz que plantas desenvolvidas sob alta disponibilidade luminosa

TABELA 7 - Densidade de tricomas e estômatos por mm^2 , em folhas de tomateiro cultivado em estufa plástica com tela anti-insetos (CT) e fora da estufa (FE) na sede da EMBRAPA-Clima Temperado. Pelotas-RS, 2001.

	FE		CT	
	Tricomas	Estômatos	Tricomas	Estômatos
Amostra 1	48	168	90	306
Amostra 2	78	216	48	174

apresentam maior densidade de estômatos em suas folhas. (Tabela 7). Por outro lado, Grange & Hand (1987) citam que, em estudos com tomateiro, a umidade não determinou mudança da densidade de estômatos sob condições de baixa luminosidade.

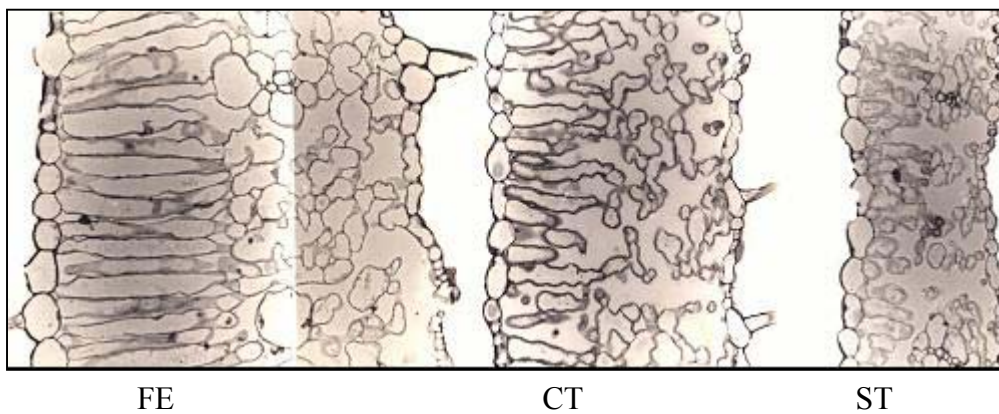


FIGURA 62 - Fotografia feita em microscópio ótico, de corte transversal de folhas de tomateiro cultivados em estufa com tela anti-insetos (CT) sem tela (ST) e fora da estufa (FE). Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.

5. CONCLUSÕES

No interior de estufas de polietileno de baixa densidade há menor disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa do que no ambiente externo.

O uso de tela anti-insetos nas laterais de estufas de polietileno de baixa densidade reduz a disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa.

As temperaturas do ar dentro de estufas plásticas, com ou sem tela anti-insetos, dependem das condições térmicas do ambiente externo.

Há pequena variação espacial da temperatura do ar noturna em estufas plásticas, com ou sem tela anti-insetos. Assim, medidas tomadas no ponto central das estufas, a 1,40m acima do solo, são representativas de todo o ambiente, para a mesma altura.

Nos horários de maior disponibilidade de radiação solar, a temperatura do ar mais elevada, a 1,40m acima do solo, ocorre na metade norte da estufa, enquanto que a temperatura mais baixa se encontra junto ao centro.

Em estufas plásticas modelo pampeana, com ou sem tela anti-insetos, a elevação da temperatura do ar não limita a produção de tomates durante as épocas mais quentes do ano, no Rio Grande do Sul.

A transpiração do tomateiro aumenta a umidade relativa do ar em estufas plásticas e este efeito tem relação direta com o aumento da área foliar e a redução na ventilação.

A presença da cultura e dos elementos de sustentação da estufa reduzem a velocidade do vento dentro de estufas plásticas, mesmo que estas estejam abertas lateralmente.

Tela anti-insetos, colocada nas laterais das estufas plásticas, reduz a velocidade do vento e este efeito aumenta com velocidades inferiores a 5 m s^{-1} .

A transpiração do tomateiro mantém mais elevado o potencial da água na atmosfera dentro de estufas plásticas com tela anti-insetos do que em estufas sem tela ou no ambiente externo, principalmente acima do dossel vegetal e no período em que as plantas apresentam maior área foliar.

Tomateiro de hábito de crescimento determinado cultivado em estufas plásticas apresenta maior altura de planta, em resposta à menor disponibilidade de radiação solar, na comparação ao cultivo em ambiente externo.

Tomateiro cultivado em ambientes de estufa plástica, principalmente com tela anti-insetos nas laterais, apresenta maior área foliar para a mesma quantidade de biomassa produzida, comparado àquele cultivado a céu aberto.

Alterações no ambiente físico de estufas plásticas não afetam a taxa fotossintética do tomateiro.

A elevação da umidade do ar causada pela redução da ventilação, em estufas com tela anti-insetos, propicia maior condutância foliar em tomateiro.

Sob condições de alta demanda evaporativa atmosférica, o tomateiro cultivado em estufas plásticas apresenta maior potencial da água na planta, durante o período diurno.

Sob limitação de disponibilidade de água no solo, o tomateiro cultivado dentro de estufas plásticas tem maior transpiração do que no ambiente externo, em função de uma melhor condição hídrica.

A aclimação do tomateiro cultivado em estufas plásticas propicia desenvolvimento de características morfológicas de plantas de sombra.

Há maior produção de biomassa em tomateiro cultivado em estufas plásticas do que em ambientes externo, em função do aumento da eficiência de uso de radiação associado a aumentos de área foliar específica e duração da área foliar.

As alterações micrometeorológicas promovidas por estufas plásticas não influem na duração dos períodos entre fases fenológicas do tomateiro, com exceção à duração do período de colheita de frutos.

Em cultivos de primavera-verão e verão-outono, o tamanho médio, a taxa de crescimento e o conteúdo de matéria seca de tomates produzidos em estufas plásticas não são influenciados pelas modificações micrometeorológicas provocadas por estes abrigos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste trabalho, apesar de nem todos se mostrarem conclusivos e significativos, apresentam fortes tendências que indicam respostas da produção de tomates em ambientes de estufas plásticas, que, nem sempre, são favoráveis à produtividade máxima.

A aclimatação das plantas é uma das tendências observadas, a partir da qual as plantas se modificam morfológicamente e criam condições para aproveitar os recursos disponíveis da melhor maneira possível, no sentido de maximizar sua produtividade.

Estas modificações são causadas, principalmente, pelas alterações na radiação solar. Com certeza, a quantidade e, talvez, a qualidade da radiação disponível dentro das estufas são alteradas, em relação àquela que incide na parte externa do abrigo. A redução da advecção, decorrente da presença do plástico, de telas e dos elementos estruturais, é outro fator que modifica a disponibilidade de energia em ambientes protegidos. Deste modo, a redução da ventilação também provoca influência direta sobre as plantas.

Estas duas alterações (radiação solar e vento) são as responsáveis por outras modificações nos elementos micrometeorológicos, que também podem influenciar as plantas. Uma delas, mostrada neste trabalho, é o aumento da umidade do ar do ambiente, associado à transpiração das plantas, tão importante na atenuação da demanda evaporativa atmosférica nas horas mais quentes do dia.

Modificações morfológicas, como altura da planta e área foliar específica, que permitem que a planta aumente a captação de radiação com a mesma matéria seca, são responsáveis pelo aumento da eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa em mais de 50%.

Modificações em tecidos (tendência observada neste trabalho), como tamanho de células, espessura de folha e possivelmente, outras relacionadas a plantas de sombra devem ser melhor estudadas, já que podem, também contribuir para o aumento da eficiência de transformação da energia solar em biomassa.

Outras alterações, como redução do ponto de compensação luminoso, em resposta à aclimatação em menor disponibilidade de radiação solar, assim como aumentos na condutância foliar e conseqüente melhoria na condição hídrica das plantas, decorrentes de uma menor demanda atmosférica resultante de aumento da umidade do ar e redução da radiação solar incidente, também podem estar ligadas à maior produtividade em ambientes protegidos. Estes aspectos também devem ser avaliados com mais detalhes e profundidade.

A proteção de plantas a fatores que favorecem o desenvolvimento de patógenos, como chuva e ventos, determinante da duração da área foliar, deve ser melhor estudada, pois se mostrou decisiva sobre aumentos de produtividade em ambientes protegidos.

Com base no exposto acima, seria importante o desenvolvimento de trabalhos como os citados a seguir, que, complementando este trabalho, auxiliariam a entender melhor a produção sob estufas plásticas, como:

- Avaliar a eficácia de indicadores de estresse hídrico mais sensíveis, como potencial osmótico e temperatura foliar, para se verificar com maior precisão a condição hídrica de plantas cultivadas em ambientes de estufa.

- Verificar as relações entre características de planta de sol com a sua condição hídrica.

- Avaliar modificações morfológicas em plantas cultivadas dentro de estufa com metodologias específicas, tentando identificá-las ao nível de células, tecidos e órgãos.

- Repetir este trabalho no período mais frio do ano, com o objetivo de verificar a magnitude e a influência de aumentos na temperatura diurna sobre o desenvolvimento das plantas e a produtividade do tomateiro.

- Avaliar indicadores de estresse hídrico em outras espécies cultivadas em ambientes protegidos, para se verificar se existem as mesmas tendências observadas no presente estudo.

- Verificar modificações na radiação solar em estufas plásticas com e sem tela anti-insetos, e suas influências em termos de modificações morfológicas de plantas cultivadas nestes ambientes.

- Avaliar a necessidade e a eficácia do emprego de insetos polinizadores em estufas fechadas com tela anti-insetos, bem como definir seu manejo mais adequado.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOU-HADID, A.F.; EL-BELTAGY, A.S. Water balance under plastic house conditions in Egypt. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.303, p.61-72, 1992.
- ABREU, P.E.; MONTEIRO, A.A.; MENESES, J.F. Response of non heated plastic covered greenhouse tomatoes during the cool season and under two different natural ventilation. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.366, p.195-200, 1994.
- ABRIL, M.; HANANO, R. Ecophysiological responses of three evergreen wood Mediterranean species to water stress. **Acta Oecologica**, Paris, v.19, n.4, p.377-387, 1998.
- ACKERSON, R.C.; KRIEG, D.R. Stomatal and nonstomatal regulation of water use in cotton, corn and sorghum. **Plant Physiology**, Rockville, v.60, p.850-853, 1977.
- ALMEIDA, H.A. Relação entre a radiação fotossinteticamente ativa e a global no agrossistema cacau. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBA, 1999. p.2212-2217. 1CD-ROM.
- ANDRIOLO, J.L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 1999. 142p.
- BAILLE, M.; BAILLE, A.; DELMON, D. Microclimate and transpiration of greenhouse rose crops. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.71, p.83-97, 1994.
- BAILLE, A.; KITTAS, C.; KATSOULAS, N. Influence of whitening on greenhouse microclimate and crop energy partitioning. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.107, p.293-306, 2001.
- BAÑUELOS, G.S.; OFFERMANN, G.P.; SEIM, E.C. High relative humidity promotes blossom-end rot on growing tomato fruit. **HortScience**, Alexandria, v.20, n.5, p.894-895, 1985.
- BATTA, L.G.G. Modelling of water potential and water uptake rate of greenhouse tomato plants. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.248, p.355-360, 1989.

- BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M.R. **Agroclima da Estação Experimental Agrônômica**. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1990. 91p. (não publicado).
- BERGAMASCHI, H. **Perda de água e desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob diferentes condições da disponibilidade hídrica no solo e da atmosfera**. 1984. 204f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1984.
- BERGONCI, J.I. **Avaliação de indicadores de déficit hídrico em milho**. 1997. 117f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- BERGONCI, J.I. et al. Potencial da água na folha como indicador de déficit hídrico em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.8, p.1531-1540, 2000.
- BERTIN, N.; GARY, C. Short and long fluctuations of the mass per area of tomato plants – implications for growth models. **Annals of Botany**, London, v.82, p.71-81, 1998.
- BOARDMAN, N.K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.28, p.355-377, 1977.
- BOHNERT, H.J. Adaptations to environment stresses. **The Plant Cell**, Rockville, v.7, p.1099-1111, 1995.
- BOULARD, T. et al. The mechanisms involved in the natural ventilation of greenhouses. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.79, p.61-77, 1996.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30).
- BRUM, R.; TOURNIER, J.P. Micrometric measurement of stem diameter changes as a means to detect nutritional stress of tomato plants. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.304, p. 265-272, 1992.
- BURIOL, G.A. et al. Modificação na temperatura mínima do ar causada por estufas de polietileno transparente de baixa densidade. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p.43-49, 1993.
- BURIOL, G.A. et al. Modificação da umidade relativa do ar pelo uso e manejo da estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.8, n.1, p.11-18, 2000.
- BURIOL, G.A. et al. Evaporação d'água em estufas plásticas e sua relação com o ambiente externo: 1- Avaliação com o uso de tanque classe A e do evaporímetro de Piche. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.1, p.35-41, 2001.

- CASTILLA PRADOS, C. Condiciones ambientales en invernaderos no climatizados. In: PEREZ PARRA, J.; CUADRADO GÓMEZ, I.M. (Ed.). **Tecnología de Invernaderos II**, Almeria: FIAPA, 1998, p.163-177. Curso de Especialización.
- CHAPIN III, F.S. Integrated responses of plants to stress. A centralized system of physiological responses. **Bioscience**, Albertson, v.41, n.1, p.29-36, 1991.
- CHARLES-EDWARDS, D.A.; DOLEY, D.; RIMMINGTON, G.M. **Modelling plant growth and development**. North Ryde: Academic Press, 1986. 235p.
- CHARTZOULAKIS, K. et al. Water stress affects leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.1778, p.1-13, 2002.
- CHIARIELLO, N.R.; GULMON, S.L. Stress effects on plant reproduction. In: MOONEY, H.A.; WINNER, W.E.; PELL, E.J. **Response of the plants to multiple stress**. San Diego: Academic Press, 1991. p.162-184.
- COCKSHULL, K.E.; GRAVES, C.J.; CAVE, C.R.J. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. **Journal of Horticultural Science**, Asford, v.67, n.1, p.11-24, 1992.
- CONFALONE, A.E.; COSTA, C.L.; PEREIRA, C.R. Crescimento e captura de luz em soja sob estresse hídrico. **Revista Brasileira Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.2, p.165-169, 1998.
- COSTA, L.C.; MORISSON, J.; DENNETT, M.D. Effects of the wather stress on photosynthesis, respiration and growth of faba bean (*Vicia faba*, L.) growing under field conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.3, p.277-281, 1997a.
- COSTA, L.C.; MORISSON, J.; DENNETT, M.D. Effects of the weather on growth and radiation intercepted by faba bean. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.9-16, 1997b.
- DAÍ, Z.; EDWARDS, G.E.; KU, M.S.B. Control of photosynthesis and stomatal conductance in *Ricinus communis* L. (Castor bean) by leaf to air vapor pressure deficit. **Plant Physiology**, Rockville, v.99, p. 1426-1434, 1992.
- DALSASSO, L.C.M. et al. Consumo d'água do tomateiro tipo salada em estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.61-67, 1997.
- DAYAN, E. et al. A sistem for measurin photosynthesis and respiration rates of crops in commercial size greenhouses. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.174, p. 505-512, 1985.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 421p.

- FARIAS, J.R.B. et al. Alterações na temperatura e umidade relativa do ar provocadas pelo uso de estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p.51-62, 1993.
- FARIAS, J.R.B.; BERGAMASCHI, H.; MARTINS, S.R. Evapotranspiração no interior de estufas plásticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.2, n.1, p.17-22, 1994.
- FARIAS, J.R.B. et al. Efeito da cobertura plástica sobre a radiação solar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p. 31-36, 1993.
- FERNANDEZ, H.; CONTI, H.; DI BENEDETTO, A. Heat stress and cut roses productivity in Argentina. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.357, p.123-134, 1994.
- FOLEGATTI, M.V. et al. Efeito da cobertura plástica sobre os elementos meteorológicos e evapotranspiração da cultura de crisântemo em estufa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.2, p.155-163, 1997.
- FRANÇA, S. et al. Radiação fotossinteticamente ativa e sua relação com a radiação solar global em dossel de alfafa, em função do índice de área foliar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.2, p.147-153, 1997.
- FRANCESCANGELI, N. et al. Sombreado de invernaderos. Efectos sobre el microclima y la aparición de la podredumbre apical del fruto en tomate de producción primavera-estival. **Horticultura Argentina**, Buenos Aires, v.13, n.33, p.65-70, 1994.
- GALVÉZ, J.L. Perspectiva global sobre la agricultura en invernadero. In: DIAS ALVARES, J.R.; PEREZ PARRA, J. (Ed.). **Tecnología de Invernaderos**. Almeria: FIAPA, 1994. p.15-29. Curso de Especialización.
- GARDNER, B.R.; NIELSEN, D.C.; SHOCK, C.C. Infrared thermometry and the crop water stress index. II. Sampling procedure and interpretation. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.5, p.462-466, 1992.
- GEBRE, G.M.; KUHNS, M.R. Effects of water stress preconditioning on gas exchange and water relations of *Populus deltoides* clones. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.23, n.7, p.1291-1297, 1993.
- GIANQUINTO, G.; CECCON, P.; GIOVANARDI, R. Evapotranspiration, growth and yield of fresh market tomato (*Lycopersicon esculentum* L.), at two irrigation levels. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.278, p. 579-586, 1990.
- GRANGE, R.I.; HAND, D.W. A review of the effects of atmospheric humidity on the growth of horticultural crops. **Journal of Horticultural Science**, Asford, v.62, n.2, p.125-134, 1987.

- GRANTZ, D.A.; MEINZER, F.C. Regulation of transpiration in field-grown sugarcane: evaluation of the stomatal response to humidity with the Bowen ratio technique. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.53, p.169-183, 1991.
- GRIME, J.P.; CAMPBELL, B.D. Growth rate, habitat productivity, and plant strategy as predictors of stress response. In: MOONEY, H.A.; WINNER, W.E.; PELL, E.J. **Response of the plants to multiple stress**. San Diego: Academic Press, 1991. p.143-157.
- HAYAT, M.A. **Introduction to biological scanning electron microscopy**. Baltimore: University Park Press, 1978. 323p.
- HELDWEIN, A.B. et al. Evaporação d'água em estufas plásticas e sua relação com o ambiente externo: 2- Efeito da espécie cultivada e da época do ano nos valores obtidos com minitanques. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.1, p.43-49, 2001.
- HEUVELINK, E. Growth, development and yield of a tomato crop: periodic destructive measurements in a greenhouse. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.61, p.77-99, 1995.
- HEWITT, J.D.; MARRUSH, M. Remobilization of nonstructural carbohydrate from vegetative tissues to fruit in tomato. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v.111, p.142-145, 1986.
- HOMMOND, J.B.W. et al. Source-sink relationships and metabolism in tomato leaves. II. Carbohydrate pools and catabolic enzymes. **Annals of Botany**, London, v.53, p.307-314, 1984.
- HOPKINS, W.G. **Introduction to plant physiology**. New York: John Wiley & Sons, 1995. 464 p.
- HSIAO, T.C. Leaf and root growth in relation to water stress. **HortScience**, Alexandria, v.35, n.6, p.1051-1057, 2000.
- HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, Rockville, v.24, p.519-570, 1973.
- HUNT, R. **Plant Growth Analysis**. Southampton: Camelot Press, 1978. 67p.
- IEPEREN, van W. Dynamic effects of changes in electric conductivity on transpiration and growth fo greenhouse-grown tomato plants. **Journal of Horticultural Science**, Asford, v.71, n.3, p.481-496, 1996.
- IPAGRO. Seção de Ecologia Agrícola. **Atlas do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Pallotti, 1989. 1v.
- ITIER, B. et al. Relative evapotranspiration in relation to soil water deficit and predawn leaf water potential – Aplication to tomato crop. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.278, p.101-111, 1990.

- JOHNSON, R.W.; DIXON, M.A.; LEE, D.R. Water relations of the tomato during fruit growth. **Plant and Cell Environment**, Oxford, v.15, p. 947-953, 1992.
- JORDAN, W.R.; RITCHIE, J.T. Influence of soil water stress on evaporation, root absorption, and internal water status of cotton. **Plant Physiology**, Rockville, v.48, p.783-788, 1971.
- KATERJI, N.; ITIER, B.; FERREIRA, I. Étude de quelque critères indicateurs de l'état hydrique d'une culture de tomate en région semi-aride. **Agronomie**, Paris, v.8, n.5, p.425-433, 1988.
- KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 495 p.
- LAMBERS, H.; CHAPIN III, F.S.; PONS, T.L. **Plant physiologiclce ecology**. New York: Springer, 1998. 540p.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2000. 531p.
- LEONARDI, C.; GUICHARD, S.; BERTIN, N. Hight vapour pressure deficit influences growth, transpiration and quality of tomato fruits. **Scientia Horticulturae**, Amsterdan, v.84, p.285-296, 2000.
- LEVITT, J. **Responses of plants to environment stresses**. New York: Academic Press, 1972. 697p.
- LI, Y.L.; STANGHELLINI, C.. Analysis of the effect of EC and potential transpiration vegetative growth of tomato. **Scientia Horticulturae**, Amsterdan, v.89, p.9-21, 2001.
- LI, Y.L.; STANGHELLINI, C.; CHALLA, H. Effect of electrical condutivity and transpiration on production of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum L.*) **Scientia Horticulturae**, Amsterdan, v.88, p.11-29, 2001.
- LOCKHART, J.A. Cell extension. In: BONNER, J.; VARNER, J.E. (Ed.) **Plant biochemistry**. New York: Academic Press, 1965. p.826-849.
- LOPES, S.J. et al. Técnicas experimentais para tomateiro tipo salada sob estufas plásticas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.28, n.2, p.193-197, 1998.
- LORENZO MINGUEZ, P. Factores microclimáticos que limitan el desarrollo y la producción de cultivos bajo protección en el área mediterránea. In: DIAS ALVARES, J.R.; PEREZ PARRA, J. (Ed.). **Tecnología de Invernaderos**, Almeria: FIAPA, 1994. p.35-45. Curso de Especialización.
- MARTINEZ GARCIA, P.F. **Características climaticas de los invernaderos de plastico**. Madrid: INIA-Dep.Horticultura, 1978. 43p. (Hoja Tecnica)

- MARTINS, S.R.; GONZALES, J.F. Evapotranspiração e respostas fisiológicas do feijão-vagem cultivado em substrato em estufa com sistema de ventilação/calefação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.3, p.31-37, 1995.
- MASTALERZ, J.W. **The greenhouse environment**. New York: John Wiley & Sons, 1977. 629p.
- McCREE, K.J. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.10, p.443-453, 1972.
- McCULLEY, M.E. How do real roots work? Some new views of root structure. **Plant Physiology**, Rockville, v.109, p.1-6, 1995.
- McGIFFEN JUNIOR, M.E.; MASIUNAS, J.B.; HUCK, M.G. Tomato and nightshade (*Solanum nigrum* L. and *Solanum phyncythium* Dun.) effects on soil water content. **Journal of American Society of Horticultural Science**, Ashford, v.117, n.5, p. 730-735, 1992.
- MEINZER, F.C. et al. Stomatal and environment control of transpiration in a lowland tropical forest tree. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.16, p.429-436, 1993.
- MONTEITH, J.L.; UNSWORTH, M.H. **Principles of environment physics**. 2.ed. Great Britain: Edward Arnold, 1990. 291p.
- MONTERO, J.I. et al. Transpiration from geranium grown under high temperatures and low humidities in greenhouse. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.101, p.323-332, 2001.
- MONTERO J.I. et al. Climate under plastic in the Almeria área. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.170, p.227-234, 1985.
- MORINON, J.I.L.; GIFFORD, R.M. Stomatal sensitivity to carbon dioxide and humidity. A comparison of two C₃ and C₄ grass species. **Plant Physiology**, Rockville, v.71, p.789-796, 1983.
- NEUMANN, P.M.; VOLKENBURGH, E. van; CLELAND, R.E. Salinity stress inhibits bean leaf expansion by reducing turgor, not wall extensibility. **Plant Physiology**, Rockville, v.88, p. 233-237, 1988.
- NONAMI, H.; WU, Y.; BOYER, J.S. Decreased growth-induced water potential. A primary cause of growth inhibition at low water potentials. **Plant Physiology**, Rockville, v.114, p. 501-509, 1997.
- OLIVEIRA, L.B.; PAULA, J.L. de. Análises físicas: parte1. In: EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1979. (não publicado).

- PANDOLFO, C. Parâmetros básicos para uso na modelagem do rendimento de matéria seca em alfafa (*Medicago sativa* L.). 1995. 128f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.
- PEARCE, B.D.; GRANGE, R.I.; HARDWICK, K. The growth of young tomato fruit. II. Environmental influences on glasshouse crops grown in rockwool or nutrient film. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v.68, n.1, p.13-23, 1993.
- PEARCY, R.W. et al. Carbon gain by plants in natural environments: Carbon assimilation analysis provides on understanding of how plants function in diverse environments. **BioScience**, Albertson, v.37, n.1, p.21-29, 1987.
- PEÑUELAS, J. et al. Remotely measurements canopy temperature of greenhouse strawberries as indicator of water status and yield under mild and very mild water stress conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.58, p.63-77, 1992.
- PEREIRA, J.F.M.; REISSER JÚNIOR, C. Cultivo de verão do tomateiro em estufa plástica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 37, 1997. Manaus. **Resumos...** Brasília: Sociedade de Olericultura do Brasil, 1997. Resumo 222.
- PEREIRA, J.S. Gas exchange and growth. In: SCHULZE, E.; CALDWELL, M.M. (Ed.) **Ecophysiology of photosynthesis**. Berlin: Springer, 1995. p.147-175.
- PEZZOPANE, J.E.M.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; ORTOLANI, A.A. Modificações microclimáticas provocadas por estufa com cobertura plástica. **Bragantia**, Campinas, v.54, n.2, p.419-425, 1995.
- POTTER, J.R.; BOYER, J.S. Chloroplast response to low leaf water potentials. II. Role of osmotic potential. **Plant Physiology**, Rockville, v.51, p.993-997, 1973.
- PYRIMORTE, P. Amélioration de la conduite des arrosagens par des agriculteurs qui utilisent des tensiômetros. In: CONFÉRENCE INTERNATIONALE DES IRRIGATIONS ET DU DRAINAGE: Les besoins en eau des cultures.1984, Versailles. [**Anais...**]. Paris: INRA, 1984. p.809-820.
- RADIN, B. **Eficiência do uso da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do tomateiro em diferentes ambientes**. 2002. 124f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- REICH, P.B.; WALTERS, M.B.; ELLSWORTH, D.S. Leaf life-span as a determinant of leaf structure and function among 23 amazonian species. **Oecologia**, Heidelberg, v.86, p.16-24, 1991.
- REISSER JÚNIOR, C. **Evapotranspiração de alface em estufa plástica e ambiente natural**. 1991. 78f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Programa de Pós-

- graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria 1991.
- REISSER JÚNIOR, C.; REICHERT, L.J. **Construção de estufa modelo capela**. Pelotas: EMBRAPA-Clima Temperado, 1998. 21 p. (EMBRAPA-CPACT. Documentos, 43).
- REISSER JÚNIOR, C.; BURIOL G.A. Crescimento da alface (*Lactuca sativa*, L.) em estufa plástica e ambiente natural, em duas épocas do ano. **Hortisul**, Pelotas, v.3, n.4, p.15-20, 1996.
- REISSER JÚNIOR, C.; MEDEIROS, C.A.B. Variação diária das temperaturas de estufas plásticas em função do manejo das aberturas laterais. **Agropecuária Clima Temperado**, Pelotas, v.1, n.1, p.15-19, 1998.
- REISSER JÚNIOR, C.; PEREIRA, A.S.; HERTER, F.G. Protect-environment research at Embrapa-CNPFT. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.357, p.353-357, 1994.
- SAHA, R.R.; HARA, M. Influence of different soil moisture regimes on biomass production, water use, and nitrogen nutrition of tomato plants. **Environment Control in Biology**, Tokyo, v.36, n.1, p.1-12, 1998.
- SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Fisiologia vegetal**. México: Grupo Editorial Iberoamérica, 1994. 759p.
- SANTOS, R.F.; KLAR, A.E. Distribuição da evaporação em estufa plástica na primavera. **Irriga**, Botucatu, v.6, n.3, p.178-189, 2001.
- SASSENATH-COLE, G.F. et al. Photon flux density versus leaf senescence in determining photosynthetic efficiency and capacity of *Gossypium hirsutum* L. leaves. **Environmental and Experimental Botany**, Great Britain, v.36, n.4, p.439-446, 1996.
- SCHNEIDER, F.M. et al. Modificação na temperatura do solo causada por estufas de polietileno transparente de baixa densidade em Santa Maria-RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p.37-42, 1993.
- SCHOCH, P.G.; L'HÔTEL, J.C.; BRUNEL, B. Croissance du diamètre de la tige de tomate: effets du rayonnement et de la température nocturne. **Agriculture and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.50, p.229-238, 1990.
- SCHOLANDER, P.F. et al. Sap pressure in vascular plants. **Science**, London, v.148, p.339-346, 1965.
- SCHULZE, E.D. Carbon dioxide and water vapor exchange in response to drought in the atmosphere and in the soil. **Annual Review of Plant Physiology**, Rockville, v.37, p.247-274, 1986.
- SEGNER, I. Transpirational cooling of a greenhouse crop with partial ground cover. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.71, p.265-28, 1994.

- SEGOVIA, J.F.O. et al. Comparação do crescimento e desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa* L.) no interior e no exterior de estufas de polietileno em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.27, n.1, p.37-41, 1997.
- SENTELHAS, P.C.; VILLA NOVA, N.A.; ANGELOCCI, L.R. Efeito de diferentes tipos de cobertura, em miniestufas, na atenuação da radiação solar e da luminosidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBA, 1997. p.479-481.
- SINCLAIR, T.R.; HORIE, T. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. **Crop Science**, Madison, v.29, p.98-105, 1989.
- SONNEVELD, C.; WELLES, G.W.H. Yield and quality of rockwool-grown tomatoes as affected by variations in EC-value and climatic conditions. **Plant and Soil**, Perth, v.111, p.37-42, 1988.
- SORRENTINO, G.; CERIO, L.; ALVINO, A. Effect of shading and air temperature on leaf photosynthesis, fluorescence and growth in lily plants. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.69, p.259-273, 1997.
- STANGHELLINI, C. Environment effect on growth and its implications for climate management in Mediterranean greenhouses. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.361, p.57-66, 1994a.
- STANGHELLINI, C. Balance hídrico y manejo de microclima em invernadero. In: DIAS ALVAREZ, J.R.; PEREZ PARRA, J. (Ed.) **Tecnología de Invernaderos**. Almeria: FIAPA, 1994b. 352 p. Curso de Especialización.
- TAKAGI, K.; TSUBOYA, T.; TAKAHASHI, T. Diurnal hystereses of stomatal and bulk surface conductances in relation to vapor pressure deficit in a cool-temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.91, p.177-191, 1998.
- THIMIYAN, R.; HEINS, R.D. Photometric, radiometric, and quantum light units of measure: a review of procedures for interconversion. **HortScience**, Alexandria, v.18, n.6, p.818-822, 1983.
- UDO, S.O.; ARO, T.O. Global PAR related to global solar radiation for central Nigeria. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.97, p.21-31, 1999.
- VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. **Soil Science Society American Journal**, Maison, v.44, p.892-898, 1980.
- VARGUES, A.C. et al. The effect of greenhouse double-roof on tomato growth and yield. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.357, p.317-324, 1994.
- VARLET-GRANCHER, C. et al. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, Paris, v.9, p.414-439, 1989.

WANG, S.; BOULARD, T. Predicting the microclimate in a naturally ventilated plastic house in a Mediterranean climate. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe, v.75, p.27-38, 2000.

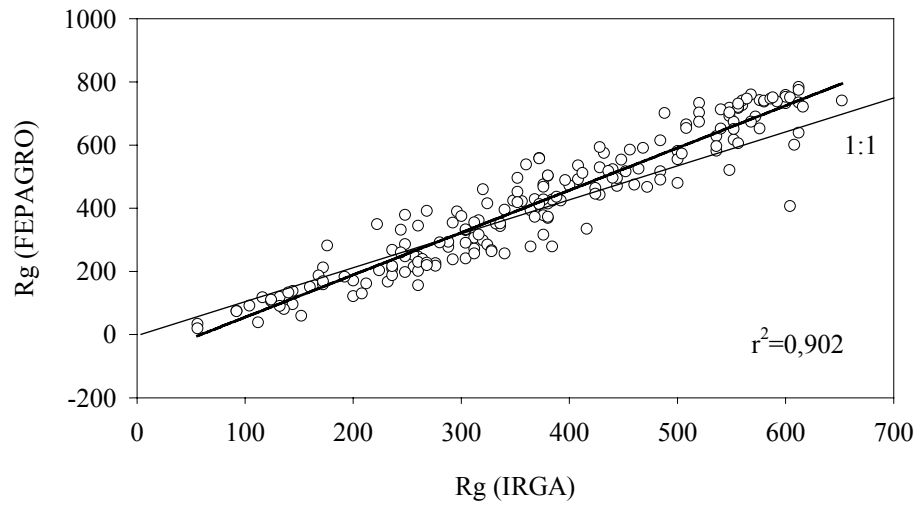
WANG, S.; BOULARD, T.; HAXAIRE, R. Air speed profiles in a naturally ventilated greenhouse with a tomato crop. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.96, p.181-188, 1999.

YANHONG, T. Natural, abiotic factors: Light. In: PRASAD, M.N.V. (Ed.) **Plant Ecophysiology**. New York: John Wiley & Sons, 1997. p.3-40.

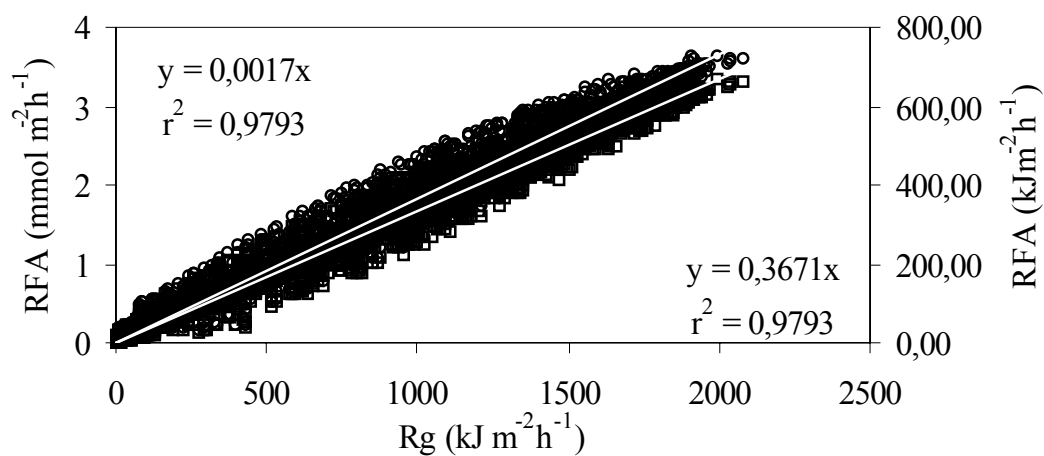
ZHANG, Y.; MAHRER, Y.; MARGOLIN, M. Predicting the microclimate inside a greenhouse: an application of a one-dimensional model in an unheated greenhouse. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.86, p.191-297, 1997.

8. APÊNDICES

APÊNDICE 1 Relação entre radiação solar global (Rg) medida no CPVDF Fepagro, em Eldorado do Sul e na estação do IRGA em Cachoeirinha, em $W m^{-2}$. Outubro de 1999 a junho de 2000.



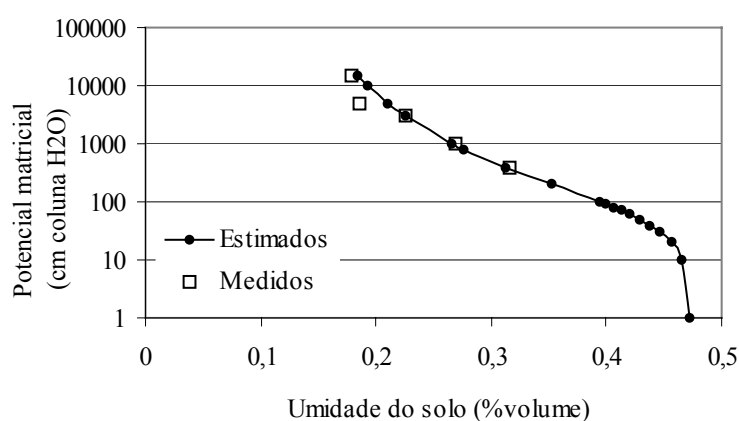
APÊNDICE 2 Relação entre radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e radiação solar global (Rg), média horária, medidas fora da estufa em $\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ e $\text{mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ no período de novembro de 1999 a junho de 2000. Fepagro. Eldorado do Sul-RS, 1999/2000.



APÊNDICE 3 Umidade do substrato (três repetições) para distintos potenciais matriciais, coeficientes da equação de Van Genuchten (1965) e curva característica do substrato usado na determinação da transpiração em vasos. Embrapa-Clima Temperado. Pelotas-RS, 2000.

Umidade do Substrato Base de massa (g g ⁻¹)			Umidade do Substrato Base de volume (m ³ m ⁻³)			Potencial matricial (Atm)
48,93	52,17	49,77	46,15	48,84	46,69	Saturação
33,93	33,28	33,84	32,00	31,17	31,75	0,33
29,33	29,11	27,78	27,67	27,25	26,07	1
24,95	24,15	22,85	23,53	22,61	21,44	3
19,87	19,82	19,39	18,74	18,56	18,19	5
18,96	19,44	18,49	17,88	18,20	17,35	15

Coeficientes da Equação	Símbolo	Valor
Umidade do substrato saturado	θ_s	0,4723
Umidade residual do substrato	θ_r	0,1260
Coeficiente	α	0,0159
Coeficiente	m	0,2447
Coeficiente	n	1,3241



APÊNDICE 4 Análise da variância da transpiração das plantas de tomateiro em dois ambientes (com tela e fora da estufa) com quatro níveis de umidade do substrato(N1-48,8. N2-36,6, N3-27,5, N4-20,6). Embrapa-Clima Temperado. Pelotas-RS, 2000.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Ambiente	1	0,00000048	0,00000048	0,00	0,9748
Nível de Umidade	3	0,63066428	0,21022143	448,98	0,0001
Amb * N.Umidade	3	0,00775126	0,00258375	5,52	0,0085
Erro	16	0,00749157	0,00046822		
Total	23	0,64590758			

Teste de comparação de médias, médias acompanhadas por letras iguais na coluna não se diferenciam entre si ao n.s.=5% pelo teste de Duncan.

Nível de Umidade 1		Nível de Umidade 2		Nível de Umidade 3		Nível de Umidade 4	
FE	0,58 A	CT	0,41 A	CT	0,29 A	FE	0,11 A
CT	0,52 B	FE	0,38 A	FE	0,25 A	CT	0,11 A
CV.= 3,23%		CV.= 6,14%		CV.=7,64%		CV.=20,79%	

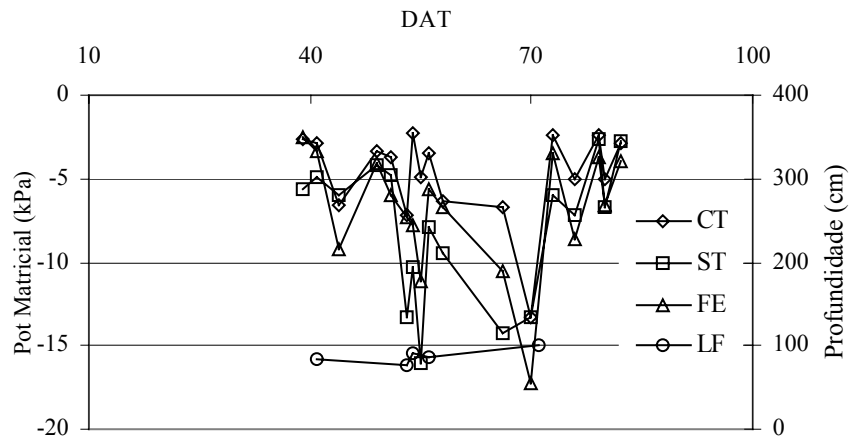
APÊNDICE 5 Análise da variância da transpiração relativa das plantas de tomateiro em dois ambientes (com tela e fora da estufa) com três níveis de umidade do substrato(N2-36,6, N3-27,5, N4-20,6). Embrapa-Clima Temperado. Pelotas-RS, 2000.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Ambiente	1	0,02957312	0,02957312	17,85	0,0012
Nível de Umidade	2	0,79809494	0,039904747	240,81	0,0001
Amb * N.Umidade	2	0,01127781	0,00563891	3,4	0,0675
Erro	12	0,01988549	0,00165712		
Total	17	0,85883136			

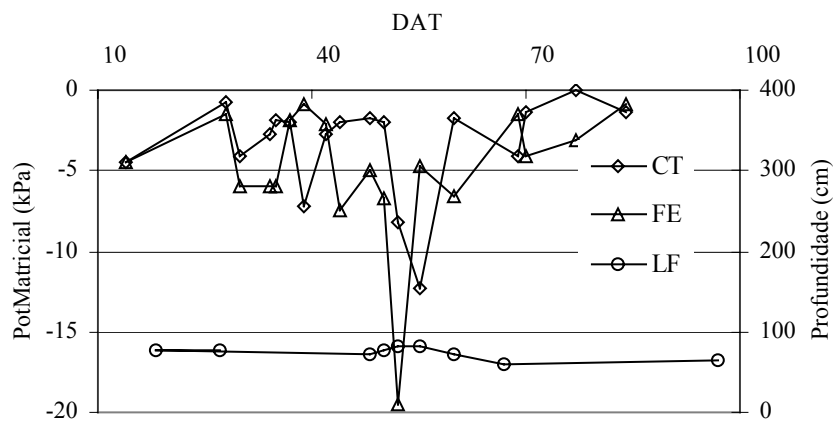
Teste de comparação de médias, médias acompanhadas por letras iguais na coluna não se diferenciam entre si ao n.s.=7% pelo teste de Duncan.

Nível de Umidade 2		Nível de Umidade 3		Nível de Umidade 4	
CT	0,77 A	CT	0,55 A	CT	0,21 A
FE	0,66 B	FE	0,43 B	FE	0,20 A
CV.= 4,92%		CV.=9,43%		CV.=19,68%	

APÊNDICE 6 Potenciais matriciais da água no solo, no profundidade de 30 cm, em função de dias após o transplante (DAT), nos ambientes de estufa com tela anti-insetos (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (FE), e profundidade do lençol freático (LF), na primeira (A) e segunda (B) época de cultivo do tomateiro. Fepagro, Eldorado do Sul-RS, 1999-2000.



A



B